

ISSN 0130-8475

---

**Институт почвоведения и агрохимии**

---

# **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

*Основан в 1961 г.*

**№ 1(66)  
Январь – июнь 2021 г.**

Минск  
2021

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

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

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

Главный редактор *В. В. ЛАГА*

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

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

## **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**1(66)**

***Январь – июнь 2021 г.***

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

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

Ответственная за выпуск *Н. Ю. Жабровская*

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

Подписано в печать 17.06.2021. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 14,95. Уч.-изд. л. 12,31. Тираж 100 экз. Заказ 223.

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

© Республиканское научное дочернее унитарное  
предприятие «Институт почвоведения и агрохимии», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

**Лапа В. В., Цыбулько Н. Н.** Развитие почвенной и агрохимической науки в Беларуси..... 7

Академик Национальной академии наук Беларуси **Виталий Витальевич Лапа** (к 70-летию со дня рождения и 45-летию научной и творческой деятельности) ..... 14

### 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

**Шибут Л. И., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Матыченков Д. В., Шульгина С. В., Дыдышко С. В.** Учет агроклиматических условий Беларуси по результатам землеоценочных работ ..... 17

**Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В.** К вопросу о качественном состоянии фракции физической глины дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв ..... 27

**Логачев И. А., Цыбулько Н. Н., Цырибко В. Б., Устинова А. М., Касьяненко И. И.** Педотрансферные функции структурного состояния и устойчивости к эрозии дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках ..... 42

### 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

**Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г.** Трансформация калийного состояния высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в условиях применения калий-дефицитных систем удобрения..... 51

**Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Семененко Н. Н., Симанков О. В.** Диагностика азотного питания яровой пшеницы на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве ..... 60

**Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Касьяненко И. И., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М.** Агроэкологическое состояние дерново-подзолистых почв и сельскохозяйственных культур в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик ..... 73

**Богдевич И. М., Станилевич И. С., Путятин Ю. В., Довнар В. А., Третьяков Е. С.** Урожайность и качество зерна гороха в зависимости от условий минерального питания магнием и серой на дерново-подзолистых суглинистых почвах ..... 93

<b>Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Гук Л. Н., Муковозчик В. А., Артюх Ю. А.</b> Агроэкономическая эффективность микроудобрений при возделывании кукурузы в производственных условиях на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве .....	106
<b>Цыбулько Н. Н., Евсеев Е. Б., Жукова И. И.</b> Агрономическая и экономическая эффективность применения минеральных удобрений под многолетние злаковые травы на торфянисто-глеевой почве .....	113
<b>Вильдфлуш И. Р., Хизанейшвили Н. Э.</b> Эффективность применения микроудобрений и регулятора роста Экосил при возделывании столовой свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве .....	120
<b>Михайловская Н. А., Войтка Д. В., Юхновец А. В., Барашенко Т. Б., Дюсова С. В.</b> Сравнительная эффективность отдельного и совместного применения <i>A. brasilense</i> , <i>B. circulans</i> и <i>T. longibrachiatum</i> на посевах тритикале озимого на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах... 129	129
<b>Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М., Бирюкова О. М., Торчило М. М., Жабровская Н. Ю., Путырский И. Н., Демина Г. А., Олешук Е. Н.</b> Влияние удобрений на урожайность и накопление нитратов в плодах кабачка на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности.....	139
<b>Солдатов В. С., Езубец А. П., Сапрыкин В. В., Косандрович Е. Г., Шаченкова Л. Н.</b> Питательный субстрат для растений на основе цеолитов .....	149
<b>Солдатов В. С., Езубец А. П.</b> Динамика роста растений томата на смесях цеолитного субстрата и верхового торфа.....	161
Памяти ученого .....	172
Рефераты .....	177
Правила для авторов .....	183

---

**CONTENTS**

**Lapa V. V., Tsybulko N. N.** Development of soil and agrochemical science in Belarus..... 7

Academician of National Academy of Sciences of Belarus **Vitaily Vitalievich Lapa** (to the 70<sup>th</sup> anniversary of the birthday and to the 45<sup>th</sup> anniversary of the scientific and creative activities) ..... 14

### 1. SOIL RESOURCES AND THEIR RATIONAL USE

**Shibut L. I., Azaronak T. N., Matychenkova O. V., Matychenkov D. V., Shulgina S. V., Dydyshko S. V.** Accounting of agroclimatic conditions of Belarus (based on the results of land assessment works..... 17

**Dydyshka S. V., Azarenok T. N., Matychenkova O. V.** To the question of the qualitative state of the physical clay fraction soddy-pale-podzolic light loamy soils ... 27

**Lahachou I. A., Tsybulka M. M., Tsyrybka V. B., Ustsinava H. M., Kasyanenko I. I.** Pedotransfer functions of the structural state and resistance to erosion of sod-podzolic soils formed by loess-like loams..... 42

### 2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION

**Kulesh O. G., Mezentseva E. G.** Transformation of the potash state of highly cultivated sod-podzolic light-loamy soil under conditions of application of potassium-deficient fertilizer systems..... 51

**Kulesh O. G., Mezentseva E. G., Semenenko N. N., Simankov O. V.** Diagnostics of nitrogen nutrition of spring wheat on highly cultivated sod-podzolic light loamy soil ..... 60

**Bahatyrova E. N., Seraya T. M., Kasyanenko I. I., Belyavskaya Y. A., Kirdun T. M.** Agroecological state of sod-podzolic soils and agricultural crops in the zone of influence of livestock complexes and poultry farms..... 73

**Bogdevitch I. M., Stanilevich I. S., Putyatin Yu. V., Dovnar V. A., Tretiakov Ye. S.** Yield and quality of pea's grain in relation to the mineral nutrition by magnesium and sulfur on podzoluvisol loamy soils..... 93

**Rak M. V., Pukalova E. N., Guzova N. S., Guk L. N., Mukovozchik V. A., Artyukh Yu. A.** Agroeconomic efficiency of microfertilizers in cultivation of corn under production conditions on soddy-podzoly highly cultured light-lay soil ..... 106

<b>Tsybulka N. N., Evseev E. B., Zhukova I. I.</b> Agronomic and economic efficiency of the application mineral fertilizers for perennial grasses on peat-gley soil.....	113
<b>Vildflush I. R., Hizaneyshvili N. E.</b> Efficiency of the use of microfertilizers and Ekosil growth regulator when cultivation of table beet on sod-podzolic light-loamy soil.....	120
<b>Mikhailouskaya N. A., Voitka D. V., Yukhnovets A. V., Barashenko T. B., Dyusova C. V.</b> Efficiency of separate and combine application of <i>F. brasilense</i> , <i>B. circulans</i> and <i>T. longibrachiatum</i> for the treatment of winter triticale sowing on eroded luvisol sandy loam soils.....	129
<b>Seraya T. M., Bahatyrova E. N., Belyavskaya Y. A., Kirdun T. M., Biryukova O. M., Torchilo M. M., Zhabrovskaya N. Yu., Putyrsky I. N., Demina G. A., Oleshuk E. N.</b> Influence of fertilizers on yield and accumulation of nitrates in the fruits of zuchinin sod-podzolic soils of different degrees of fertility ...	139
<b>Soldatov V. S., Ezubets A. P., Saprykin V. V., Kosandrovich E. G., Shachenkova L. N.</b> Nutrient substrate for plants on the base of zeolites .....	149
<b>Soldatov V. S., Jezubets A. P.</b> Growth dynamics of tomato plants on mixtures of zeolitic substrate and high-moor peat.....	161
In memory of the scientist .....	172
Summaries .....	177
Instructions for authors.....	183

# РАЗВИТИЕ ПОЧВЕННОЙ И АГРОХИМИЧЕСКОЙ НАУКИ В БЕЛАРУСИ

**В. В. Лапа, Н. Н. Цыбулько**

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

Почва – важнейший и незаменимый природный ресурс, являющийся национальным достоянием любой страны, основой жизнедеятельности человека. От ее рационального использования зависит устойчивое социально-экономическое развитие и экологическое благополучие. В Беларуси сохранение плодородия и его повышение относится к числу важнейших государственных приоритетов.

Первые сведения о почвах современной территории Беларуси содержатся в работе В. М. Севергина «Опыт минералогического землеописания Российского государства» (1820–1821 гг.). Некоторые материалы по почвам Беларуси были представлены на почвенной карте Европейской России, составленной в 1851 г. К. С. Веселовским, доработанной и переизданной в 1879 г. В. И. Чаславским при участии В. В. Докучаева.

Большое значение для изучения почв Беларуси имели работы Западной экспедиции по осушению болот Полесья, руководимой И. И. Жилинским. За время работы экспедиции (1873–1898 гг.) были детально изучены природные условия Полесья.

Новые возможности изучения почв Беларуси появились с возрождением в 1919 г. Горы-Горецкого сельскохозяйственного института и созданием при нем кафедры почвоведения, которую возглавил Я. Н. Афанасьев (1877–1937 гг.), в будущем – первый белорусский академик-почвовед.

С этого периода были начаты исследования почв, составление карт, выполнение научных работ по почвоведению. Первым обобщением результатов этих исследований стала работа Я. Н. Афанасьева «Этюды о покровных породах Белоруссии» (1925 г.), где автор детально рассматривает вопросы генезиса, строения и распространения четвертичных отложений на территории Беларуси. В другой крупной научной монографии Я. Н. Афанасьева «Основные черты почвенного лика земли» систематизированы достижения мирового почвоведения, что позволило определить наиболее важные проблемы науки и наметить пути ее развития.

В 1922 г. в Минске был открыт Институт сельского и лесного хозяйства с кафедрой почвоведения. Директором института был известный почвовед-агрохимик А. Т. Кирсанов. В этот период проводились рекогносцированные почвенные исследования, изучение почв опытных участков, отдельных хозяйств и лесничеств, составление почвенных картосхем.

В 1931 г. в составе Академии наук на базе почвенно-геологической комиссии и кафедры почвоведения Инбелкульта был организован Институт почвоведения и удобрений, который в 1939 г. преобразован в Институт социалистического сельского хозяйства с отделом почвоведения. В настоящее время он называется Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. Со дня основания Институт является главным методическим центром по изучению почв и разработке основных направлений повышения их плодородия.

В 1932–1937 гг. в связи с развитием работ по химизации земледелия проведены крупномасштабные почвенные исследования ряда МТС сплошной химизации. Эти материалы имели большое значение для расширения работ по химизации, рациональному использованию удобрений. В связи с организацией в республике госсортоучастков проводился подбор и детальное обследование 22 участков по сортоиспытанию зерновых культур.

В послевоенный период были проведены маршрутные почвенные исследования в западных областях Беларуси. По результатам этих работ белорусских почвоведов была составлена карта почв БССР (1949 г.) под редакцией И. С. Лупиновича и П. П. Рогового. Издана монография «Почвы БССР» (1952 г.), авторами которой являлись И. С. Лупинович, М. П. Булгаков, А. Г. Медведев, В. М. Пилько, П. П. Роговой, В. Н. Четвериков. В монографии, помимо характеристики почв, даны их первая классификация и рекомендации по наиболее эффективному использованию в сельскохозяйственном производстве.

Дальнейшее развитие сельскохозяйственного производства требовало более детальных знаний почв каждого хозяйства, поля, обрабатываемого участка. В связи с этим в соответствии с решением Правительства нашей страны в 1957 г. почвенными отрядами, организованными при Белорусском научно-исследовательском институте почвоведения и агрохимии (БелНИИПА), начаты работы по крупномасштабному почвенному обследованию сельскохозяйственных земель колхозов и совхозов. Научно-методическое и организационное руководство на выполнение этих работ также было возложено на БелНИИПА, директором которого в это время был академик П. П. Роговой. Эти работы явились наиболее крупным и важным этапом в истории изучения почв республики, так как исследования приняли планомерный характер, охватили все сельскохозяйственные земли, а с 1976 г. и почвы лесных земель.

В результате этой работы каждая сельскохозяйственная организация страны (колхоз, совхоз) получила почвенные карты в масштабе 1:10 000 и картограммы агропроизводственных групп почв для рационального использования земель. На основании этих исследований в последующем были составлены районные и областные почвенные карты, а в 1977 г. Почвенная карта Белорусской ССР (Н. И. Смян, И. И. Соловей) в масштабе 1:600 000. Издана коллективная монография «Почвы Белорусской ССР», удостоенная Государственной премии БССР.

Обширный фактический материал, полученный в ходе первого и последующих циклов почвенных обследований, был положен в основу разработки классификации и диагностики почв, почвенно-экологического районирования территории Беларуси, а также четырех туров землеоценочных работ на разных уровнях землепользования – от каждого поля и рабочего участка до республики в целом.

Систематизация и анализ материалов крупномасштабного почвенного и агрохимического картографирования и данных экспериментальных полевых опытов позволили БелНИИПА разработать методику качественной оценки почв и совместно с Белгипроземом уже трижды провести большую и важную работу по установлению качества сельскохозяйственных земель с определением бонитировочных баллов почв каждого колхоза и совхоза, района и области (А. Г. Медведев, Л. Н. Суровый, Н. И. Смян, В. С. Жмако, В. С. Зинченко, В. Ф. Клебанович, А. Ф. Черныш, Л. И. Шибут, Л. К. Сташкевич и др.).



История почвенных исследований в республике вплоть до 2008 года связана с именем выдающегося почвоведом нашей страны академика Н. И. Смеяна. Под его руководством проведены два тура почвенного обследования, бонитировки почв республики, разработана шкала по оценке степени пригодности почв для возделывания сельскохозяйственных культур.

В 1997–1999 гг. по поручению Государственного комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь, Белгипроземом и БелНИИГА впервые в республике была проведена внутрихозяйственная поучастковая кадастровая оценка земель сельскохозяйственных предприятий и крестьянских (фермерских) хозяйств. В результате оценки каждый обрабатываемый участок в хозяйстве получил оценочный балл с учетом степени пригодности почв для возделывания различных сельскохозяйственных культур, что позволяет на научной основе решать вопросы оптимизации землепользования и повышения плодородия почв.

Дальнейшее развитие получили теоретические исследования в области генезиса, географии, классификации и картографии почв, структуры почвенного покрова (П. П. Роговой, А. Г. Медведев, Н. П. Булгаков, Н. И. Смеян, Т. А. Романова, В. В. Жилко, И. Н. Соловей, Т. Н. Пучкарева, Г. А. Ржеутская, А. М. Котович, А. Н. Никитина и др.), минералогии и микроморфологии почв (П. С. Самодуров, С. А. Тихонов, В. Д. Лисица, В. Т. Сергеенко, Н. А. Матусевич и др.).

Важное место в республике занимают исследования по изучению эрозионных процессов и созданию почвозащитных систем земледелия. К настоящему времени составлена почвенно-эрозионная карта Беларуси, отражающая закономерности распространения эрозионных процессов на обрабатываемых землях в масштабе 1 : 500 000, установлены количественные параметры эрозии почв и потерь элементов питания с водно-эрозионными и дефляционными процессами, разработана методика их прогнозирования при различном сельскохозяйственном использовании эрозионноопасных земель, изучены агрофизические и агрохимические свойства эродированных почв установлена почвозащитная эффективность сельскохозяйственных культур и систем обработки почвы, предложены противоэрозионные комплексы, адаптированные к конкретным ландшафтным условиям республики, создана репрезентативная сеть объектов мониторинговых наблюдений в северной, центральной и южной почвенно-экологических провинциях, разработаны адаптивно-ландшафтные почвозащитные системы земледелия для условий проявления эрозии почв с применением ГИС-технологий. Большой вклад в развитие исследований по эрозиоведению и почвозащитному земледелию внесли В. В. Жилко, А. Ф. Черныш, А. И. Паярская, Н. Я. Хох, Л. М. Ярошевич, О. В. Чистик, Л. А. Тишук, Г. И. Казаков, И. И. Жукова, А. В. Юхновец, А. А. Лепешев, В. С. Болдышев, Ю. П. Качков, С. М. Зайко, И. И. Касьяненко, А. М. Устинова, и др.

В период с 1975 по 1990 гг. активно развивалось направление по мелиоративному почвоведению (А. С. Мееровский, С. А. Касьянчик, Г. А. Соколов). Были проведены классические исследования по вопросам технологии возделывания и минерального питания многолетних трав, в частности было установлено положительное влияние азотных удобрений на урожайность и качество травостоя, хотя до этого считалось, что азотные удобрения на торфяных почвах не эффективны.

Начиная с 70-х годов прошлого столетия большое внимание уделяется известкованию почв (А. М. Демьянович, М. К. Рахуба, Г. В. Василюк, Н. В. Клебанович, Л. В. Круглов, Т. М. Германович и др.). Почвоведцами разрабатывались и совершенствовались теоретические вопросы агропроизводственной группировки почв, почвенно-экологического районирования, установления пригодности почв под основные сельскохозяйственные культуры в целях оптимизации структуры посевных площадей (Н. И. Смяян, Л. И. Шибут, Г. В. Цытрон, В. А. Горкунов, С. В. Шульгина).

Крупномасштабные почвенные исследования показали, что около 36 % площади пашни составляют легкие по гранулометрическому составу почвы. Поэтому большое внимание уделялось разработке комплексных приемов повышения плодородия этих почв (И. П. Островой, И. А. Юшкевич, Г. В. Пироговская, В. Г. Шныриков, В. А. Тикавый, М. В. Рак и др.).

На протяжении ряда лет проводились исследования по изучению процессов и режимов, происходящих в дерново-подзолистых пылевато-суглинистых почвах, результаты которых послужили научной основой повышения плодородия этих почв (П. П. Роговой, Н. И. Туренков, И. А. Юшкевич, П. И. Шкуринов и др.).

С 1967 года под научно-методическим руководством Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси в республике проведено 14 туров крупномасштабного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных земель, а после аварии на Чернобыльской АЭС институт стал методическим разработчиком и радиологического обследования почв, загрязненных радионуклидами территорий.

Важным направлением в развитии почвенно-агрохимических исследований в Беларуси явилась разработка научных основ программирования урожаев сельскохозяйственных культур (1977–1985 гг.), авторами которых были академик ВАСХНИЛ Т. Н. Кулаковская и заведующая лабораторией программирования урожаев Л. П. Детковская. Учеными Белорусской государственной сельскохозяйственной академии под руководством А. А. Каликинского проведены широкие исследования по эффективности локального способа внесения минеральных удобрений.

С 1980 года в Беларуси под руководством академика И. М. Богдевича развивается новое направление по разработке методических основ и созданию в республике автоматизированной системы управления плодородием почв. Основой данной системы является автоматизированный банк данных агрохимических свойств почв республики, который создается по материалам четвертого тура (1981–1985 гг.) агрохимического обследования почв (И. М. Богдевич, В. В. Лапа, Г. В. Василюк). С этого времени всем хозяйствам республики, наряду с агрохимическими картограммами выдаются агрохимические паспорта полей и сводные материалы по агрохимической характеристике почв полей и рабочих участков. Автоматизированная система управления плодородием почв включает решение на ЭВМ ряда задач по агрохимическому обслуживанию сельского хозяйства, а именно: распределение фондов минеральных удобрений по областям, районам и хозяйствам, разработку планов применения удобрений под сельскохозяйственные культуры с учетом уровня планируемой урожайности и агрохимических свойств поля или рабочего участка, расчет эффективности использования минеральных удобрений, разработку проектно-сметной доку-

ментации на известкование кислых почв. Указанные задачи решались для всех хозяйств республики в Головном информационно-вычислительном центре Министерства сельского хозяйства Республики Беларусь, а после его реорганизации – в областных проектно-исследовательских станциях по химизации сельского хозяйства.

Теоретические принципы программирования урожаев в 1985–1990 гг. были реализованы в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур, в частности в приемах регулирования минерального питания растений. В этот период в институте активно развивались исследования по изучению эффективности дробного внесения азотных удобрений (В. В. Лапа), почвенной и растительной диагностике азотного питания зерновых культур (Н. Н. Семененко). Для уточнения оптимальных доз азота под озимые и яровые зерновые культуры в хозяйствах республики начал применяться индикатор «Индам», разработанный Н. Н. Семененко.

С 1990-х годов в республике развивается новое направление в агрохимических исследованиях по разработке ресурсосберегающих систем применения удобрений под сельскохозяйственные культуры на основе оптимизации минерального питания растений, сбалансированного комплексного применения органических, минеральных макро- и микроудобрений, регуляторов роста растений, средств химической защиты растений (В. В. Лапа, Е. М. Лимантова, О. Ф. Рыбик, Н. Н. Ивахненко). Актуальность этих исследований в значительной степени была обусловлена экономическим состоянием сельского хозяйства и необходимостью сохранения достигнутого уровня плодородия почв. Основой ресурсосберегающих систем применения минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры была разработка коэффициентов возмещения выноса элементов питания, обеспечивающих получение планируемых уровней урожайности и поддержание достигнутого содержания фосфора и калия в почвах.

Одним из элементов ресурсосберегающих систем применения удобрений является сокращение экономических затрат. Достижение такого эффекта возможно за счет применения комплексных форм минеральных удобрений. Институтом почвоведения и агрохимии совместно с БГТУ им. Кирова и Гомельским химическим заводом (В. В. Лапа, Г. В. Пироговская, А. Р. Цыганов, Д. В. Черняков, О. Б. Дормешкин, В. И. Сорока, С. С. Хмелевский) разработаны комплексные удобрения. Наиболее широко применяются в хозяйствах республики комплексные удобрения для льна, озимого рапса, сахарной свеклы, промышленное производство которых осуществляется на Гомельском химическом заводе. В настоящее время разработан весь ассортимент (84 марки) комплексных удобрений для возделываемых в республике сельскохозяйственных культур. Новизна этих удобрений защищена патентами Республики Беларусь, Евразийского патентного ведомства и Украины. На все удобрения разработаны технические условия на промышленное производство и проведена их регистрация в Госхимкомиссии Республики Беларусь.

В формировании высоких урожаев с хорошим качеством продукции важная роль принадлежит применению микроэлементов. В республике разработаны методические основы крупномасштабного картографирования микроэлементов в почвах, изучена их эффективность под разными сельскохозяйственными культурами (Г. П. Дубиковский, М. В. Рак, З. С. Ковалевич). Учеными Института поч-

ведения и агрохимии НАН Беларуси разработана серия новых форм жидких хелатных микроудобрений (борных, медных, марганцевых, цинковых) для некорневых подкормок зерновых культур, льна, сахарной свеклы, кукурузы и других культур (М. В. Рак, Т. Г. Николаева, С. А. Титова). В настоящее время в республике освоено их промышленное производство. По данным проведенных исследований, эти микроудобрения окупаются с рентабельностью более 200 %. Разрабатывается и внедряется в производство серия технологических рекомендаций по комплексному применению макро- и микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур (В. В. Лапа, М. В. Рак, Н. Н. Ивахненко, И. Р. Вильдфлуш).

Развитие микробиологических исследований в области изучения симбиотической и несимбиотической азотфиксации, разработки новых форм бактериальных удобрений, повышения биологической активности почв в республике связано с работами Ф. П. Вавуло, Л. А. Карягиной, В. М. Чикановой, Н. А. Михайловской, В. И. Нестеренко. В результате этих исследований были разработаны бактериальные удобрения ризоторфин и азобактерин, способствующие дополнительной фиксации атмосферного азота в количестве до 30 кг/га. В сотрудничестве с Институтом защиты растений разработан состав микробактериальной композиции, включающей штаммы азотфиксирующих, калиймобилизующих бактерий и гриба-антагониста, содержащей свойства удобрения, регулятора роста и фунгицида. Эти работы дважды в 2015 и 2018 гг. входили в ТОП-10 лучших работ Национальной академии наук Беларуси. (Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко, С. В. Дюсова, Т. В. Погирницкая).

Для разработки прогноза изменения состояния плодородия почв, мероприятий по его повышению, создана территориальная сеть мониторинга плодородия почв, выделены и закреплены ключевые участки для наблюдений за основными почвенными и агрохимическими показателями на эродированных и загрязненных радионуклидами почвах (А. Ф. Черныш, И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин).

Большие работы проводились по изучению физико-химических свойств почв и радиоактивных изотопов (С. Н. Иванов, С. Ф. Шидловский, Э. Д. Шагалова, Л. А. Шиман, А. И. Ворошилова, Н. Ф. Никитенко, А. А. Мелкозерова и др.), а также исследования агрофизических свойств пахотных почв (Н. И. Афанасьев, Н. И. Янович, Л. В. Круглов, А. М. Русалович, Л. Н. Лазовская и др.).

После аварии на Чернобыльской ЭАС значительное место в работах института занимают исследования по разработке системы технологических приемов и регламентов для получения нормативно чистой растениеводческой продукции на почвах, загрязненных радионуклидами (И. М. Богдевич, В. Ю. Агеец, Ю. В. Путятин, И. М. Марцуль, Э. Д. Шагалова, И. Д. Шмигельская, А. А. Шмигельский).

В настоящее время научные исследования в области почвоведения направлены на разработку и использование цифровых технологий и геоинформационных систем в земледелии и растениеводстве. Институтом почвоведения и агрохимии НАН Беларуси разрабатывается геоинформационное обеспечение для оценки устойчивости почв сельскохозяйственных земель к изменениям климата, создается интеллектуальная информационная система с использованием геоинформационных технологий, разрабатывается методология формирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия на основе ГИС-технологий. Ведутся научные исследования, направленные на разработку нормативной основы и методологии

оценки и прогноза деградации почвенно-земельных ресурсов (Т. Н. Азаренок, А. Н. Червань, Д. В. Матыченков, О. В. Матыченкова, А. М. Устинова, В. Б. Цырибко и др.). Осуществляется системный мониторинг за состоянием почвенного плодородия, актуализацией материалов агрохимического обследования почв сельскохозяйственных земель (Ю. В. Путятин, И. М. Богдевич, О. Л. Ломонос, И. С. Станилевич и др.).

В области агрохимии исследования сконцентрированы на научном обосновании биологических методов и приемов повышения плодородия, улучшения гумусового состояния и биологической активности почв (Т. М. Серая, Н. А. Михайловская, Е. Н. Богатырева и др.). Ведутся исследования по изучению особенностей фиксации-мобилизации почвенных запасов фосфора и закономерностей динамики основных параметров фосфатного режима дерново-подзолистых почв (Е. Г. Мезенцева, О. Г. Кулеш и др.). Разрабатываются параметры оптимизации питания сельскохозяйственных культур микроэлементами в зависимости от уровней обеспеченности почв (М. В. Рак), системы адаптивного управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата (Е. Г. Мезенцева).

В настоящее время РУП «Институт почвоведения и агрохимии» является ведущим центром почвенно-агрохимической науки в республике. Он осуществляет координацию научно-исследовательских работ по указанным проблемам всех научных учреждений и учебных заведений Беларуси, а также научно-методическое руководство Государственной почвенной и агрохимической службами.

Результаты научных исследований Института почвоведения и агрохимии широко внедряются в практику сельскохозяйственного производства и дают большой экономический эффект. Достижения агропочвенной науки нашли отражения в увеличении плодородия почв республики и в росте урожайности сельскохозяйственных культур.

За 90-летний период белорусское почвоведение и агрохимия прошли большой и плодотворный путь. В предстоящие годы агропочвенная наука Беларуси должна обеспечить теоретическую базу дальнейшего совершенствования количественного и качественного учета почвенных ресурсов, применяемых систем земледелия, эффективного использования удобрений, развития теории минерального питания, приемов и методов защиты почвенного покрова от деградации.

## КРАТКИЙ БИОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

*(к 70-летию со дня рождения и 45-летию научной и творческой деятельности)*



Виталий Витальевич Лапа родился 21 июня 1951 года в деревне Сугаки Волковысского района Гродненской области. После окончания средней школы в 1967 году поступил на агрономический факультет Гродненского сельскохозяйственного института, который с отличием окончил в 1972 г. После окончания института работал агрономом в совхозе «Кохановичи» Верхнедвинского района Витебской области, служил в рядах Советской армии.

С 1974 по 1976 год обучался в аспирантуре Белорусского НИИ почвоведения и агрохимии под руководством члена-корреспондента АН БССР, доктора сельскохозяйственных наук, профессора С. Н. Иванова. После окончания аспирантуры с 1977 года работал младшим научным сотрудни-

ком, старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией, а с 1989 по 2005 год – заместителем директора по научной работе. В 2006 году назначен директором Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси.

В 1977 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук, а в 1995 году – доктора сельскохозяйственных наук. В 1997 году Виталию Витальевичу присвоено ученое звание профессора по специальности «агрономия». В 2009 году избран членом-корреспондентом, в 2014 году – академиком Национальной академии наук Беларуси.

Виталий Витальевич Лапа является ведущим ученым в республике в области агрохимии, внесшим большой вклад в решение проблем сохранения и повышения плодородия почв, минерального питания растений, комплексного применения макро- и микроудобрений, регуляторов роста и средств химической защиты растений, ресурсосберегающей системы применения удобрений под сельскохозяйственные культуры, повышения эффективности использования удобрений.

В. В. Лапа внес большой вклад в совершенствование агрохимического обслуживания сельского хозяйства. Он является одним из основных авторов по разработке научно-методического обеспечения и формирования в республике банка данных агрохимических свойств почв, в котором представлены данные крупномасштабного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных земель, начиная с 1980 года.

Под руководством академика Виталия Витальевича Лапа была разработана и внедрена в хозяйствах республики автоматизированная система расчета пла-

нов применения удобрений под сельскохозяйственные культуры, определения перспективной потребности и ассортимента минеральных удобрений для сельскохозяйственного производства. Разработан ряд пятилетних программ по сохранению и повышению плодородия почв Республики Беларусь. За период научной деятельности под его руководством разработано и внедрено более 80 рекомендаций, методик и инструкций по вопросам сохранения и повышения плодородия почв, эффективному использованию средств химизации.

Виталием Витальевичем выполнен большой цикл работ по зональным системам применения удобрений с учетом почвенных и агрохимических факторов. Впервые в Республике Беларусь совместно с учеными медицинского профиля проведена оценка качества зерна озимых и яровых зерновых культур с использованием биологических тест-объектов и предложил экологические регламенты на применение азотных удобрений в технологиях их применения.

На основе проведенных теоретических и исследований им разработана ресурсосберегающая система применения удобрений, основанная на принципах получения их максимальной окупаемости при условии сохранения или повышения достигнутого уровня плодородия почв. В настоящее время она широко используется для расчетов потребности в минеральных удобрениях, а также реализована в планах применения удобрений по полям севооборотов, разрабатываемых для хозяйств республики.

Под научным руководством В. В. Лапа разработан ряд новых форм комплексных удобрений со сбалансированным соотношением элементов питания для ряда сельскохозяйственных культур, которые защищены патентами Республики Беларусь и освоено их производство на химических заводах республики.

В течение многих лет Виталий Витальевич руководил агрохимическим направлением республиканской научно-технической программы «Земледелие и растениеводство», а с 2006 года – является руководителем комплексных почвенно-агрохимических заданий программы «Агропромкомплекс – возрождение и развитие села» и ГПНИ «Земледелие и механизация». По этим направлениям В. В. Лапа координировал работу 18 научных учреждений и Государственной агрохимической службы Республики Беларусь.

Виталий Витальевич – автор более 950 основных научных работ, в том числе 17 книг, 8 из которых монографии, 18 учебников и учебных пособий, 2 справочника, 37 патентов и авторских свидетельств Республики Беларусь. Им сформирована научная школа по ресурсосберегающим системам удобрения сельскохозяйственных культур и воспроизводству плодородия почв – одному из важнейших вопросов в агрохимии. Под его руководством подготовлены и защищены 3 докторские и 21 кандидатская диссертации.

В. В. Лапа ведет активную научно-организационную и общественную работу. С 2004 по 2006 год возглавлял Экспертный совет ВАК Республики Беларусь по аграрным наукам, с 2006 года является председателем Совета по защите диссертаций Д 01.50.01 при РУП «Институт почвоведения и агрохимии» по специальностям 06.01.03 – агропочвоведение, агрофизика и 06.01.04 – агрохимия. В настоящее время входит в состав Научного совета Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, является заместителем руководителя научно-технической секции ГЭС №7 «Сельскохозяйственные науки и технологии» и членом бюро государственного экспертного совета.

В. В. Лапа является главным редактором журнала «Почвоведение и агрохимия», издаваемого Институтом почвоведения и агрохимии, членом редколлегии журналов «Вести НАН Беларуси» (серия аграрных наук), «Земледелие и растениеводство», «Природные ресурсы», «Проблемы агрохимии и экологии» (Россия).

За успехи в труде награжден серебряной и двумя бронзовыми медалями ВДНХ СССР, Почетными грамотами ЦК ВЛКСМ, МСХ СССР, МСХП Республики Беларусь, Национальной академии наук Республики Беларусь, ВАК Республики Беларусь. За большой вклад в развитие агрохимических исследований, внедрение их в сельскохозяйственное производство, создание научной школы и подготовку кадров высшей квалификации в 2002 г. награжден орденом Франциска Скорины. В этом же году ему была присуждена Государственная премия Республики Беларусь в области науки и техники, в 2005 г. – премия Национальной Академии наук Республики Беларусь. В 2011 г. Указом Президента Республики Беларусь ему было присвоено звание «Заслуженный деятель науки Республики Беларусь».

Уважаемый Виталий Витальевич! Примите самые искренние и добрые поздравления с Юбилеем!

Пройденный Вами жизненный путь – это путь целеустремленного человека, успешного руководителя, ученого, решающего сложнейшие задачи во всех сферах своей многогранной деятельности. Ваш богатый опыт научной и практической деятельности, высочайший профессионализм и компетентность, чувство ответственности в Вашей работе вызывают глубокое уважение коллег в нашей стране и за рубежом. Уверены, что это – только расцвет творчества ученого, за которым последуют новые плоды.

В этот торжественный день желаем Вам крепкого здоровья, новых жизненных сил, благополучия, счастья, плодотворной и успешной трудовой деятельности на благо дальнейшего развития отечественной науки!

*Сотрудники Института почвоведения и агрохимии,  
ученики, коллеги*



# 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.47

## УЧЕТ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БЕЛАРУСИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗЕМЛЕОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ

Л. И. Шибут<sup>1</sup>, Т. Н. Азаренок<sup>1</sup>, О. В. Матыченкова<sup>1</sup>, Д. В. Матыченков<sup>1</sup>,  
С. В. Шульгина<sup>2</sup>, С. В. Дыдышко<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*Высшая аттестационная комиссия РБ,  
г. Минск, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

Агроклиматические условия являются важным фактором роста, развития и продуктивности сельскохозяйственных культур и оказывающим влияние на экономику сельскохозяйственных организаций. Их учет при оценке земель позволяет сопоставить показатели плодородия почв в пределах всей страны. Под агроклиматическими условиями (ресурсами) понимают совокупность метеорологических факторов, в первую очередь тепла и влаги, которые определяют условия производства и продуктивность сельскохозяйственных культур [1, 2]. Отдельные показатели, характеризующие агроклиматические условия, учитывались с самого начала массовых оценок почв в Беларуси. Начиная с 60-х годов прошлого века в республике было проведено пять туров оценки сельскохозяйственных земель: три тура качественной оценки (бонитировки) и два тура кадастровой оценки. Во всех этих турах оценки, как сами показатели, так и методы и способы их учета были различными, однако основными из них все же являются показатели, характеризующие температурный режим и условия увлажнения [3–8]. Учет агроклиматических условий позволяет установить их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, выразить его в относительных величинах (баллах), сравнить с другими характеристиками и показателями, в том числе между областями и отдельными районами.

Исходя из этого, целью исследований является анализ показателей, характеризующих динамику и актуальное состояние агроклиматических условий установление их влияния на плодородие почв по результатам проведения I и II туров кадастровой оценки сельскохозяйственных земель в Беларуси.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования явились земельные ресурсы Республики Беларусь, а именно сельскохозяйственные земли (в первую очередь пахотные), материалы кадастровой оценки земель, данные об урожайности зерновых и зернобобовых культур.

Для характеристики агроклиматических условий областей и районов использованы данные I (1987–1998 гг.) и II (2009–2016 гг.) туров землеоценочных работ с учетом корректировок, проведенных в 2017–2020 гг., а также отдельные сведения агроклиматических справочников, статистических данных, литературных источников [1–26].

Для интерпретации количественных данных использованы методы интерполяции, аналитический, сравнительно-географический, экспертных оценок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Инвентаризация и систематизация накопленных в республике сведений [3, 4] позволили установить, что в первом туре качественной оценки земель (1964–1969 гг.) учитывались среднегодовая температура и среднегодовое количество осадков. Для этого в шкале оценочных баллов почв все баллы почвенных разновидностей были дифференцированы на три группы по количеству атмосферных осадков: I – 700–650 мм, II – 650–600 мм, III – 600–500 мм. Почвы в первой группе имели максимальные значения оценки, при переходе во вторую группу оценка уменьшалась на 2 балла по сравнению с первой, а в третью группу – на 2 балла по сравнению со второй. В каждой группе по количеству осадков баллы дополнительно дифференцировались от среднегодовой температуры также по трем группам: I – 7,3–6,5 °С; II – 6,4–5,3 °С; III – 5,2–4,4 °С. При переходе из одной группы в другую оценка изменялась на 1 балл. Таким образом, из-за совместного влияния среднегодовых показателей температуры и атмосферных осадков расхождение в оценке почв доходило до шести баллов.

Однако среднегодовые показатели не в полной мере отражают влияние климатических факторов на урожай сельскохозяйственных культур. Возникла необходимость в разработке новых подходов учета климатических условий при оценке почв. Поэтому во втором туре качественной оценки (1974–1975 гг.) путем группировки районов Беларуси по однородности климатических условий было образовано пять климатических зон. Для каждой зоны определены поправочные коэффициенты к баллам почв от 1,00 в южных районах до 0,86 в северных. Поправочные коэффициенты вводились к исходному баллу почв, полученному по шкале оценочных баллов. Эти же климатические зоны и поправочные коэффициенты использовались и в третьем туре качественной оценки земель в Беларуси (1984–1985 гг.) [5, 6].

Следует отметить, что разработка методики оценки сельскохозяйственных земель для этих трех туров оценки в целом, в т. ч. и для учета агроклиматических условий, была выполнена в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (А. Г. Медведев, Л. Н. Суровый, В. С. Зубовский, Н. И. Смяян, В. Ф. Клебанович, Л. И. Шибут, А. Ф. Черныш). Дальнейшее совершенствование методики оценки проводилось совместно с УП «Проектный институт Белгипрозем», которая с 90-х годов начала называться кадастровой оценкой. Под руководством Г. М. Мороза была разработана принципиально новая методика кадастровой оценки, в том числе и методика учета агроклиматических условий. Основными агроклиматическими показателями, которые учитывались при проведении I и II туров кадастровой оценки земель, были: сумма активных температур воздуха выше 10 °С, сумма осадков за этот период и, рассчитываемые на их основании гидротермический коэффи-

циент (ГТК) и биоклиматический потенциал местности (БКП), продолжительность периода вегетативного развития растений весной, частота и интенсивность заморозков в мае, засушливость в июне, континентальность климата [7, 8, 12–19].

Нами был проведен анализ некоторых аспектов изменения агроклиматических условий, оценки плодородия почв за период между I и II турами кадастровой оценки сельскохозяйственных земель в Беларуси. В таблице отражена динамика агроклиматических показателей между турами оценки; данные, показывающие влияние этих показателей на плодородие почв; фактическая оценка плодородия почв пахотных земель (в баллах) и урожайность зерновых и зернобобовых культур за годы, примерно соответствующие этим турам оценки.

Таблица

**Сравнение основных показателей агроклиматических условий и их влияния на плодородие почв (по турам кадастровой оценки)**

Область	Тур оценки*	Сумма активных температур воздуха выше 10 °С, °С**	Сумма осадков за период с температурой выше 10 °С, мм**	Гидротермический Коэффициент***	Биоклиматический потенциал	Средний поправочный коэффициент на агроклиматические условия	Снижение плодородия почв за счет агроклиматических условий, Балл	Балл плодородия почв (окончательный)*	Средняя урожайность зерновых и зернобобовых культур****
Брестская	1	2472	333	1,35	129,8	0,931	2,4	31,9	24,8
	2	2700	368	1,36	143,4	0,920	2,8	31,7	34,8
	±	228	35	0,01	13,6	-0,011	0,4	-0,1	10,0
Витебская	1	2164	331	1,57	115,6	0,655	14,0	26,7	19,7
	2	2436	364	1,49	132,6	0,664	14,3	28,5	27,3
	±	272	33	-0,08	17	0,009	0,3	1,8	7,6
Гомельская	1	2437	331	1,36	129,5	0,838	5,8	30,3	20,1
	2	2784	377	1,35	147,1	0,821	6,2	28,3	26,8
	±	347	46	-0,01	17,6	-0,017	0,4	-2,0	6,7
Гродненская	1	2267	340	1,50	121,3	0,879	4,7	34,5	32,5
	2	2540	384	1,51	137,2	0,887	4,5	35,4	38,9
	±	273	44	0,01	15,9	0,008	-0,2	0,9	6,4
Минская	1	2270	335	1,48	122,4	0,782	9,1	32,9	22,8
	2	2572	379	1,48	139,1	0,799	8,4	33,3	34,5
	±	302	44	0	16,7	0,017	-0,7	0,4	11,7
Могилевская	1	2259	325	1,44	122,3	0,711	12,8	31,7	22,5
	2	2531	356	1,40	137,2	0,709	13,0	31,5	29,9
	±	272	31	-0,04	14,9	-0,002	0,2	-0,2	7,4
Беларусь	1	<b>2306</b>	<b>332</b>	<b>1,45</b>	<b>123,3</b>	<b>0,788</b>	<b>8,4</b>	<b>31</b>	<b>23,6</b>
	2	<b>2590</b>	<b>371</b>	<b>1,43</b>	<b>139,3</b>	<b>0,797</b>	<b>8,2</b>	<b>32</b>	<b>32,2</b>
	±	+284	+39	-0,02	+16,0	+0,009	-0,2	+1	8,6

\* Годы проведения оценки: I тур – 1992–1998 гг.; II тур – 2009–2016 гг. (с учетом корректировки 2017–2020 гг.).

\*\* Агроклиматические данные: I тур – 1987–1998 гг.; II тур – 2004–2016 гг.

\*\*\* Расчет ГТК проведен по формуле Г. Т. Селянинова.

\*\*\*\* Урожайность: I тур – за 1998–2004 гг.; II тур – за 2015–2020 гг.

По сравнению с I туром кадастровой оценки эти показатели значительно изменились. Это связано в первую очередь с потеплением климата, которое произошло за последние 30 лет [20–24]. Особенно это касается суммы температур выше 10 °С, которая увеличилась на 284 единицы и составила в среднем по республике 2590 °С, изменяясь по областям от 2436 °С в Витебской до 2784 °С в Гомельской.

Количество осадков также увеличилось (на 39 мм), однако гидротермический коэффициент, хотя и немного (на 0,02), но уменьшился. В первом туре кадастровой оценки ГТК составлял 1,45, во втором – 1,43 (при оптимальном в 1,50). Это означает, что засушливость климата за этот период несколько возросла. В целом же биоклиматический потенциал за этот период вырос на 16 условных единиц [7, 10, 14, 25, 26].

Сумма активных температур выше 10 °С увеличилась по всем областям (от 228 в Брестской до 347 в Гомельской). Сумма осадков за этот период также увеличилась по всем областям (от 31 мм в Могилевской области до 46 мм в Гомельской). Следует отметить, что наименьшее количество осадков в последние годы выпало в Могилевской области.

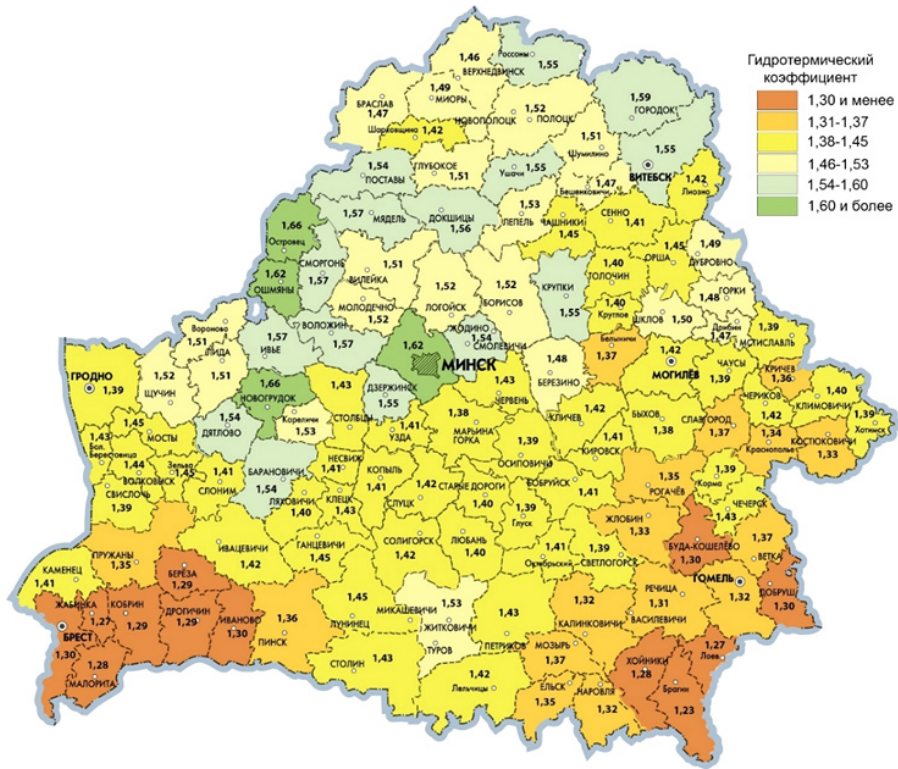
По данным II тура кадастровой оценки сельскохозяйственных земель, ГТК, показывающий соотношение тепла и влаги, в целом по Беларуси составляет 1,43, изменяясь в среднем по областям от 1,35 в Гомельской до 1,51 в Гродненской и, характеризуя условия как «слабо засушливые» и «оптимальные» соответственно.

Как видно из таблицы, максимальное увеличение суммы температур и осадков произошло в Гомельской области. Несмотря на это ГТК уменьшился на 0,01 и составил 1,35. Это самый низкий показатель ГТК среди областей. Низкие показатели ГТК также в Брестской (1,36) и Могилевской (1,40) областях, что характеризует условия увлажнения в этих областях как «слабо засушливые» (ГТК 1,30 и менее) и «недостаточно увлажненные» (ГТК 1,38–1,45). Причем в Могилевской области произошло наибольшее увеличение засушливости климата (ГТК уменьшился на 0,04 (с 1,44 до 1,40). Уменьшение ГТК произошло также и в Витебской области (с 1,57 до 1,49), однако условия увлажнения здесь изменились в лучшую сторону – со «слабо переувлажненных» (1,54–1,60) до «оптимальных» (ГТК 1,46–1,53). ГТК в Гродненской и Минской областях практически не изменился и находится на уровне «оптимального» (1,51–1,48).

Таким образом, в трех областях (Гродненской, Витебской и Минской) ГТК имеет практически оптимальные значения (1,48–1,51), в остальных областях (Брестской, Гомельской и Могилевской) он значительно ниже – 1,35–1,40 («слабозасушливые» и «недостаточно увлажненные»). Это значит, что в этих областях (Брестской, Гомельской и Могилевской) растения в период вегетации испытывают недостаток влаги. Среди районов наблюдаются очень большие колебания ГТК: от 1,23 в Брагинском районе Гомельской области, что характеризует условия увлажнения в этих районах как «засушливые» (ГТК 1,30 и менее), до 1,66 в Новогрудском и Островецком районах Гродненской области как «влажные» (ГТК более 1,60).

Для характеристики районов республики по условиям увлажнения проведена их группировка по величине ГТК. Как видно из картограммы 1, в первую группу включены районы, имеющие «засушливые» условия для ведения сельскохозяйственного производства (ГТК 1,30 и менее). Это 7 районов, расположенных в юго-западной части Брестской области (Брестский, Жабинковский, Малоритский,

Кобринский, Березовский, Дрогичинский, Ивановский) и 5 районов, расположенных в юго-восточной части Гомельской области (Брагинский, Хойникский, Лоевский, Буда-Кошелевский, Добрушский). Всего в республике 12 районов.



Картограмма 1. Распределение величины ГТК по административным районам республики

Во вторую группу («слабо засушливые») входят 16 районов, где ГТК равен 1,31–1,37. Это 9 районов Гомельской области, 5 – Могилевской (юго-восточная часть), 2 – Брестской. В Витебской, Гродненской и Минской областях таких районов нет совсем.

Наибольшее количество районов (49) относится к третьей группе – «недостаточно увлажненные» (ГТК 1,38–1,45), которые по условиям увлажнения близки к оптимальным, но все же в какой-то степени испытывают недостаток влаги в период активной вегетации растений. Такие районы имеются во всех областях, больше всего их в Могилевской (13) и Минской (11), по 6–7 районов в Брестской, Витебской, Гомельской и Гродненской областях.

«Оптимальные» условия увлажнения для возделывания сельскохозяйственных культур (четвертая группа, ГТК 1,46–1,53) сложились в 22 районах. Наибольшее количество их в Витебской области (9), по 3–5 в Могилевской, Гродненской и Минской, один район в Гомельской.

Однако в Беларуси имеются отдельные территории, где количество выпадающих осадков превышает испарение и создаются условия для избыточного увлажнения почв (здесь ГТК поднимается выше оптимальных значений).

Те районы, где ГТК немногим выше оптимального значения (1,54–1,60), относятся к пятой группе – «слабо переувлажненных». Таких районов в Беларуси 15: шесть из них расположено в Витебской области, пять – в Минской, три – в Гродненской и один – в Брестской (Барановичский район). В Гомельской и Могилевской областях нет районов, относящихся к пятой группе.

Районы, где ГТК больше 1,60, относятся к шестой группе – «влажных» (ГТК более 1,60). Таких районов на территории республики только четыре: три из них расположено в Гродненской области (Новогрудский, Островецкий, Ошмянский) и один в Минской области (Минский район).

Таким образом, в Беларуси количество районов, испытывающее недостаток влаги в период активной вегетации растений равно 77, избыток влаги – 19 и 22 района имеют оптимальное соотношение тепла и влаги. По этой же картограмме можно проследить колебания показателей ГТК на уровне административных районов. В Брестской области минимальное значение ГТК имеет Жабинковский район (1,27), максимальное – Барановичский (1,54). В Витебской области – соответственно Толочинский (1,40) и Городокский (1,59), в Гомельской – Брагинский (1,23) и Житковичский (1,53), в Гродненской – Гродненский и Свислочский (по 1,39) и Новогрудский и Островецкий (по 1,66), в Минской – Пуховичский (1,38) и Минский (1,62), в Могилевской – Костюковичский (1,33) и Шкловский (1,50).

Несмотря на то, что изменение урожайности сельскохозяйственных культур связано с многими факторами и условиями (балл плодородия почв, применение удобрений, обеспеченность трудовыми и материальными ресурсами, общая культура земледелия и др.), можно проследить связь с климатическими условиями (и в первую очередь с ГТК). В целом по республике за анализируемые годы отмечается рост урожайности зерновых и зернобобовых культур на 8,2 ц/га. Однако по областям этот показатель существенно различается. Если сравнить Витебскую и Гомельскую области, имеющие в настоящее время почти одинаковый балл плодородия пахотных земель (28,4 и 28,5 баллов), то можно отметить, что в Витебской области урожайность увеличилась на 7,4 ц/га (агроклиматические условия улучшились, ГТК изменился с 1,57 до 1,49), а в Гомельской – на 6,5 ц/га (агроклиматические условия ухудшились, ГТК составил 1,35, что при легком гранулометрическом составе почв в большей степени повлияло на урожайность сельскохозяйственных культур). Если при проведении I тура кадастровой оценки минимальная урожайность зерновых среди областей была в Витебской области – 19,7 ц/га, в то время как в Гомельской 20,1 ц/га, то в последние годы минимальная урожайность зерновых была уже в Гомельской области – 26,6 ц/га (в Витебской 27,1 ц/га). Рост урожайности зерновых замедлился также и в Могилевской области и составил 6,9 ц/га (при этом ГТК уменьшился на 0,04). Однако фактическая урожайность зерновых здесь выше (29,4 ц/га), чем в Витебской и Гомельской областях, так как балл плодородия здесь также выше (31,5 балла). Максимальная урожайность зерновых в последние годы была получена в Гродненской и Минской областях, так как балл плодородия почв здесь также самый высокий в республике (35,5 и 33,4 балла), а ГТК имеет оптимальные показатели.

Таким образом, необходимо отметить, что в юго-восточной части Беларуси в результате потепления и возрастания засушливости климата наблюдается некоторое «замедление» роста продуктивности сельскохозяйственных культур, в то время как в центральных и западных районах этот процесс сказывается в меньшей мере. В

северной части складываются более благоприятные агроклиматические условия для роста продуктивности сельскохозяйственных культур. В целом отрицательное влияние агроклиматических условий на оценку плодородия почв увеличилось (по сравнению с I туром кадастровой оценки) в Гомельской, Могилевской и Брестской областях и уменьшилось в Минской и Гродненской. Все это в определенной степени отразилось и на оценке плодородия почв. По сравнению с первым туром кадастровой оценки балл плодородия почв увеличился в Витебской (на 1,7 балла), Гродненской (на 1 балл) и Минской (на 0,5 балла), уменьшился – в Гомельской (на 1,8 балла), Могилевской (на 0,2 балла) и Брестской (на 0,1 балла) областях.

С использованием поправочных коэффициентов на агроклиматические условия для областей и каждого административного района, проведенный расчет позволил установить, что снижение плодородия почв пахотных земель (в баллах) за счет агроклиматических условий по Беларуси в среднем составило 8,2 балла: максимальное в Витебской (14,3) и Могилевской (13,0 балла), минимальное – в Брестской (2,8) и Гродненской (4,5 балла) областях. Причем это снижение в 8,2 балла является максимальным среди всех других факторов, учитываемых при оценке земель в Беларуси. Благоприятные климатические условия для возделывания сельскохозяйственных культур сложились в западных районах Брестской и Гродненской областей, где снижение плодородия почв за счет агроклиматических характеристик по отдельным районам не превышает 2,0–2,5 баллов (поправочный коэффициент 0,99–0,93) (картограмма 2).



Картограмма 2. Показатели снижения плодородия почв пахотных земель (в баллах) за счет климатических условий по административным районам республики

Минимальное влияние агроклиматических условий на снижение плодородия почв пахотных земель (менее 1,0 балла) в Брестском (на 0,2 балла, поправочный коэффициент 0,995) и Малоритском (на 0,7 балла, поправочный коэффициент 0,971) районах.

Менее благоприятные условия – в северных и северо-восточных районах Витебской и Могилевской областей, где снижение плодородия почв за счет агроклиматических условий достигает 15–18 баллов (поправочный коэффициент 0,55–0,66). Наибольшее снижение произошло в Дубровенском (на 18,6 баллов, поправочный коэффициент 0,640), Городокском (на 18,2 балла, поправочный коэффициент 0,552) и Кричевском (на 18,0 баллов, поправочный коэффициент 0,648) районах.

В целом по республике снижение плодородия почв за счет агроклиматических характеристик по всем административным районам отражено на картограмме 2.

Таким образом, агроклиматические условия оказывают влияние на плодородие почв пахотных земель в Беларуси. В среднем по республике за счет климатических условий плодородие почв снижается на 8,2 балла, изменяясь по областям от 14,3 до 2,8 балла, а по районам от 18,6 до 0,2 балла.

## ВЫВОДЫ

1. На основании анализа агроклиматических данных I и II туров кадастровой оценки установлено, что сумма температур выше 10 °С увеличилась на 284 единицы и составила в среднем по республике 2590 °С, изменяясь по областям от 2436 °С в Витебской до 2784 °С в Гомельской (по районам от 2266 °С. Количество осадков также увеличилось (на 39 мм), гидротермический коэффициент несколько (с 1,45 до 1,43, при оптимальном 1,50) уменьшился, что указывает на тенденцию роста засушливости климата за период исследования. Биоклиматический потенциал за этот период вырос на 16 условных единиц. Сумма активных температур выше 10 °С увеличилась по всем областям (от 228 в Брестской до 347 в Гомельской. Сумма осадков за этот период также увеличилась по всем областям (от 31 мм в Могилевской области до 46 мм в Гомельской. Наименьшее количество осадков в последние годы выпало в Могилевской области.

В целом в Беларуси ГТК, который показывает соотношение тепла и влаги, составляет 1,43, изменяясь в среднем по областям от 1,35 в Гомельской до 1,51 в Гродненской и, характеризуя условия как «слабо засушливые» и «оптимальные» соответственно.

2. В трех областях республики (Гродненской, Витебской и Минской) ГТК имеет практически оптимальные значения (1,48–1,51), в трех областях (Брестской, Гомельской и Могилевской) они значительно ниже – 1,35–1,40 («слабозасушливые» и «недостаточно увлажненные»). Это значит, что в этих областях (Брестской, Гомельской и Могилевской) растения в период вегетации испытывают недостаток влаги. Среди районов наблюдаются очень большие колебания ГТК: от 1,23 в Брагинском районе Гомельской области до 1,66 в Новогрудском и Островецком районах Гродненской, области, что характеризует условия увлажнения в этих районах как «засушливые» (ГТК 1,30 и менее) и «влажные» (ГТК более 1,60).

3. Благоприятные климатические условия для возделывания сельскохозяйственных культур сложились в западных районах Брестской и Гродненской облас-



тей, где снижение плодородия почв за счет агроклиматических характеристик по отдельным районам не превышает 2,0–2,5 баллов (поправочный коэффициент 0,99–0,93). Менее благоприятные условия – в северных и северо-восточных районах Витебской и Могилевской областей, где снижение плодородия почв за счет агроклиматических условий достигает 15–18 баллов (поправочный коэффициент 0,55–0,66). Максимальное снижение в баллах среди районов в Дубровенском районе (18,6), а максимальный снижающий коэффициент имеет Городокский район – 0,552. Минимальное снижение в баллах имеет Брестский район (0,2 балла), в этом же районе и минимальный поправочный коэффициент – 0,995.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чирков, Ю. И.* Агрометеорология / Ю. И. Чирков. – Л.: Гидрометиздат, 1979. – 320 с.
2. Система оценки ресурсного потенциала агроландшафтов для формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. – Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2012. – 67 с.
3. Качественная оценка земель в колхозах и совхозах БССР / А. Г. Медведев [и др.]; под общ. ред. С. Г. Скоропанова. – Минск: Урожай, 1971. – 328 с.
4. *Зубовский, В. С.* Изменение качественной оценки земель БССР в зависимости от климатических условий / В. С. Зубовский // Почвенные исследования и применение удобрений. – Минск: Ураджай, 1975. – Вып. 6. – С. 31–36.
5. Качественная оценка земель в колхозах и совхозах БССР / под ред. акад. ВАСХНИЛ Т. Н. Кулаковской. – 2-е изд. – Минск: Ураджай, 1977. – 200 с.
6. Оценка плодородия почв Белоруссии / Н. И. Смян [и др.]; под общ. ред. Н. И. Смяна. – Минск: Ураджай, 1989. – 359 с.
7. Кадастровая оценка земель сельскохозяйственных предприятий: методические указания / Г. И. Кузнецов [и др.]; Госкомзем. – Минск, 2001. – 116 с.
8. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств. Содержание и технология работ / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 137 с.
9. Агроклиматические характеристики по данным наблюдений гидрометеорологических станций Республики Беларусь за 2004–2014 гг. / Фондовые данные ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. – Минск, 2015. – 67 с.
10. *Шашко, Д. И.* Агроклиматические ресурсы СССР / Д. И. Шашко. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 247 с.
11. Агроклиматический справочник / под ред. Н. А. Малишевской. – Минск: Урожай, 1970. – 248 с.
12. *Мороз, Г. М.* Учет агроклиматических условий при кадастровой оценке земель / Г. М. Мороз // Почвы, их эволюция, охрана и повышение производительной способности в современных социально-экономических условиях: материалы I съезда Белорусского общества почвоведов. – Минск; Гомель, 1995. – С. 225.
13. *Мороз, Г. М.* Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель / Г. М. Мороз // Земля Беларуси. 2001: справочное пособие / под ред. Г. И. Кузнецова, Г. В. Дудко. – Минск, 2002. – С. 70–80.

14. *Смеян, Н. И.* К вопросу об учете агроклиматических условий при оценке земель в Беларуси / Н. И. Смеян, Л. И. Шибут // Современные проблемы повышения плодородия почв и защиты их от деградации: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2006. – С. 236–238.

15. *Шибут, Л. И.* Роль различных факторов в оценке плодородия пахотных земель Беларуси / Л. И. Шибут, Н. В. Радченко // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 47–54.

16. *Шибут, Л. И.* Использование поправочных коэффициентов при оценке земель в Беларуси / Л. И. Шибут, О. В. Матыченкова // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. А. И. Горбылева. – Горки, 2007. – С. 345–347.

17. *Цытрон, Г. С.* Совершенствование системы поправочных коэффициентов для оценки земель в Беларуси / Г. С. Цытрон, Л. И. Шибут // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2(47). – С. 22–30.

18. *Мороз, Г. М.* О кадастровой оценке земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств и применении ее результатов / Г. М. Мороз // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение: материалы Международной научно-практической конференции, 6–8 июня 2012 г, БГУ г. Минск / под ред. В. С. Аношко, И. И. Пирожника, В. М. Яцухно. – Минск: Изд. центр БГУ, 2012. – С. 20–25.

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

20. Изменения климата Беларуси и их последствия / под общ. ред. В. Ф. Логина. – Минск, 2003. – 330 с.

21. *Мельник, В. И.* Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси: автореф. дис. ...канд. геогр. наук: 25.00.23 / В. И. Мельник; Бел. гос. ун-т. – Минск, 2004. – 21 с.

22. Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учетом изменения климата / В. Мельник [и др.]. – Минск; Женева, 2017. – 83 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus](http://Agroklimaticheskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus).

23. *Скируха, А. Ч.* Совершенствование основных элементов системы земледелия как фактор снижения потерь сельскохозяйственной продукции в условиях изменяющегося климата / А. Ч. Скируха // Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции полевых культур в Беларуси: материалы Междунар. научно-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня основания РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»; 5–6 июля 2017 г., г. Жодино / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – С. 4–9.

24. Как получать высокие урожаи при меняющемся климате // СБ Беларусь сегодня. – 2019. – 20 апреля (№ 75). – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/delaem-pogodu.html>.

25. Результаты кадастровой оценки сельскохозяйственных земель Республики Беларусь [электронный ресурс] / Государственный комитет по имуществу Респуб-

лики Беларусь. – Минск. – Режим доступа: [http://gki.gov.by/ru/rezultaty\\_kadastrvoiv\\_ocenki](http://gki.gov.by/ru/rezultaty_kadastrvoiv_ocenki).

26. Лапа, В. В. Перспективы повышения плодородия почв пахотных земель Беларуси (по материалам второго тура кадастровой оценки) / В. В. Лапа, Л. И. Шибут, Т. Н. Азаренок // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 7–14.

## **ACCOUNTING OF AGROCLIMATIC CONDITIONS OF BELARUS BASED ON THE RESULTS OF LAND ASSESSMENT WORKS**

**L. I. Shibut, T. N. Azaronak, O. V. Matychenkova, D. V. Matychenkov,  
S. V. Shulgina, S. V. Dydysko**

### **Summary**

The article analyzes the dynamics of data describing the agro-climatic conditions of Belarus (the sum of temperatures above 10 °C, precipitation, hydrothermal coefficient, bioclimatic potential). The values of the hydrothermal coefficient, as well as the values of points reflecting the decrease in soil fertility of arable land due to agroclimatic conditions in the republic by regions, individual administrative districts are given on the basis of updated data of the second round of cadastral assessment.

*Поступила 30.04.21*

УДК 631.4

## **К ВОПРОСУ О КАЧЕСТВЕННОМ СОСТОЯНИИ ФРАКЦИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЛИНЫ ДЕРНОВО-ПАЛЕВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ**

**С. В. Дыдышко, Т. Н. Азаренок, О. В. Матыченкова**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Почва как особое природное тело является результатом суммарного действия всех факторов и процессов почвообразования, характер проявления которых в значительной степени зависит от ее гранулометрического состава. Гранулометрический состав, являющийся одной из важнейших характеристик почв, оказывает влияние на свойства и режим питания, непосредственно влияет на характер, направленность и скорость почвообразовательных процессов, формирование почвенного плодородия. Особый интерес представляет физическая глина, включающая илистую фракцию, концентрирующую основную массу органического вещества (55–90 %), и выступающая фактором его аккумуляции и стабилизации [1]. Тонкодисперсная составляющая почв отвечает за содержание и качество органи-

ческого вещества, емкость поглощения и состав поглощенных оснований. Поэтому следует подчеркнуть, что в условиях республики именно гранулометрический состав принимается за главный критерий качества почв в интенсивной системе земледелия, и определяет их агроэкологический потенциал для эффективного возделывания сельскохозяйственных культур.

До недавних пор считалось, что гранулометрический состав принадлежит к числу консервативных генетических характеристик почв, поскольку в природных условиях его преобразование протекает достаточно медленно относительно изменений других свойств. Однако хозяйственная деятельность может значительно ускорить ход его преобразования, что подтверждают научные публикации отечественных и зарубежных ученых.

В настоящее время имеются отдельные публикации [2–11], в которых авторы констатируют изменение гранулометрического состава верхней части профиля почв пахотных земель. При этом высказывается мнение о возможности как обеднения пахотного горизонта илистой составляющей, так и обогащения в результате длительного сельскохозяйственного использования почв. Согласно данным одних ученых, при вовлечении дерново-подзолистых почв в сельскохозяйственное производство усиливается процесс обезыливания пахотных горизонтов, то есть теряется их самая тонкая составляющая [3, 4, 6, 7, 8, 12, 13, 14]. Именно илистые частицы неустойчивы и наиболее миграционно способны, а интенсивная антропогенная нагрузка на почву активизирует их миграцию из пахотного горизонта в нижележащие иллювиальные горизонты, что находит отражение в перераспределении ила по профилю почвы [4, 15]. Согласно результатам В. В. Канева, глубокая вспашка дерново-подзолистой почвы (на глубину 30–40 см) способствует активизации элювиальных процессов в пахотном и нижележащем слоях почвы, а также смещению горизонта накопления ила вниз по профилю – на глубину 70–110 см [3], то есть интенсивный вынос тонкодисперсных частиц из верхних горизонтов способствует элювированию толщи мощностью до 70 см. Исследования А. Ф. Тюлина также позволили выявить, что в результате постоянного роста глубины обработки почвы происходит смещение на глубину границы подзолистого горизонта [16]. Другие исследователи, наоборот, считают, что окультуривание почв дерново-подзолистого типа сопровождается относительным накоплением ила в верхней части профиля [2, 9, 10, 11]. Существует мнение о том, что в дерново-подзолистых почвах существенного изменения гранулометрического состава не происходит [17, 18, 19]. Например, Г. В. Пироговская [17] отмечает, что в дерново-подзолистых почвах песчаного гранулометрического состава в стационарных полевых опытах не происходит изменения содержания тонкодисперсной составляющей почвы.

В результате агрогенеза наблюдаются различия в соотношении гранулометрических фракций. Так, процесс обезыливания пахотных горизонтов сопровождается накоплением в физической глине пылеватых фракций, и наоборот, увеличение содержания ила способствует меньшему их накоплению, что оказывает влияние на содержание и качество гумуса, и уровень потенциального плодородия почв [11, 20, 21].

Несмотря на противоречивые данные в научных публикациях, большинство исследователей констатируют изменения консервативной характеристики почвы под влиянием антропогенного фактора, обнаружить которые и оценить их на-

правленность возможно при условии наличия «нулевой точки отсчета», а именно, естественных эталонных почв. Таким образом, исследования по изучению гранулометрического состава являются актуальными и относятся к числу наиболее важных и труднорегулируемых, так как гранулометрический состав непосредственно приводит к изменению всех других свойств почв и в итоге сказывается на их производительной способности.

## МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований были выбраны естественные (почвы под лесом), принятые в качестве «нулевой точки отсчета», и пахотные дерново-палево-подзолистые почвы, сформировавшиеся мощных лессовидных легких суглинках, занимающих 14 % пахотных земель республики и являющихся одними из самых плодородных (балл бонитета 72,3).

Лабораторные исследования по определению гранулометрического состава проведены методом «пипетки» по Н. А. Качинскому (ГОСТ 12536-2014) [22]. Широкое применение данного метода для определения гранулометрического состава почв обусловлено его низкой затратностью, простотой и доступностью использования в лабораторных условиях.

Баланс фракций физической глины, а именно средней и мелкой пыли, и ила (относительного процента потери (–) и накопления (+) фракций по отношению к содержанию их в почвообразующей породе) рассчитывали по формуле Б. Г. Розанова [18]:

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

где  $A_{in}$  – процентное содержание средней и мелкой пыли/ила в  $n$ -м горизонте;  $A_{io}$  – процентное содержание средней и мелкой пыли/ила в почвообразующей породе.

Для выявления показателей гумус-гранулометрических отношений и взаимосвязей выполнены расчеты следующих показателей: базовое значение ила ( $a_{dt}$ , %) и пыли ( $b_{dt}$ , %) в физической глине, насыщенность физической глины илом ( $V_a$ , %) и пылью ( $V_b$ , %), константы динамического равновесия ( $K_a$ ,  $K_b$ ), содержание гумуса в физической глине ( $x_p$ , %) и насыщенность физической глины гумусом ( $W$ , %) по методике В. С. Крыщенко [21]:

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

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

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

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

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

$b_{dt} = z - a_{dt} = 0,01 \cdot y \cdot z$  – базовое расчетное содержание пылеватых фракций физической глины почвы, %;

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

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



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

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

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

$y_r$  – содержание гумуса в почве, %;

$x_p = y_r \cdot K$  – расчетное содержание гумуса в физической глине при  $K > 1,0$ , %;

$x_p = y_r / K$  – расчетное содержание гумуса в физической глине при  $K < 1,0$ , %;

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

Определение криволинейных коэффициентов корреляции ( $\eta$ ) между показателями гумус-гранулометрических отношений с производительной способностью выполнено только для пахотных горизонтов исследуемых почв, расположенных на территории Минского района, на которых проведены учеты урожайности сельскохозяйственных культур методом полевых мелкоделяночных учетов ( $S = 1 \text{ м}^2$ ) в производственных посевах.

Для инвентаризации разносторонних сведений о гранулометрическом составе исследуемых почв создан Банк данных (БД) (рис. 1). Систематизированные данные являются основой проведения статистических расчетов с целью получения развернутой характеристики о содержании и соотношении отдельных фракций гранулометрического состава окультуренных почв в условиях длительного сельскохозяйственного использования по сравнению с лесными аналогами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв под лесом и их пахотных аналогов позволил установить, что в исследуемых почвах преобладает содержание фракции крупной пыли, которая довольно равномерно распределяется по всей толще почвенных профилей. В естественных почвах ее максимальное содержание отмечается в иллювиальном горизонте  $B_1$  – 65,4 %, а минимум – в элювиальном горизонте  $A_2$  – 56,0 %. В окультуренных почвах наибольшее содержание фракции крупной пыли наблюдается в переходном к почвообразующей породе горизонте  $B_3C$  (62,7 %) и наименьшее – в пахотном горизонте  $A_n$  (59,1 %) (табл. 1).

По содержанию фракции физической глины и ила в исследуемых почвах наблюдается дифференциация по профилю. Так, в лесных и в пахотных почвах максимальное накопление физической глины (25,8 % и 25,4 %) и ила (17,8 % и 16,2 %) отмечается в иллювиальном текстурном горизонте  $B_{2t}$ , а минимальное содержание физической глины (19,5 % и 20,3 %) и ила (7,8 % и 7,6 %) – в элювиальном горизонте  $A_2$  соответственно.

По содержанию фракций средней и мелкой пыли (0,01–0,001 мм) также наблюдаются различия: в естественных почвах наибольшее содержание данных фракций отмечено в гумусовом (элювиальном) горизонте – 12,6 %, а наименьшее – в иллювиальном горизонте – 7,8 %; в окультуренных почвах максимальное содержание наблюдается в пахотном горизонте – 14,0 %, а минимальное – в иллювиальном текстурном горизонте – 9,1 % соответственно.

Таблица 1  
**Гранулометрический состав дерново-палево-подзолистых почв, развивающихся на мощных лессовидных легких суглинках**

Генетический горизонт	Размер фракций (мм) и их количество в % на абсолютно сухую почву							в том числе			
	Глубина отбора образца, см	хрящ (>3)	гравий (3-1)	Песок			пыль крупная (0,05-0,01)	физическая глина (менее 0,01)	пыль средняя (0,01-0,005)	пыль мелкая (0,005-0,001)	ил (менее 0,001)
				крупный (1-0,5)	средний (0,5-0,25)	мелкий (0,25-0,05)					
Почвы под лесом											
A <sub>1</sub> (A <sub>2</sub> )	2-20	-*	0,5	1,3	1,1	19,3±8,9** 16	57,9±9,7 16	21,5±1,4 19	6,9±1,4 19	5,7±1,8 19	9,0±2,8 19
A <sub>2</sub>	20-30	-	-	-	0,6	23,7±5,6 7	56,0±4,4 7	19,5±1,6 9	6,7±2,4 9	5,0±1,3 9	7,8±2,2 9
B <sub>1</sub>	30-50	-	-	-	0,6	10,4±11,5 11	65,4±12,2 11	24,2±2,3 12	4,1±2,3 12	3,7±1,5 12	16,4±4,6 12
B <sub>2t</sub>	60-80	-	-	1,0	0,6	14,4±10,0 11	59,7±12,0 11	25,4±3,2 12	3,5±1,8 12	4,5±1,0 12	17,4±3,1 12
B <sub>3C</sub>	85-105	-	-	1,0	0,6	14,5±10,6 10	62,2±11,0 10	23,5±4,3 11	6,3±1,0 11	4,2±2,5 11	13,0±2,4 11
Окультуренные почвы											
A <sub>n</sub>	5-25	0,1	0,6	1,4	0,5	17,7±6,6 62	59,1±7,1 62	22,2±1,7 70	7,5±1,7 70	6,5±1,8 70	8,2±2,5 70
A <sub>2</sub>	30-40	1,8	2,3	2,6	0,5	18,5±5,8 21	59,8±7,3 21	20,3±2,3 24	6,6±1,2 24	6,1±1,2 24	7,6±1,6 24
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	45-55	-	-	0,2	0,2	16,9±3,8 13	60,4±4,0 13	22,4±2,3 16	6,7±1,8 16	4,8±2,0 16	10,9±3,5 16
B <sub>2t</sub>	60-85	0,5	3,1	3,6	0,5	13,8±7,8 54	59,3±8,8 54	25,4±3,2 61	4,1±1,5 61	5,0±1,5 61	16,2±3,8 61
B <sub>3C</sub>	95-110	-	2,2	3,2	0,2	13,9±8,3 42	62,7±10,1 42	23,0±4,7 46	4,3±2,0 46	5,0±1,5 46	13,7±3,6 46

\* «-» – фракции не характерны для почв данного генезиса.

\*\* В числителе – количественное содержание фракции, в знаменателе – количество определений.



В естественных и окультуренных почвах наибольшее содержание фракции мелкого песка наблюдается в верхней части профиля с максимумом в элювиальном горизонте  $A_2$  – 23,7 % и 18,5 %, а наименьшее – в нижней части профиля с минимальным содержанием в горизонтах  $B_1$  и  $B_{2t}$  – 10,4 % и 13,8 % соответственно.

Вовлечение почв в длительное сельскохозяйственное использование вызывает изменения наиболее ценной составляющей гранулометрического состава, определяющей плодородие почв – количественного содержания фракций физической глины (средней и мелкой пыли, и ила). С использованием метода баланса установлено распределение фракций физической глины, средней и мелкой пыли, и ила относительно их содержания в почвообразующей породе и выявлено, что:

- в естественных почвах по содержанию физической глины отрицательный баланс отмечается по всему профилю с минимальными потерями в иллювиальном текстурном горизонте  $B_{2t}$  – –1,2 % и наибольшими – в элювиальном горизонте  $A_2$  – –24,1 %; по содержанию средней и мелкой пыли положительный баланс характерен для верхней части профиля на глубине 2–30 см с наибольшим накоплением в гумусовом (элювиальном) горизонте  $A_1(A_2)$  – +14,5 % и наибольшими потерями в иллювиальном горизонте  $B_1$  – –29,1 %, причем с увеличением глубины потери средней и мелкой пыли снижаются; по содержанию ила положительный баланс наблюдается только в горизонтах  $B_1$  и  $B_{2t}$  – +11,6 и +18,4 % соответственно, а наибольшие потери характерны для горизонта  $A_2$  – –46,9 %, что свидетельствует о четкой дифференциации профиля по илу (табл. 2);

- в окультуренных почвах по содержанию фракций физической глины и ила наблюдается отрицательный баланс по всему профилю с наибольшими потерями частиц в элювиальном горизонте  $A_2$  – –29,5 % и –58,0 % и уменьшением отрицательных значений с глубиной до минимальных в иллювиальном текстурном горизонте  $B_{2t}$  – –11,8 % и –10,5 % соответственно, где содержание данных фракций наибольшее; по содержанию средней и мелкой пыли отмечаются разнонаправленные изменения: положительный баланс характерен для верхней части профиля с наибольшим накоплением пылеватых фракций в пахотном горизонте  $A_n$  – +29,6 % и отрицательный баланс в нижней части профиля с наибольшими потерями в иллювиальном текстурном горизонте  $B_{2t}$  – –15,7 %, причем с увеличением глубины потери средней и мелкой пыли снижаются.

Таблица 2

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

Генетический горизонт	Глубина отбора образца, см	Физическая глина (менее 0,01 мм)	Пыль средняя и мелкая (0,01–0,001 мм)	Ил (менее 0,001 мм)
Почвы под лесом				
$A_1(A_2)$	2–20	–16,3	+14,5	–38,8
$A_2$	20–30	–24,1	+6,4	–46,9
$B_1$	30–50	–5,8	–29,1	+11,6
$B_{2t}$	60–80	–1,2	–27,3	+18,4
$B_3C$	85–105	–8,6	–4,5	–11,6
$C^*$	120–130	25,7	11,0	14,7

Генетический горизонт	Глубина отбора образца, см	Физическая глина (менее 0,01 мм)	Пыль средняя и мелкая (0,01–0,001 мм)	Ил (менее 0,001 мм)
Окультуренные почвы				
A <sub>n</sub>	5–25	–22,9	+29,6	–54,7
A <sub>2</sub>	30–40	–29,5	+17,6	–58,0
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	45–55	–22,2	+6,5	–39,8
B <sub>2t</sub>	60–85	–11,8	–15,7	–10,5
B <sub>3</sub> C	95–110	–20,1	–13,9	–24,3
C*	120–130	28,8	10,8	18,1

\* Значения показателей по содержанию физической глины, средней и мелкой пыли, и ила для почвообразующей породы С исследуемых почв взяты из банка данных почвенных профилей.

Метод баланса показал, что в результате длительного сельскохозяйственного использования исследуемых почв в их физической глине отмечается значительное варьирование иловатой и пылеватой составляющих, т. е. изменяется ее качественный состав, что оказывает существенное влияние на содержание и качественный состав гумуса, и, соответственно, на уровень потенциального плодородия почв.

Гранулометрический состав, а именно его наиболее ценная составляющая – фракция физической глины – тесно связан с другими элементами почвенной системы, в частности, с гумусом почвы. При исследовании гумус-гранулометрических отношений показатели условно разделяются на два блока [21]: первый характеризует гранулометрические фракции почвенных образцов, второй – их гумусированность. В пределах первого блока представляются фактический гранулометрический состав почвенных образцов ( $z$  – содержание физической глины,  $a_{\phi}$  – ила,  $b_{\phi}$  – средней и мелкой пыли), базовые (эталонные) значения ила ( $a_{dt}$ ), степень насыщенности физической глины илом или пылью (по преобладающей фракции) ( $V_a$ ,  $V_b$ ), а также константы динамического равновесия ( $K_a$ ,  $K_b$ ). Базовое значение ила используется в качестве эталона сравнения. Во втором блоке дается характеристика почвенных образцов по двум показателям – содержанию гумуса в почве ( $y_r$ ) и в физической глине ( $x_p$ ). Гумусированность фракций физической глины предопределяет величину содержания гумуса в почве, которую можно рассматривать как содержание гумуса в физической глине, механически разбавленное массой, которая мало или вовсе не содержит гумуса, т.е. физическим песком. В данном случае играет роль не только количество физического песка, но и отношение ила и пыли в физической глине. Избыток ила и пыли в физической глине, по отношению к базовому значению ила, усиливает разбавляющий эффект. В этом случае содержание гумуса в физической глине намного превышает его содержание в почве, а константы динамического равновесия имеют наибольшие значения.

Проведенными исследованиями установлено, что распределение ила и пыли в физической глине исследуемых почв различается, несмотря на то, что показатели содержания самой физической глины находятся на одном уровне (табл. 3). Так, дерново-палево-подзолистые почвы под лесом имеют пылеватую физическую

глину – фактическое содержание пылеватых фракций ( $b_{\phi}$ ) в горизонте  $A_1(A_2)$  превышает фактическое содержание ила ( $a_{\phi}$ ): 12,6 % против 9,0 %, которая насыщена пылью – фактическое содержание пылеватых фракций ( $b_{\phi}$ ) больше базового содержания ила ( $a_{dt}$ ): 12,6 % против 4,64 %. Степень насыщенности физической глины пылью ( $V_b$ ) составляет 58,37 % (средняя степень, б), а илом ( $V_a$ ) составляет соответственно 41,63 %.

Таблица 3

**Среднестатистические показатели гумус-гранулометрических отношений в дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почвах**

Горизонт, глубина отбора образца, см	Фактическое содержание фракций, %			Базовое содержание фракций, %		Насыщенность физической глины илом, % $V_a$	Насыщенность физической глины пылью, % $V_b$
	<0,01 мм	<0,001 мм	0,001–0,01 мм	<0,001 мм	0,001–0,01 мм		
	z	$a_{\phi}$	$b_{\phi}$	$a_{dt}$	$b_{dt}$		
Почвы под лесом							
$A_1(A_2)$ , 2–20	21,5±1,4	9,0±2,8	12,6±2,8	4,64±0,62	16,86±0,83	41,63±12,48	58,37±12,48*
$A_2$ , 20–30	19,5±1,6	7,8±2,2	11,7±3,5	3,80±0,61	15,70±0,96	40,76±14,15	59,24±14,15
$B_{11}$ , 30–50	24,2±2,3	16,4±4,6	7,8±3,4	5,90±1,15	18,30±1,11	67,07±16,08	32,93±16,08
$B_{21}$ , 60–80	25,4±3,2	17,4±3,1	8,0±1,6	6,55±1,63	18,85±1,58	68,22±6,38	31,78±6,38
$B_{3C}$ , 85–105	23,5±4,3	13,0±2,4	10,5±3,1	5,69±2,22	17,81±2,14	55,87±7,75	44,13±7,75
Окультуренные почвы							
$A_{п1}$ , 5–25	22,2±1,7	8,2±2,5	14,0±2,3	4,96±0,76	17,24±0,96	36,57±10,32	63,43±10,31*
$A_2$ , 30–40	20,3±2,3	7,6±1,6	12,7±2,2	4,19±0,93	16,15±1,39	37,23±6,64	62,27±7,56
$A_2B_{11}$ , 45–55	22,4±2,3	10,9±3,5	11,5±2,3	5,08±1,06	17,34±1,26	48,02±12,11	51,98±12,11
$B_{21}$ , 60–85	25,4±3,2	16,2±3,8	9,1±2,1	6,56±1,63	18,85±1,63	63,22±9,94	36,87±9,87
$B_{3C}$ , 95–110	23,0±4,7	13,7±3,6	9,3±2,5	5,51±2,40	17,50±2,31	59,52±9,52	40,60±9,34
Гумус							
Горизонт, глубина отбора образца, см	Константы динамического равновесия $K_{a,b}$	Гумус		Насыщенность физической глины гумусом, % W			
		в почве, % $U_r$	в физической глине, % $X_p$				
Почвы под лесом							
$A_1(A_2)$ , 2–20	2,94±0,43	3,02±1,32	8,77±4,01	40,48±18,01			
$A_2$ , 20–30	3,31±0,42	0,65±0,23	2,19±0,88	11,31±4,71			
$B_{11}$ , 30–50	2,95±0,41	0,35±0,07	1,04±0,25	4,38±1,19			
$B_{21}$ , 60–80	2,72±0,38	0,30±0,10	0,81±0,28	3,27±1,28			
$B_{3C}$ , 85–105	2,51±0,60	0,25±0,06	0,62±0,21	2,78±1,11			
Окультуренные почвы							
$A_{п1}$ , 5–25	2,92±0,56	2,37±0,70	6,89±2,32	31,67±12,58			
$A_2$ , 30–40	3,11±0,50	0,71±0,44	2,06±1,16	10,28±5,86			
$A_2B_{11}$ , 45–55	2,72±0,41	0,37±0,13	1,01±0,43	4,56±2,02			
$B_{21}$ , 60–85	2,61±0,32	0,37±0,16	0,98±0,46	4,02±2,39			
$B_{3C}$ , 95–110	2,81±0,65	0,23±0,09	0,66±0,30	3,14±1,80			

\* а) 50,0–54,9 % – слабая степень насыщенности физической глины илом или пылью в зависимости от преобладающей фракции; б) 55,0–64,9 % – средняя; в) 65,0–74,9 % – сильная; г) > 75,0 % – очень сильная степень насыщенности.

Окультуренные почвы относятся к почвам с пылевой физической глиной – в горизонте  $A_n$   $b_{\text{ф}} > a_{\text{ф}}$ : 14,0 % против 8,2 %, которая также насыщена пылью –  $b_{\text{ф}} > a_{\text{дт}}$ : 14,0 % против 4,96 % – показатель  $V_b$  составляет 63,43 % (средняя степень, б), а  $V_a$  соответственно 36,57 %.

Показатели фактического ( $a_{\text{ф}}$  и  $b_{\text{ф}}$ ) и базового ( $a_{\text{дт}}$  и  $b_{\text{дт}}$ ) содержания ила и пыли, степени насыщенности физической глины пылью/илом по преобладающей фракции ( $V_a/V_b$ ) изменяются с увеличением глубины почвенного профиля. В гумусовом (элювиальном) и элювиальном горизонтах естественных почв наблюдается превышение  $b_{\text{ф}}$  по сравнению с  $a_{\text{ф}}$  и  $a_{\text{дт}}$ , поэтому физическая глина насыщена пылью. Так, показатели  $V_b$  возрастают от 58,37 % в горизонте  $A_1(A_2)$  до 59,24 % в  $A_2$ , а показатели  $V_a$  снижаются в этом же направлении с 41,63 % до 40,76 %. И, наоборот, в иллювиальном, иллювиальном текстурном и переходном к почвообразующей породе горизонтах наблюдается превышение  $a_{\text{ф}}$  по сравнению с  $b_{\text{ф}}$  и  $a_{\text{дт}}$ , поэтому физическая глина на глубине 30–105 см насыщена илом. Показатели  $V_a$  снижаются с 68,22 % в горизонте  $B_{2t}$  до 55,87 % в  $B_3C$ , а показатели  $V_b$  возрастают в этом же направлении с 31,78 % до 44,13 %.

В пахотном, элювиальном и элювиально-иллювиальном горизонтах окультуренных почв наблюдается превышение  $b_{\text{ф}}$  по сравнению с  $a_{\text{ф}}$  и  $a_{\text{дт}}$ , поэтому физическая глина насыщена пылью. Так, показатели  $V_b$  снижаются с 63,43 % в горизонте  $A_n$  до 51,98 % в  $A_2B_1$ , а показатели  $V_a$  возрастают в этом же направлении с 36,57 до 48,02 %. И, наоборот, в иллювиальном текстурном и переходном горизонтах наблюдается превышение  $a_{\text{ф}}$  по сравнению с  $b_{\text{ф}}$  и  $a_{\text{дт}}$ , поэтому физическая глина насыщена илом. Показатели  $V_a$  снижаются с 63,22 % в горизонте  $B_{2t}$  до 59,52 % в  $B_3C$ , а показатели  $V_b$  возрастают в этом же направлении с 36,87 % до 40,60 %.

Содержание гумуса в физической глине значительно превышает его содержание в почве, поскольку для исследуемых почв константы динамического равновесия ( $K_{a,b}$ )  $> 1,0$ , что свидетельствует об избытке ила/пыли в физической глине (в зависимости от преобладающей фракции) относительно  $a_{\text{дт}}$ . Термин «константа» введен в связи с тем, что данный показатель состояния почвы всегда зависит от значения  $a_{\text{дт}}$ , которое для каждого содержания физической глины является величиной постоянной. Константы сводятся к тому, чтобы привести к единому масштабу показатели содержания гумуса в почве, и сопоставить друг с другом, так как они приводятся к общему знаменателю. Следовательно, константа выполняет функцию универсального коэффициента пропорциональности между гранулометрическим составом, гумусностью почв и ее физической глиной.

Как видно из таблицы 3, в естественных почвах под лесом в горизонте  $A_1(A_2)$  содержание гумуса в почве составляет 3,02 %, а в физической глине – 8,77 % (т. е. в 2,94 раза больше). В горизонте  $A_2$  на глубине 20–30 см константа достигает наибольшего значения 3,31, а содержание гумуса в почве и в физической глине – 0,65 и 2,19 % соответственно. Далее вниз по профилю константы динамического равновесия ( $K$ ), содержание гумуса в почве ( $y_r$ ) и в физической глине ( $x_p$ ) снижаются, достигая наименьших значений в горизонте  $B_3C$  – 2,51, 0,25 % и 0,62 % соответственно.

В пахотном горизонте  $A_n$  окультуренных почв содержание гумуса в физической глине в 2,92 раза превышает его содержание в почве – 6,89 против 2,37 % соот-

ветственно. Содержание большего количества гумуса в исследуемых естественных почвах по сравнению с окультуренными аналогами подтверждаются исследованиями Н. И. Туренкова [23]. В элювиальном горизонте  $A_2$  константа достигает максимального значения – 3,11, а содержание гумуса в физической глине – 2,06 против 0,71 % в почве. С увеличением глубины константа динамического равновесия снижается до 2,61 в горизонте  $B_{2t}$  и несколько возрастает в горизонте  $B_3C$  до 2,81, показатели  $y_r$  и  $x_p$  снижаются, достигая наименьших значений в горизонте  $B_3C$  – 0,23 % и 0,66 % соответственно. Эти параметры гумусового состояния «очищены» теперь от индивидуальных переменных величин, которые всегда имеют место, если речь идет о содержании гумуса в почве. Полученные таким образом значения гумуса почвенных образцов абсолютно сопоставимы друг с другом, так как приведены к общему знаменателю.

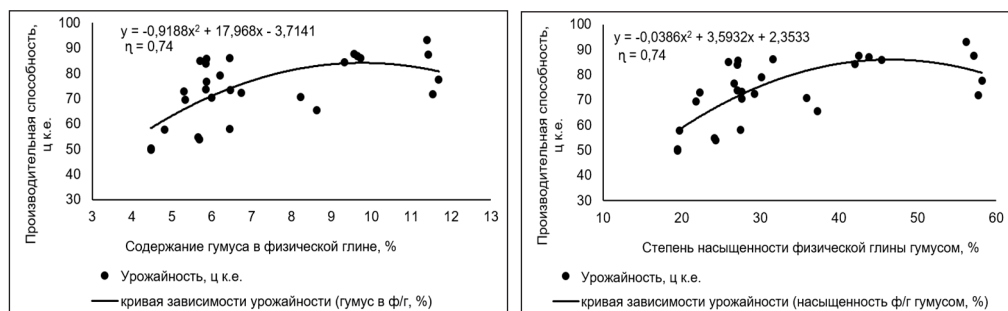
Важное теоретическое и практическое значение имеет степень насыщенности физической глины гумусом ( $W$ ). Этот показатель совокупно выражает общий принцип связи гранулометрического состава и гумусности почв, учитывая все многообразие отношений гранулометрических фракций во взаимосвязи с гумусностью физической глины ( $x_p$ ) и содержанием гумуса почвы ( $y_r$ ). Значения  $W$  являются довольно объективными параметрами для оценки почвенного плодородия. Согласно полученным данным, показатель  $W$  снижается в почвах под лесом с 40,48 % в горизонте  $A_1(A_2)$  до 2,78 % в горизонте  $B_3C$ . В окультуренных почвах показатель снижается с 31,67 % в пахотном горизонте  $A_n$  до 3,14 % в переходном горизонте  $B_3C$ . Причем показатели  $W$  в горизонтах  $A_1(A_2)$  и  $A_2$  лесных почв выше (40,48 и 11,31 %) по сравнению с горизонтами  $A_n$  и  $A_2$  окультуренных почв (31,67 и 10,28 %), а в горизонтах  $B_1$ ,  $B_{2t}$  и  $B_3C$  ниже (4,38, 3,27 и 2,78 %) по сравнению с горизонтами  $A_2B_1$ ,  $B_{2t}$  и  $B_3C$  окультуренных аналогов (4,56, 4,02 и 3,14 %). Таким образом, показатели  $y_r$ ,  $x_p$  и  $W$  имеют тенденцию к снижению вниз по профилю в исследуемых почвах.

Анализ и обобщение результатов научных исследований позволили установить, что между гранулометрическим составом, содержанием гумуса и продуктивностью дерново-подзолистых почв имеются корреляционные зависимости. Так, между содержанием физической глины и урожайностью сельскохозяйственных культур, и содержанием гумуса на контрольных вариантах песчаных и легкосуглинистых почв ( $r = 0,42$  и  $r = 0,55$ , Н. И. Смяян, Г. С. Цытрон), урожайностью ячменя ( $r = 0,88$ , А. К. Магил), урожайностью озимой ржи и яровой пшеницы на легкосуглинистых почвах ( $r = 0,44$  и  $0,99$ , С. Г. Муралев); между содержанием гумуса и урожайностью сельскохозяйственных культур ( $r = 0,50$ – $0,70$ , Н. И. Смяян, В. А. Семенов, А. К. Магил, Б. П. Ахтырцев), урожайностью ярового ячменя, озимой ржи и яровой пшеницы на легкосуглинистых почвах ( $r = 0,73$ – $0,93$ , С. Г. Муралев), между содержанием подвижных гумусовых веществ и урожайностью сахарной свеклы ( $r = 0,78$ , Г. Я. Чесняк), между содержанием лабильных форм гумуса и урожайностью ячменя, озимой ржи и озимой пшеницы на связноупесчаных почвах ( $r = 0,51$ ,  $1,00$  и  $0,89$  соответственно, А. И. Горбылева) [24–30]. Между показателями гумус-гранулометрических отношений и производительной способностью дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв на территории Минского района найдена тесная связь – коэффициенты криволинейной корреляции ( $\eta$ ) изменяются от 0,70 до 0,79 (табл. 4).

**Коэффициенты криволинейной корреляции между гумус-гранулометрическими показателями и производительной способностью для пахотных горизонтов исследуемых почв**

Показатель	Коэффициент ( $\eta$ )	Уравнение
Содержание физической глины ( $z$ ), %	0,79	$y = -1,0517x^2 + 40,347x - 301,96$
Содержание ила ( $a_{\phi}$ ), %	0,71	$y = 2,0513x^2 - 31,672x + 186,82$
Содержание средней и мелкой пыли ( $b_{\phi}$ ), %	0,70	$y = 1,6979x^2 - 48,84x + 418,47$
Степень насыщенности физической глины илом ( $V_a$ ), %	0,79	$y = 0,1221x^2 - 8,534x + 212,65$
Степень насыщенности физической глины пылью ( $V_b$ ), %	0,79	$y = 0,1222x^2 - 15,895x + 580,6$
Содержание гумуса в почве ( $y_r$ ), %	0,72	$y = -16,526x^2 + 94,275x - 52,873$
Содержание гумуса в физической глине ( $x_p$ ), %	0,74	$y = -0,9188x^2 + 17,968x - 3,7141$
Насыщенность физической глины гумусом ( $W$ ), %	0,74	$y = -0,0386x^2 + 3,5932x + 2,3533$

Для показателей содержания гумуса в физической глине и степени насыщенности физической глины гумусом, отражающих общий принцип связи гранулометрического состава и гумусности почв и позволяющих охарактеризовать плодородие почв, коэффициенты криволинейной корреляции с производительной способностью составили 0,74 (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от содержания гумуса в физической глине (слева) и степени насыщенности физической глины гумусом (справа)

Так, в пахотных горизонтах дерново-палево-подзолистых почв, развивающихся на мощных лессовидных суглинках, отмечается тенденция увеличения урожайности с возрастанием содержания гумуса в физической глине с 4 до 12 %, а степени насыщенности физической глины гумусом – с 20 до 60 %.

## ВЫВОДЫ

В результате исследований получены среднестатистические количественные данные гранулометрического состава, отражающие содержание и динамику наиболее ценных фракций (физической глины: средней и мелкой пыли, и ила) в

пахотных и естественных дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почвах, развивающихся на мощных лессовидных суглинках. Наибольшее содержание физической глины и ила отмечается в горизонтах  $B_{2t}$  – 25,4 % и 16,2 % пахотных почв против 25,8 % и 17,8 % в почвах под лесом, средней и мелкой пыли – в горизонтах  $A_n$  и  $A_1(A_2)$  – 14,0 % против 12,6 % соответственно. Установлено количественное перераспределение фракций физической глины в процессе агрогенеза: в почвах пахотных земель и в естественных аналогах баланс физической глины отрицательный по всему профилю с максимумом в горизонтах  $A_2$  – –29,5 против –24,1 %, в горизонтах  $A_n$  и  $A_1(A_2)$  баланс составляет –22,9 % против –16,3 % соответственно; по содержанию пыли и ила наблюдаются разнонаправленные изменения: положительный баланс пыли отмечается в горизонтах  $A_n$ ,  $A_2$  и  $A_2B_1$  пахотных и  $A_1(A_2)$ ,  $A_2$  лесных почв с максимумом в горизонтах  $A_n$  и  $A_1(A_2)$  – +29,6 и +14,5 % и отрицательный – в иллювиальных и переходных горизонтах с максимумом в горизонтах  $B_{2t}$  и  $B_1$  – –15,7 и –29,1 %, т. е. в пахотных почвах возрастает содержание пыли по сравнению с лесными; по содержанию ила в пахотных почвах наблюдается отрицательный баланс во всей метровой толще с максимумом в горизонте  $A_2$  – –58,0 %, кроме того, в верхнем 0–40 см слое значения баланса ила практически равны (колебания составляют 3–4 %), т. е. для пахотных почв характерно отсутствие дифференциации профиля по илу и увеличение элювиальной части вплоть до метровой глубины, в лесных почвах ил накапливается в горизонтах  $B_1$  и  $B_{2t}$  – превышение на 11,6 и 18,4 % по сравнению с почвообразующей породой, отрицательный баланс наблюдается только в верхней и нижней части профиля с максимумом в горизонте  $A_2$  – –46,9 %. Таким образом, в пахотных почвах не только увеличивается мощность элювиальной части профиля по сравнению с естественными, но и возрастает перераспределение ила: в горизонте  $A_1(A_2)$  баланс ила составляет –38,8 %, а в горизонте  $A_n$  – –54,7 %.

Результаты исследования позволили установить, что в горизонтах  $A_1(A_2)$ ,  $A_2$  лесных почв и  $A_n$ ,  $A_2$ ,  $A_2B_1$  окультуренных аналогов физическая глина по преобладающей фракции пылеватая со средней и слабой (горизонт  $A_2B_1$  пахотных почв) степенью насыщенности пылью, а в горизонтах  $B_1$ ,  $B_{2t}$ ,  $B_3C$  лесных почв и  $B_{2t}$ ,  $B_3C$  окультуренных аналогов – иловатая со средней и сильной (горизонт  $B_3C$  лесных почв) степенью насыщенности илом. Показатели содержания гумуса в почве ( $y_r$ ), в физической глине ( $x_p$ ) и насыщенности физической глины гумусом ( $W$ ) в исследуемых почвах имеют тенденцию к снижению вниз по профилю, причем в горизонтах  $A_1(A_2)$  и  $A_2$  лесных почв эти показатели выше по сравнению с горизонтами  $A_n$  и  $A_2$  окультуренных аналогов. Это связано как с разным содержанием в почвах физического песка и физической глины, так и с разным соотношением ила и пыли в самой физической глине, что предопределяет варьирование гумусности почв.

Таким образом, приведена новая интерпретация гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв и показано наличие общего принципа взаимосвязи между фракциями физической глины и гумусом почвы через константы динамического равновесия, а также между показателями гумус-гранулометрических отношений и производительной способностью почв (коэффициенты  $\eta$  изменяются от 0,70 до 0,79). Полученные данные могут быть применены для характеристики агроэкологического состояния дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Травникова, Л. С.* Закономерности гумусонакопления: новые данные и их интерпретация / Л. С. Травникова // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 832–843.
2. *Горбачева, Е. В.* Агроземы культурные и их качественная оценка: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Е. В. Горбачева; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2012. – 21 с.
3. *Канев, В. В.* Трансформация свойств подзолистых почв подзоны средней тайги при освоении и окультуривании / В. В. Канев, В. В. Мокиев // Почвоведение. – 2008. – № 3. – С. 349–359.
4. *Караваева, Н. А.* Агрогенные почвы, условия среды, свойства и процессы / Н. А. Караваева // Почвоведение. – 2005. – № 12. – С. 1518–1529.
5. *Михеева, И. В.* Статистическая характеристика «формулы гранулометрического состава почв» / И. В. Михеева, Е. Д. Кузьмина // Почвоведение. – 2000. – № 7. – С. 818.
6. Антропогенное элювирование дерново-подзолистых почв и методы его изучения / Г. М. Белоненко [и др.] // Минералогия почв: генезис, география, значение в плодородии и экологии / РАСХН; Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М., 1996. – С. 160–168.
7. *Коротков, А. А.* Характер почвообразовательного процесса и свойства дерново-подзолистых почв при интенсивном их окультуривании / А. А. Коротков // Окультуривание почв нечерноземной зоны в условиях ускоренной интенсификации сельского хозяйства. – Л., 1977. – С. 12–16.
8. *Самофалова, И. А.* Изменения стабильного свойства почвы (гранулометрического состава) в результате длительного применения различных систем удобрения / И. А. Самофалова // Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: материалы междунар. науч. конф. / под ред. Б. Ф. Апарина. – СПб., 2011. – С. 97–99.
9. *Иванов, И. А.* Изменение свойств подзолистых и дерново-подзолистых почв на песчаных породах при окультуривании / И. А. Иванов, А. И. Иванов, Н. А. Цыганова // Почвоведение. – 2004. – № 4. – С. 487–499.
10. *Никитин, Б. А.* Окультуривание пахотных почв Нечерноземья и регулирование их плодородия / Б. А. Никитин. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 277 с.
11. *Самодуров, П. С.* Об изменениях минеральной основы почвенного поглощающего комплекса дерново-подзолистых почв под влиянием процессов окультуривания / П. С. Самодуров // Почвенные условия и применение удобрений: Труды ин-та почвоведения. – М., 1968. – Вып. 5. – С. 56–82.
12. *Бубен, И. И.* Деградация моренных и лессовидных почв гомогенного строения под влиянием природных и агрогенных процессов / И. И. Бубен, В. Д. Лисица, А. С. Саханьков // Почва – удобрение – плодородие – урожай: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. С. Н. Иванова и 90-летию со дня рожд. Т. Н. Кулаковской, 16–18 фев. 2009 г. / редкол.: В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2009. – С. 18–20.
13. Генетико-гранулометрический анализ как метод изучения агрогенеза текстурно-дифференцированных почв / Ф. И. Козловский [и др.] // Минералогия почв: генезис, география, значение в плодородии и экологии / РАСХН; Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М., 1996. – С. 125–144.



14. *Чижикова, Н. П.* Изменение минералогического состава тонкодисперсных фракций почв под влиянием агротехногенеза / Н. П. Чижикова // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 867–875.

15. *Градусов, Б. П.* Факторы и процессы увеличения ила в пахотных горизонтах дерново-подзолистых суглинистых почв / Б. П. Градусов // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 1(34). – С. 93–95.

16. *Тюлин, А. Ф.* Вопросы почвенной структуры в лесу (о механизме накопления гумуса в почве под лесом) / А. Ф. Тюлин // Почвоведение. – 1955. – № 1. – С. 33–44.

17. *Пироговская, Г. В.* Влияние различных систем удобрения на изменение минеральной части дерново-подзолистой песчаной почвы / Г. В. Пироговская, С. Д. Астапова, А. Ф. Санько // Почвоведение. – 2004. – № 1. – С. 92–103.

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

19. *Цытрон, Г. С.* Устойчивость гранулометрического состава дерново-подзолистых почв Беларуси к антропогенным воздействиям / Г. С. Цытрон, С. В. Шульгина, О. В. Матыченкова // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2014. – № 2. – С. 69–74.

20. *Лисица, В. Д.* К вопросу необратимости изменений косной части почв Беларуси в процессе их естественной и техногенной эволюции / В. Д. Лисица, С. В. Шульгина, Д. В. Матыченков // Тез. докл. III съезда Докучаевского о-ва почвоведов, Москва, 11–15 августа 2000 г. / Почв. ин-т им. В. В. Докучаева; редкол.: Г. В. Добровольский [и др.]. – Суздаль, 2000. – Кн. II. – С. 340–341.

21. Моделирование отношений элементов полидисперсной системы почв с использованием эталона сравнения / В. С. Крыщенко [и др.] // Живые и биокосные системы. – 2013. – № 2. – 15 с.

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

23. *Туренков, Н. И.* Палево-подзолистые почвы Белоруссии / Н. И. Туренков. – М.: Наука и техника, 1980. – 215 с.

24. *Смеян, Н. И.* Зависимость урожая сельскохозяйственных культур от типовых различий почв и их гранулометрического состава / Н. И. Смеян, Л. И. Шибут // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. Тр. / БелНИИ почвоведения и агрохимии; редкол.: И. М. Богдевич (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 1993. – Вып. 28. – С. 39–44.

25. Оптимальные параметры плодородия почв / Т. Н. Кулаковская [и др.]; под общ. ред. Т. Н. Кулаковской. – М.: Колос, 1984. – 271 с.

26. *Муралев, С. Г.* Агропроизводственное значение гранулометрического состава почв и его использование в оценке качества сельскохозяйственных земель: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 03.02.13 / С. Г. Муралев; Нижегородская госуд. сельскохозяйств. академия. – М., 2011. – 19 с.

27. *Семенов, В. А.* Свойства почв и урожайность сельскохозяйственных культур в северо-западной зоне РСФСР: автореф. ... док. с.-х. наук, 06.01.03 / В. А. Семенов; Ленинградский сельскохозяйств. ин-т. – Л., 1983. – 46 с.

28. *Ахтырцев, Б. П.* Гумус подтипов среднерусских черноземов разного гранулометрического состава / Б. П. Ахтырцев, Е. В. Ефанова // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 803–811.

29. Чесняк, Г. Я. Определение параметров свойств черноземов типичных мощных разного уровня плодородия / Г. Я. Чесняк // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв. – М., 1980. – С. 42–50.

30. Состав и активные формы гумуса дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почв и их связь с урожаем сельскохозяйственных культур: отчет о НИР (промеж.) / БГСХА; рук. темы А. И. Горбылева. – Горки, 1985. – 13 с. – № ГР 84010948.

## **TO THE QUESTION OF THE QUALITATIVE STATE OF THE PHYSICAL CLAY FRACTION SODDY-PALE-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOILS**

**S. V. Dydyshka, T. N. Azarenok, O. V. Matychenkova**

### **Summary**

Using the balance method, the features of the quantitative content of fractions of physical clay (medium and fine dust, and silt) relative to their content in the parent rock were established, and the features of their ratio and redistribution in physical clay as a result of prolonged agrogenic impact in comparison with natural soils were revealed. A new interpretation of the granulometric composition of soddy-pale-podzolic light loamy soils is presented and the presence of a general principle of the relationship between the fractions of physical clay and soil humus through the constants of dynamic equilibrium, as well as between the indicators of humus-granulometric ratios and the productivity of soils is shown. The data obtained can be applied as a new method for assessing soil fertility.

*Поступила 15.04.21*

УДК 631.43

## **ПЕДОТРАНСФЕРНЫЕ ФУНКЦИИ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ К ЭРОЗИИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ**

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

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Почвенное плодородие во многом зависит от ее физического состояния, одним из важнейших показателей которого является структурно-агрегатный состав.

Структура обуславливает водный, воздушный, тепловой режимы почвы, влияет на формирование и развитие почвенной биоты.

На формирование агрегатов влияет широкий перечень факторов. Размер и форма структурных отдельностей в значительной степени определяются содер-

жанием глинистых минералов [1]. В то же время рядом исследований [2, 3] выявлено, что на размеры агрегатов также влияют и другие минералы. Преобладание в структурных отдельностях кварца указывает на малопрочность агрегатов. Более устойчивыми оказываются образования, в составе которых преобладают полевые шпаты и глинистые минералы монтмориллонитовой группы. При этом важно отметить, что глинистые минералы активно участвуют в структурообразовании, но им не принадлежит главная роль в данном процессе [4].

Важнейшую роль в формировании почвенной структуры, а также в водоустойчивости, играет содержание органического вещества [1, 5]. Вторым важным агрохимическим показателем является содержание кальция, который входит в коллоидный комплекс почв и обуславливает коагуляцию почвенных коллоидов. При насыщении почвенно-поглощающего комплекса основаниями до 80 % и более дисперсность почвы уменьшается, а фильтрация воды значительно усиливается [6].

Из физических свойств наибольшее влияние на структуру и водоустойчивость оказывает плотность почвы [7].

В настоящее время исследования почвенных агрегатов и устойчивости их к деградации становятся все более актуальными, однако прямое изучение данных почвенных свойств трудоемко и занимает много времени. К прямым методам относятся метод «сухого» и «мокрого» просеиваний Саввинова, построение изображений с помощью томографов, использование специального оборудования для симулирования процессов эрозии [8, 9].

В связи с этим широкое распространение получают педотрансферные функции, которые позволяют с достаточной достоверностью прогнозировать различные почвенные показатели, в том числе структуру и водоустойчивость на основании агрохимических и агрофизических свойств [10]. При этом существующие педотрансферные функции имеют очень ограниченный потенциал для прогнозирования, потому что разработаны для конкретных почв [11]. Учитывая, что точность прогнозирования зависит от количества почвенных образцов и степени обобщения почвенного таксона, многие исследования сосредотачиваются на повторной калибровке и проверке существующих функций или на разработке более новых [12, 13].

Почвам характерна высокая степень пространственной неоднородности, изменчивости агрохимических и агрофизических свойств. При различной степени антропогенной нагрузки математическое отражение взаимосвязей существенно отличается [14]. В связи с этим для каждого вида земель необходимо создание своих педотрансферных функций.

Цель исследований заключалась в разработке педотрансферных функций структурно-агрегатного состава и устойчивости к эрозии дерново-подзолистых почв, развивающихся на лессовидных легких суглинках, занятых пахотными землями.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Объектами исследования являлись дерново-подзолистые эродированные почвы на легких лессовидных суглинках, стационара «Стоковые площадки» Минского района Минской области, являющиеся в геоморфологическом отношении единой

почвенно-эрозионной катеной. На водораздельной равнине (плакоре) расположены незеродированные почвы, в верхней части склона – среднеэродированные, в средней части – сильноэродированные, у подножия склона – намытая почва.

Исследования проводились в звене зернового севооборота: овес (2018 г.) – яровой рапс (2019 г.) – яровая пшеница (2020 г.).

Отбор монолитов для структурно-агрегатного анализа производился в середине вегетации и перед уборкой сельскохозяйственных культур.

В процессе исследований определялись показатели, характеризующие структурно-агрегатный состав пахотного горизонта почв, исходя из данных сухого и мокрого просеивания, которые определяются по методу Саввинова:

- коэффициент структурности (Кстр.) – соотношение содержания агрономически ценных агрегатов (0,25–10 мм) к сумме агрегатов > 10 и <0,25 мм при сухом просеивании;
- водоустойчивость по классификации Качинского – содержание агрегатов больше 0,25 мм при мокром просеивании, %;
- коэффициент водопрочности (Квпр.) – соотношение количества водоустойчивых агрегатов более 0,5 мм (%) при мокром и сухом просеивании [15].

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

Также был проведен отбор сопряженных образцов для определения агрохимических и физических свойств почв.

Плотность почвы определяли буровым методом при помощи колец Капецкого (метод «режущих колец»), показатели пористости – расчетными методами [15].

Лабораторно-аналитические исследования агрохимических показателей почв выполнялись по следующим методикам: органическое вещество (гумус) – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); сумма поглощенных оснований и гидролитическая кислотность по Каппену (ГОСТ 27821-88; ГОСТ 26212-91).

Математическая обработка данных и корреляционно-регрессионный анализ выполнены с использованием программного обеспечения MS Excel и онлайн-сервиса Math.Semestr [16].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований для определения взаимосвязей противозерозионной устойчивости и структурного состояния почв и их свойств было отобрано более 100 сопряженных почвенных проб на дерново-подзолистых почвах, сформированных на лессовидных суглинках. С помощью пакета анализа данных MS Excel проведен корреляционный анализ, результаты которого показали, что средние и сильные взаимосвязи существуют (коэффициент корреляции выше 0,4) между показателями плотности, содержания гумуса с водоустойчивостью, содержанием агрономически ценных и водопрочных агрегатов. Корреляция степени насыщенности основаниями не показала значимой взаимосвязи с каким-либо показателем. Статистически значимых взаимосвязей между значениями средневзвешенного диаметра при «сухом» и «мокроем» просеивании также не выявлено. На основании анализа литературных данных [4] было выявлено наличие средней корреляционной связи между соотношением степени обеспеченности основаниями и содержания гумуса и показателями водоустойчивости и содержания агрономически цен-

ных агрегатов. Это отношение показывает обеспеченность почвы склеивающим веществом водопрочных агрегатов.

Выявленные взаимосвязи при корреляционном анализе позволили в дальнейшем провести регрессионный анализ, составить уравнения и построить графики линейной зависимости между показателями, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Уравнения регрессии и коэффициент детерминации взаимосвязей агрофизических и агрохимических свойств дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках**

Независимая переменная	Зависимая переменная	Уравнение регрессии	r	R <sup>2</sup>
Плотность	Содержание агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм)	$y = -74,762x + 164,85$	0,66	0,44
Плотность	Содержание агрономически ценных агрегатов (5–0,25 мм)	$y = -83,341x + 158,18$	0,71	0,50
Плотность	Водоустойчивость	$y = -26,648x + 50,832$	0,46	0,21
Пористость	Содержание агрономически ценных агрегатов (5–0,25 мм)	$y = 2,1495x - 56,5$	0,63	0,40
Содержание гумуса	Водоустойчивость	$y = 9,8251x + 0,6205$	0,64	0,41
Содержание гумуса	Содержание агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм)	$y = 15,786x + 40,123$	0,57	0,32
Содержание агрегатов 5–0,25 мм	Водоустойчивость	$y = 0,3234x + 1,0191$	0,48	0,23
Степень насыщенности основаниями/ содержание гумуса	Водоустойчивость	$y = -10,806x + 20,945$	0,48	0,23
Степень насыщенности основаниями/ содержание гумуса	Содержание агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм)	$y = -27,859x + 79,64$	0,49	0,24

После установления зависимостей между агрофизическими и агрохимическими свойствами, и содержанием агрономическим ценных агрегатов определены параметры построения педотрансферной функции. На основании полученных данных о структурном состоянии почв, сформированных на лессовидных легких суглинках, в качестве зависимой переменной выбран показатель содержания агрономически ценных агрегатов, а в качестве независимых – содержание гумуса, плотность и соотношение степени насыщенности основаниями к содержанию гумуса.

При помощи размещенного в интернете сервиса Math.Semestr [16] был обработан массив данных характеризующий структурное состояние почв. В результате получено уравнение множественной регрессии:

$$C = 76,0176 + 17,7165H - 50,4122D + 0,1795 V/H,$$

где C – сумма агрономически ценных агрегатов (5–0,25 мм), %; H – содержание гумуса, %; V – степень насыщенности основаниями, %; D – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>.

Множественный коэффициент корреляции 0,7082 указывает на сильную связь между изучаемыми факторами. Это позволяет использовать данное уравнение в качестве модели прогнозирования структурного состояния почвы. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Установлено, что в исследуемой ситуации 50,15 % общей вариабельности содержания агрономически ценных агрегатов (5–0,25 мм) объясняется изменением выбранных факторов.

На основании полученных в ходе исследования данных о структурном состоянии и устойчивости к эрозии почв, сформированных на лессовидных суглинках, при помощи размещенных в интернете сервисов по проведению многофакторного регрессионного анализа (данная функция отсутствует в MS Excel) создана модель, позволяющая оценить противозерозионную устойчивость почв. Все расчеты и аналитика выполнена на интернет сервисе математического анализа Math.Semestr [16].

После установления зависимостей между агрофизическими и агрохимическими свойствами, и устойчивостью почв к эрозионной деградации были определены переменные для использования в педотрансферной функции. В качестве зависимой переменной был выбран показатель водоустойчивости, а в качестве независимых – содержание гумуса, плотность и соотношение степени насыщенности основаниями к содержанию гумуса.

В результате расчетов получено уравнение противозерозионной устойчивости дерново-подзолистой почвы на лессовидных суглинках:

$$B = 1,2097 + 11,0437H - 5,2627D + 0,0646V/H,$$

где B – водоустойчивость, %; H – содержание гумуса, %; V – степень насыщенности основаниями, %, D – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>.

Множественный коэффициент корреляции 0,705 указывает на сильную связь между изучаемыми факторами. Это позволяет использовать данное уравнение в качестве модели прогнозирования противозерозионной устойчивости почвы. Статистическая значимость уравнения проверена с помощью коэффициента детерминации и критерия Фишера. Установлено, что в исследуемой ситуации 49,67 % общей вариабельности водоустойчивости объясняется изменением изучаемых факторов.

Используя полученные педотрансферные функции были определены параметры модельной почвы, обеспечивающие оптимальное структурное состояние и устойчивость к эрозионной деградации (табл. 2).

Таблица 2

**Диапазоны значений агрофизических и агрохимических свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на лессовидных суглинках, формирующие оптимальную структуру и противозерозионную устойчивость**

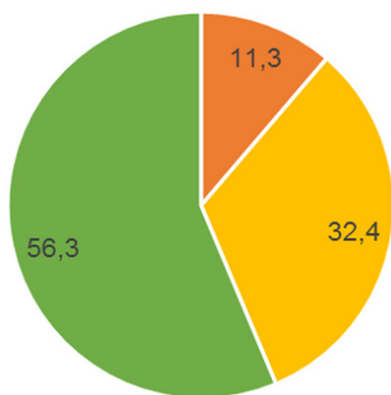
Показатель	Значение
Структура почвы	Мелкокомковатая
Содержание агрономически ценных агрегатов (10–0,25 мм)	Более 60 %
Содержание агрономически ценных агрегатов (5–0,25 мм)	Более 45 %
Содержание водопрочных агрегатов (10–0,25 мм)	30–75 %
Содержание гумуса (для оптимальной структуры)	более 1,6 %
Содержание гумуса (для устойчивости к эрозионной деградации)	Более 3 %

Окончание табл. 2

Показатель	Значение
Запасы гумуса	Более 110 т/га
Плотность (для оптимальной структуры)	1,0–1,35 г/см <sup>3</sup>
Плотность (для устойчивости к эрозионной деградации)	1,0–1,2 г/см <sup>3</sup>
Пористость	55–65 %
pH <sub>KCl</sub>	6,0–6,5
Степень насыщенности основаниями	Более 85 %

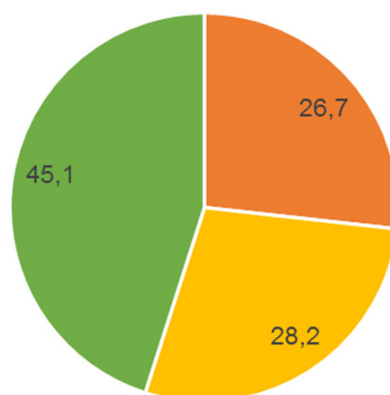
Стоит отметить, что дерново-подзолистые почвы, сформированные на лесовидных суглинках, обладают благоприятной структурой и низкой противэрозионной стойкостью, что обусловлено генетическими особенностями почвообразующих пород [17–18]. Это находит отображение в необходимых значениях содержания гумуса и плотности для достижения оптимальных параметров.

Для оценки эффективности разработанных педотрансферных функций была проведена верификация уравнений на всем массиве обработанных данных. Выполнено сравнение расчетных и экспериментальных величин, в результате выделено три группы по отклонению фактических показателей от экспериментальных (рис. 1 и 2).



■ >30% ■ 15-30% ■ 0-15%

Рис. 1. Распределение расчетных показателей содержания агрономически ценных агрегатов 5–0,25 мм с различным отклонением от экспериментальных



■ >30% ■ 15-30% ■ 0-15%

Рис. 2. Распределение расчетных показателей водоустойчивости с различным отклонением от экспериментальных

Прогнозные значения содержания агрономически ценных агрегатов существенно отличаются (более 30 %) в 11,3 % обработанных данных, еще в 32,4 % случаях различие составляет 15–30 %. В группу с наименьшими отличиями (0–15 %) входит 56,3 % массива значений. При этом в 15,5 % случаев различие расчетных и фактических значений составило менее 5 %.

Сопоставимое распределение характерно и для показателей водоустойчивости. Группы со значительными отклонениями составляют 26,7 % обработанных зна-

чений, со средними – 28,2 %, с наименьшими – 45,1 %. В группу с отклонениями менее 5 % относятся 14,1 % данных.

Следует отметить, что несмотря на наличие групп показателей с существенными отклонениями количественных величин структурного состояния и противоэрозионной устойчивости, при качественной характеристике отличия между прогнозными и экспериментальными минимальны. Все расчетные и фактические данные о устойчивости к водной эрозии соответствуют одинаковому диапазону значений, данные о содержании агрономически ценных агрегатов имеют единичные отличия.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили установить взаимосвязи между агрохимическими, физическими свойствами и структурным состоянием почв и их противоэрозионной устойчивостью. Наиболее высокая зависимость водоустойчивости получена с содержанием гумуса, плотностью, а также соотношением степени насыщенности основаниями к содержанию гумуса. На основании полученных зависимостей разработаны педотрансферные функции структурного состояния и противоэрозионной устойчивости дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках. Они имеют следующий вид:

$$C = 76,0176 + 17,7165H - 50,4122D + 0,1795 V/H,$$

$$B = 1,2097 + 11,0437H - 5,2627D + 0,0646V/H.$$

Множественный коэффициент корреляции функций более 0,7, что позволяет использовать их для прогнозирования данных свойств. Проведенная верификация показала высокую степень сходимости фактических и рассчитанных величин водоустойчивости и содержания агрономически ценных агрегатов.

Определены диапазоны агрохимических и агрофизических свойств, обеспечивающих оптимальную почвенную структуру и устойчивость к эрозионной деградации: содержание агрономически ценных агрегатов размером 10–0,25 мм – более 60 %, содержание агрономически ценных агрегатов (5–0,25 мм) – более 45 % содержание водопрочных агрегатов размером 10–0,25 мм – 30–75 %, плотность почвы – 1,00–1,20 г/см<sup>3</sup>, пористость почвы – 55–65 %, содержание гумуса – 3 % и более, запасы гумуса – 110 т/га и выше, рН<sub>KCl</sub> – 6,0–6,5, степень насыщенности основаниями – более 85 % .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медведев, В. В.* Структура почвы: методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана / В. В. Медведев. – Харьков: 13 типография, 2008. – 406 с.
2. *Антипов-Каратаев, И. Н.* Почвенный агрегат и его коллоидный анализ / И. Н. Антипов-Каратаев, В. В. Келлерман // Сб. трудов по агрономической физике. – 1960. – Вып. 8. – С. 121–131.
3. Структурные связи и процессы структурообразования в грунтах / В. И. Осипов, В. Н. Соколов; под ред. Е. М. Сергеева // Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы. – М.: Недра, 1985. – С.104–145.



4. Николаенко, А. Н. Моделирование связи структуры почвы с содержанием органического вещества и обменных  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  / А. Н. Николаенко, А. А. Кавокин // Вестник московского университета. Сер. 17. Почвоведение. – 2020. – № 2. – С. 24–28.
5. Федотов, Г. Н. Изучение механизма влияния органического вещества на структурно-механические свойства почвы / Г. Н. Федотов, С. А. Шоба, Д. Д. Хайдапова // Доклады академии наук. – 2014. – Т. 456, № 1. – С. 121–125.
6. Небольсин А. Н. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов) / А. Н. Небольсин, З. П. Небольсина. – СПб.: ГНУ ЛНИИСХ Россельхозакадемии, 2010. – 254 с.
7. Черныш, А. Ф. Сравнительная оценка агрофизических, микроморфологических свойств и минералогического состава, отражающих степень устойчивости дерново-подзолистых почв на лессовидных и моренных суглинках к эрозионной деградации / А. Ф. Черныш, В. Т. Сергеенко, В. Б. Цырибко // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 32–40.
8. Качинский, Н. А. Физика почв / Н. А. Качинский. – М.: Высш. шк., 1965. – Ч. 1. – 323 с.
9. Quantification of freeze-thaw related structure in cultivated topsoils using X-ray computer tomography / I. A. Taina [et al.] // Canadian Journal Soil Science. – 2013. – Vol. 93(4). – P. 533–553.
10. Parsons, Anthony J. How reliable are our methods for estimating soil erosion by water? / Anthony J. Parsons // Science of the Total Environment. – 2019. – Vol. 676. – P. 215–221.
11. Kaur, R. A pedo-transfer function (PTF) for estimating soil bulk-density from basic soil data and its comparison with existing PTFs / R. A. Kaur, S. Kumar, H. P. Gurung // Soil Res. – 2002. – Vol. 40(5). – P. 847–858.
12. Pedotransfer functions for Irish soils – estimation of bulk-density (pb) per horizon type. / B. Reidy d [et. al.] // Soil. – 2016. – Vol. 2(1). – P. 25–39.
13. Schaap, M. G. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions/ M. G. Schaap, F. J. Leij, M. T. van Genuchten / J. L. Hydrology. – 2001. – Vol. 251. – P. 163–176.
14. Hakansson, I. A review of the usefulness of relative bulk-density values in studies of soil structure and compaction / I. Hakansson, J. Lipiec // Soil Tillage Research. – 2000. – Vol. 53(2). – P. 71–85.
15. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
16. Многофакторный регрессионный анализ [Электронный ресурс] // Интернет-портал о математике и статистике. – Режим доступа: <https://math.semestr.ru/regress/corel.php>. – Дата доступа: 10.03.2021.
17. Современное агрофизическое состояние почв центральной почвенно-экологической провинции / А. Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 1(56). – С. 15–25.
18. Роля арганічних угнаенняў і вапнавання ў фарміраванні структурнага стану і супрацьэразійнай устойлівасці дзярнова-падзолістых эрадаваных глебаў, якія развіваюцца на лёсападобных суглінках / В. Б. Цырыбка [і інш.] // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 54–61.

**PEDOTRANSFER FUNCTIONS OF THE STRUCTURAL STATE  
AND RESISTANCE TO EROSION OF SOD-PODZOLIC SOILS FORMED  
BY LOESS-LIKE LOAMS**

**I. A. Lahachou, M. M. Tsybulka, V. B. Tsyrybka,  
H. M. Ustsinava, I. I. Kasyanenko**

**Summary**

The article presents the results of studies of the relationship between agrochemical and agrophysical properties with the structure and resistance to erosive degradation of sod-podzolic loamy soils formed on loess-like parental material. Pedotransfer functions have been developed and verified. The ranges of soil properties that form the optimal structural state and resistance to erosion processes are determined.

*Поступила 29.03.21*

## 2. ПЛОДРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:631.445

### ТРАНСФОРМАЦИЯ КАЛИЙНОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКООКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ КАЛИЙ-ДЕФИЦИТНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева

*Институт почвоведения и агрохимии  
г. Минск, Беларусь*

#### ВВЕДЕНИЕ

Почвы Беларуси сравнительно хорошо обеспечены калием. Две трети площади пашни характеризуются оптимальным или высоким уровнем содержания подвижных форм данного элемента [1].

Хорошо окультуренная дерново-подзолистая почва с оптимальным калийным состоянием обладает высоким потенциалом эффективного плодородия. На такой почве наблюдается стабильно высокая агрономическая эффективность калий-дефицитных систем удобрения [2, 3], которая может прослеживаться в течение трех ратаций 6-польного севооборота [4].

В результате изучения изменений запасов обменного калия в пахотном слое почвы при применении калий-дефицитных систем удобрения получены довольно противоречивые данные [5]. Но в исследованиях, проводившихся на хорошо окультуренных почвах, как правило, отмечается значительная деградация калийного состояния.

В исследованиях, проводившихся на территории России [2], установлено, что 20-летнее использование калий-дефицитной системы удобрения приводит к уменьшению содержания водорастворимых соединений калия в 5,8–8,1, подвижных – в 2,4–2,6 раза, необменных на – 62–71 %.

Наряду со снижением запасов калия и его подвижности, другими исследователями [6] в последствии отмечалось несколько более интенсивное потребление «остаточного» калия из обменной формы при минеральной системе удобрения по сравнению с органической и органоминеральной.

При исследовании динамики содержания обменного калия за 28 лет опыта на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в зернотравяном севообороте было определено, что в первые 8 лет происходило снижение его количества до определенного предела (70–110 мг/кг почвы), который в дальнейшем практически не изменялся [7].

Исследования, проводившиеся на территории Беларуси [8] на супесчаной почве, показали, что уже через 5 лет последствия калийных удобрений содержание подвижного калия в почве снижалось на 30 % от исходного состояния (220 мг/кг

почвы), а через 25 лет достигло уровня целинного аналога (40 мг/кг). Средние ежегодные потери элемента составили около 8 мг/кг почвы в год.

Изучение последствий почвенного фонда калия, сформированного предшествующим внесением различных доз калийных удобрений, показало, что его длительность и эффективность закономерно зависят от исходного уровня содержания калия в почве, обусловленного ранее поддерживаемым балансом данного элемента [9], а также системами удобрения сельскохозяйственных культур и структурой севооборотов [10].

Необходимо отметить, что снижение объемов внесения калийных удобрений в Беларуси обусловило смену в период 2017–2019 гг. преобладающего в земледелии положительного баланса калия на дефицит калийного питания растений в ряде районов республики [1]. В таких условиях важно не допустить снижения почвенного плодородия в отношении калия. Поэтому изучение его трансформации в почве как под влиянием длительного применения удобрений, так и после прекращения их использования представляется актуальным.

Оценка плодородия почв в отношении калия основана чаще всего на определении содержания в почве обменного (подвижного) калия. Как отмечают многие исследователи [11, 12, 13], оценивать калийное состояние почвы только по содержанию обменного калия явно недостаточно. Ведь в процесс питания растений в той или иной степени вовлекаются все формы почвенного калия.

Цель исследования – оценка калийного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой высококультуренной почвы на основании динамики водорастворимых, подвижных и необменных форм данного элемента в условиях последствий органических и калийных минеральных удобрений.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение калийного режима дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы с очень высоким содержанием подвижного калия проводилось в 2012–2018 гг. в стационарном технологическом опыте, заложенном на полях Института почвоведения и агрохимии, расположенных в ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области. Агрохимическая характеристика пахотного слоя на начало проведения исследований:  $pH_{KCl}$  – 6,02–6,33, гумус – 2,07–2,40 %, содержание подвижных  $P_2O_5$  – 736–847,  $K_2O$  – 387–449 мг/кг почвы.

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

В опыте предусматривалось внесение минеральных удобрений на разных органических фонах. Органические удобрения (навоз КРС) со следующими показателями качества (в среднем за 2 года): N – 0,50 %,  $P_2O_5$  – 0,28 %,  $K_2O$  – 0,60 %, CaO – 0,40 %, MgO – 0,12 %, влажность – 75 %, вносились осенью перед посевом кукурузы.

Минеральные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) применялись согласно схеме опыта (табл. 1).

Перед закладкой опыта (2012, 2013 гг.) в середине ротации (2015, 2016 гг.) и после завершения ротации севооборота (2018, 2019 гг.) проведен отбор смешанных почвенных образцов из пахотного слоя по делянкам.

В образцах определяли следующие формы калия: водорастворимый в водной вытяжке, подвижный по Кирсанову в 0,2 М солянокислой вытяжке, необменный по методу Пчелкина, представленный как разница между количеством калия переходящим в 2,0 М вытяжку соляной кислоты и величиной подвижного калия [14].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание водорастворимого, подвижного и необменного калия в почве перед закладкой опыта свидетельствует о высокой обеспеченности растений данным элементом питания (табл. 1).

Таблица 1

**Изменение содержания различных форм калия в пахотном слое дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почвы за ротацию севооборота, 2012–2018 гг., мг/кг почвы**

Фон	Водорастворимый			Подвижный			Необменный		
	н.р.	к.р.	±	н.р.	к.р.	±	н.р.	к.р.	±
Без удобрений – фон 1	68	53	–15	396	327	–69	416	362	–54
Фон 1 + N <sub>330</sub>	73	49	–24	398	307	–91	410	369	–41
Фон 1 + N <sub>480</sub>	70	44	–26	401	284	–117	430	347	–83
Фон 1 + N <sub>630</sub>	72	42	–30	387	274	–113	416	352	–64
Фон 1 + N <sub>630</sub> P <sub>90</sub> K <sub>195</sub>	71	49	–22	400	299	–101	401	332	–69
Среднее по фону	<b>71</b>	<b>47</b>	<b>–24</b>	<b>396</b>	<b>298</b>	<b>–98</b>	<b>415</b>	<b>352</b>	<b>–63</b>
Навоз 50 т/га – фон 2	75	65	–10	407	366	–41	395	357	–38
Фон 2 + N <sub>330</sub>	72	66	–6	400	355	–45	410	377	–33
Фон 2 + N <sub>480</sub>	76	59	–17	419	331	–88	451	389	–62
Фон 2 + N <sub>630</sub>	76	56	–20	423	324	–99	450	384	–66
Фон 2 + N <sub>630</sub> P <sub>90</sub> K <sub>195</sub>	80	57	–23	418	336	–82	467	375	–92
Среднее по фону	<b>76</b>	<b>61</b>	<b>–15</b>	<b>413</b>	<b>342</b>	<b>–71</b>	<b>435</b>	<b>376</b>	<b>–58</b>
Навоз 100 т/га – фон 3	76	78	2	449	413	–36	399	416	17
Фон 3 + N <sub>330</sub>	77	70	–7	434	390	–44	456	377	–79
Фон 3 + N <sub>480</sub>	77	65	–12	411	364	–47	424	377	–47
Фон 3 + N <sub>630</sub>	75	60	–15	418	350	–68	418	415	–3
Фон 3 + N <sub>630</sub> P <sub>90</sub> K <sub>195</sub>	76	73	–3	415	381	–34	420	416	–4
Среднее по фону	<b>76</b>	<b>69</b>	<b>–7</b>	<b>425</b>	<b>380</b>	<b>–46</b>	<b>423</b>	<b>400</b>	<b>–23</b>
НСП <sub>05</sub> (фон)	–	7	–	–	27	–	–	25	–
НСП <sub>05</sub> (н./к.р.)	–	–	5	–	–	20	–	–	33

Возделывание культур севооборота при различных системах удобрения привело к значительным изменениям в содержании соединений калия различной растворимости. Наибольшие потери наблюдались в условиях использования почвенного калия (фон 1). Существенное снижение потерь всех форм элемента отмечено при внесении 300 и 600 кг/га калия вместе с 50 и 100 т/га навоза соответственно. Внесение в сумме за ротацию севооборота 195 кг д. в./га минеральных калийных удобрений, ввиду незначительного их количества в сравнении с выносом, составившим в среднем в этих вариантах 764 кг/га, не имело

существенного преимущества перед моноазотной системой удобрения. Иванов и др. в своих исследованиях [4] на почве с содержанием подвижного калия 466 мг/кг почвы также указывают на то, что ежегодное внесение  $K_{60}$  компенсировало вынос лишь на 1/3, замедляло, но не предотвращало ухудшения калийного состояния почвы.

Изменения в содержании соединений калия различной растворимости имели свои особенности.

Водорастворимый калий не характеризует плодородие почвы в отношении калия, но широко используется при исследовании форм калия, степени окультуренности и удобренности почвы [14]. Перед закладкой опыта в почве содержалось 68–80 мг/кг водорастворимого калия, что составило в среднем по опыту 18 % от подвижного. К концу ротации севооборота отмечено достоверное снижение содержания данной формы калия. На безнавозном фоне потери были самыми высокими и составили в среднем 24 мг/кг почвы. Внесение 50 т/га навоза способствовало снижению темпов падения содержания данной формы элемента до 15 мг/кг почвы. Наименьшие потери (7 мг/кг) отмечены при внесении 100 т/га навоза. Таким образом, к концу ротации севооборота между изучаемыми фонами отмечалась существенная разница в содержании наиболее доступного для растений калия.

Достоверное снижение по всем изучаемым фонам отмечено и в отношении подвижного калия. На безнавозном фоне содержание снизилось на 25 % по отношению к начальному показателю и составило к концу ротации севооборота в среднем по фону 298 мг/кг почвы. На фонах с применением органических удобрений темпы снижения были ниже, составив 11–17 %. Можно отметить тенденцию увеличения темпов снижения содержания подвижного калия при повышении доз азотных удобрений и, соответственно, продуктивности севооборота в данных вариантах.

Обращает на себя внимание благоприятное действие навоза на калийное состояние почвы, оно отмечалось в первые три года после его внесения (рис. 1). Так через три года после внесения 600 кг/га калия со 100 т/га навоза отмечалось повышение содержания подвижного калия в данных вариантах в среднем на 12 мг/кг почвы. Внесение половинной дозы навоза и, соответственно, калия, позволило снизить темпы падения содержания калия до 23 мг/кг за три года, в то время как на фоне без навоза они составили 69 мг/кг почвы, или 23 мг/кг почвы в год. В дальнейшем на минеральном фоне можно отметить наметившуюся стабилизацию, так как за два года снижение составило 29 мг/кг почвы (15 мг/кг в год). На фонах с применением навоза напротив темпы снижения содержания подвижного калия повысились, составив 29 мг/кг в год на фоне применения 100 т/га навоза и 24 мг/кг при применении 50 т/га навоза. Если на фоне без навоза более низкие темпы снижения содержания подвижного калия можно отчасти объяснить меньшей величиной выноса (110,8 кг/га за два года), то более высокие потери почвенного калия на фоне 100 т/га навоза никак не связаны с выносом, который был несколько ниже, чем на фоне с внесением 50 т/га навоза (121,9 и 125,1 кг/га соответственно).

Отмечается [9], что очень высокое содержание подвижного калия в почве является неустойчивым и после прекращения поступления элемента извне, быстро снижается, как за счет выноса растениями, так и, возможно, за счет прочной фиксации почвой.

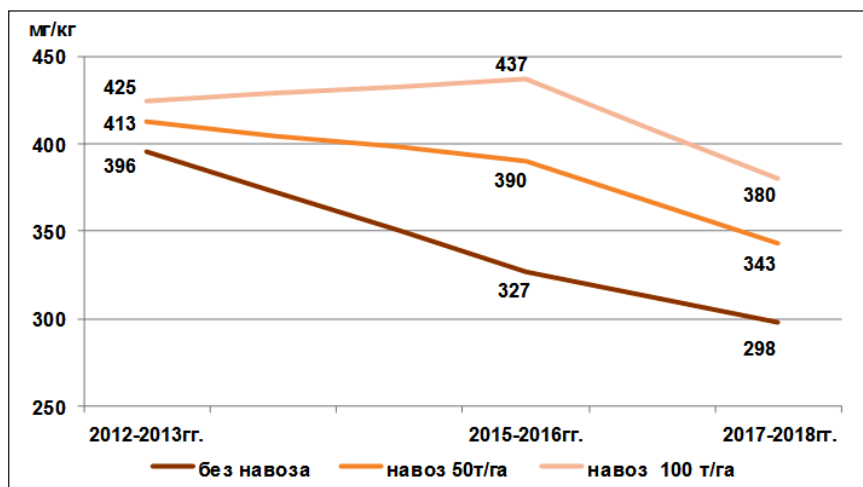


Рис. 1. Динамика содержания подвижного калия за ротацию севооборота

В наших исследованиях повышение содержания необменного калия не отмечалось, вероятно, фиксация калия происходила в формах неизвлекаемых 2,0 М НСl. При этом достоверное снижение содержания необменного калия отмечено на безнавозном фоне (63 мг/кг почвы) и фоне с применением 50 т/га навоза (58 мг/кг почвы). Применение двойной дозы навоза способствовало снижению темпов потери необменной формы калия в вариантах с совместным применением азотных удобрений, а в варианте с внесением навоза без дополнительного азота наблюдалась тенденция повышения ее содержания. Необходимо отметить, что в этом варианте зафиксирован и положительный баланс данного элемента, составивший 19 кг/га.

Обращает на себя внимание то, что если по влиянию на динамику содержания водорастворимого и подвижного калия отмечалось существенное преимущество внесения 50 т/га навоза перед безнавозным фоном, то в отношении необменного калия положительное действие наблюдалось только при применении 100 т/га навоза.

За ротацию севооборота отмечены тенденции в изменении соотношения между содержанием форм калия различной растворимости. Так, если в абсолютном выражении количество необменного калия снижалось, то в относительном выражении его доля в сумме калия, извлекаемого 2,0 М НСl, к концу ротации севооборота несколько повысилась (рис. 2). В начале ротации севооборота доли доступных (водорастворимый и подвижный калий) и непосредственно недоступных для растений (необменный) форм калия распределились практически поровну. Необменный калий составлял 50–51 % от суммарного калия, извлекаемого 2,0 М НСl. Относительное содержание водорастворимого калия составило 9 %, подвижные соединения – 40–41 %.

Изменения в относительном содержании отдельных форм калия говорят о негативной направленности процессов трансформации. Наиболее заметные преобразования наблюдались на фоне без применения органических удобрений. Относительное содержание водорастворимого калия снизилось на 2 %, что составляет 1/5 часть от начальной доли. Менее значительные изменения коснулись

подвижного калия (–1 %), а доля необменного увеличилась на 3 %. При внесении органических удобрений соотношения между соединениями калия различной растворимости изменялись в пределах одного процента и могут быть связаны как с наметившейся тенденцией трансформации калия в менее доступные формы, так и с погрешностями определения.

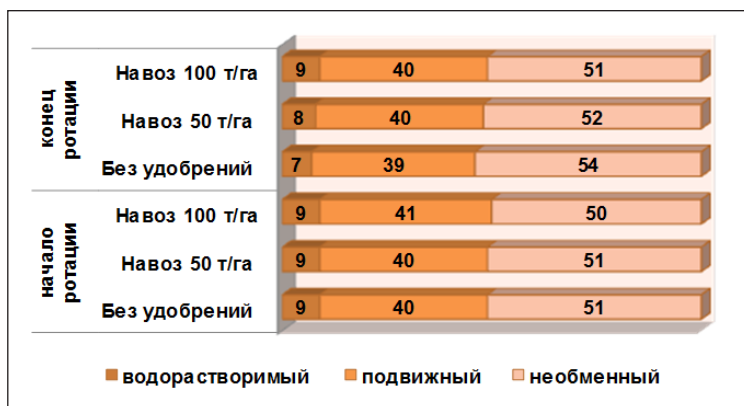


Рис. 2. Изменение долей соединений калия различной растворимости в сумме, извлекаемых 2,0 НСl, за ротацию севооборота

На калийное состояние почвы непосредственное влияние оказывает приход элемента с удобрениями, а также отчуждение с урожаем. Эти две величины связывает показатель баланса калия. Положительный баланс указывает на повышение плодородия почвы, а отрицательный – на истощение почвенных запасов калия. Как показывают результаты исследований [5], изменения в содержании различных форм калия не всегда согласуются с его балансом.

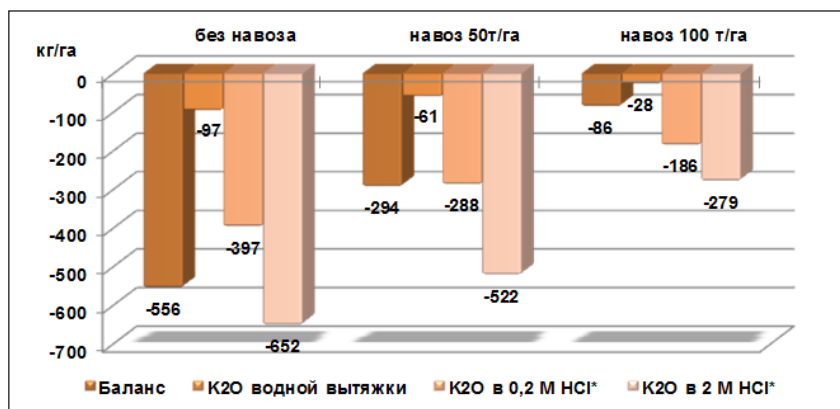
В проведенном опыте за ротацию севооборота отмечено значительное снижение запасов калия в почве, превышавшее величину баланса данного элемента (рис. 3). Как видно, питание растений калием на фоне без навоза происходило как за счет подвижных, так и изначально необменных форм, при этом непроизводительные потери элемента составили 93 кг/га. Они могут быть связаны как с вымыванием из пахотного слоя, так и с переходом в формы, не извлекаемые 2,0 М НСl.

При применении 50 т/га навоза снижение запасов подвижного калия (–288 кг/га) сопоставимо с расчетным балансом данного элемента (–294 кг/га), а при внесении 100 т/га навоза в 2,2 раза превышало баланс. Таким образом, непроизводительные потери калия в подвижной и необменной формах на фонах с применением навоза составили 193–228 кг/га.

Полученные данные свидетельствуют о постоянном пополнении подвижных форм калия из необменных, в противном случае на фонах без навоза и с внесением 50 т/га навоза запасы подвижного калия были бы полностью исчерпаны всего за пять лет. Необходимо отметить, что в исследованиях не брался в расчет калий подпахотного слоя почвы, который также участвует в питании растений.

Но, несмотря на то что растения используют калий и подпахотного слоя почвы, между убылью различных форм калия в пахотном слое и балансом данного элемента обнаружена тесная линейная зависимость.

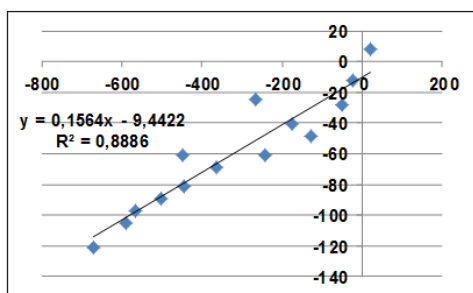




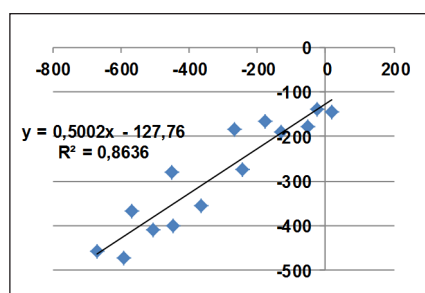
\* Приведены запасы калия в 2 М НСl без вычета 0,2 М вытяжки и в 0,2 М НСl без вычета калия водной вытяжки.

Рис. 3. Баланс калия и изменение в пахотном слое почвы запасов различных соединений калия за ротацию зернопропашного севооборота

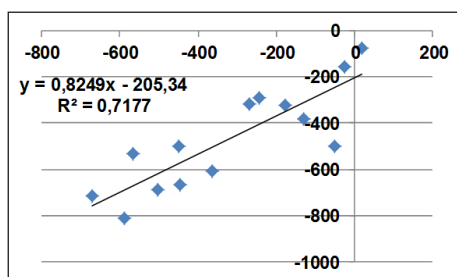
Особенно тесная связь обнаружена между балансом и изменением запасов наиболее доступной части калия в почве, коэффициент детерминации для водорастворимого калия составил 0,89, для подвижного – 0,86 (рис. 4). Показатель коэффициента детерминации на уровне 0,72, рассчитанный для баланса и изменения запасов необменного калия, свидетельствует о значительной вовлеченности и этой формы калия в питание растений.



Водорастворимый



Подвижный



Необменный

Рис. 4. Линейные взаимосвязи баланса калия (x) и изменений запасов соединений калия различной растворимости (y) в пахотном слое почвы

## ВЫВОДЫ

Применение калий-дефицитных систем удобрения на высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в течение ротации пятипольного зернопропашного севооборота привело к достоверному снижению содержания водорастворимых (на 7–24 мг/кг почвы, или 9–34 %) и подвижных (на 46–98 мг/кг, или 11–25 %) форм калия на всех изучаемых фонах. Достоверное сокращение количества необменного калия (на 58–63 мг/кг почвы, или 13–15 %) наблюдалось на фоне без применения навоза и с внесением 50 т/га навоза.

Установлено положительное влияние внесения органических удобрений на калийное состояние почвы, которое прослеживалось в течение трех лет. При применении 100 т/га навоза количество подвижного калия за это время увеличилось на 12 мг/кг почвы (2,8 %), 50 т/га навоза замедлило темпы снижения количества подвижного калия до 23 мг/кг за три года (5,6 %).

Среднегодовые потери подвижного калия на фоне без внесения навоза составили 19,6 мг/кг почвы, на фоне применения 50 т/га навоза – 14,2, 100 т/га навоза – 9,2 мг/кг.

Снижение количества калия в пахотном слое почвы превышало расчетный баланс данного элемента. Непроизводительные потери в сумме подвижного и необменного калия на безнавозном фоне составили 96 кг/га, на фоне 50 т/га навоза – 228 кг/га, на фоне 100 т/га навоза – 193 кг/га, или 17, 78 и 224 % от баланса соответственно.

Между изменением запасов соединений калия различной растворимости в пахотном слое почвы и балансом калия установлены тесные линейные зависимости. Коэффициент детерминации для водорастворимого калия составил 0,89, для подвижного – 0,86, для необменного – 0,72.

Таким образом, применение калий-дефицитных систем удобрения на почвах с высоким содержанием подвижного калия ведет к развитию интенсивных деграционных процессов в отношении данного элемента и истощению калийного фонда почвы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика обеспеченности калием пахотных и луговых почв Беларуси / И. М. Богдевич [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 1(64). – С. 104–116.
2. Лямцева, Е. Г. Калийное состояние легких дерново-подзолистых почв и его трансформация в современных условиях: дис. ...канд. с/х наук: 06.01.04 / Е. Г. Лямцева; ВГСХА. – Великие Луки, 2007. – 158 с.
3. Влияние окультуренности почв, систем удобрения и сорта на урожайность яровых зерновых культур / В. А. Воробьев, Г. В. Гаврилова, О. В. Назарова // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 5. – С. 28–30.
4. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения / А. И. Иванов [и др.] // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 21–26.
5. Джонстон, А. Е. Использование результатов анализов растений и почвы для определения обеспеченности почвы калием / А. Е. Джонстон, К. В. Т. Гулдинг //

Выработка рекомендаций по применению калийных удобрений: материалы 22-го Международного коллоквиума, Солигорск, 18–22 июня 1990 г.: в 2 т. / Международный калийный институт; ред. Н. Ю. Богачева [и др.]. – Л., 1990. – Т. 2. – С. 3–37.

6. Лукин, С. М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений / С. М. Лукин // *Агрохимия*. – 2012. – № 12. – С. 5–14.

7. Никитина, Л. В. Влияние длительного применения удобрений в зернопашном севообороте на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы / Л. В. Никитина // *Агрохимия*. – 2012. – № 12. – С. 15–23.

8. Длительность последствий фосфорных и калийных удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие дерновоподзолистой супесчаной почвы / В. В. Лапа [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2019. – № 2(63). – С. 56–68.

9. Якименко, В. Н. Действие и последствие калийных удобрений в полевом опыте на серой лесной почве / В. Н. Якименко // *Агрохимия*. – 2015. – № 4. – С. 3–12.

10. Никитина, Л. В. Действие и последствие разных систем удобрения в длительном полевом опыте на калийный режим суглинистой почвы / Л. В. Никитина // *Плодородие*. – 2015. – № 6. – С. 3–5.

11. Сычев, В. Г. Трансформация калия в почвах агроценозов без применения удобрений / В. Г. Сычев, Л. В. Никитина // *Плодородие*. – 2017. – № 6. – С. 5–7.

12. Демин, В. А. Формы калийных соединений в дерново-подзолистой почве при длительном применении удобрений / В. А. Демин, Ауду Муса // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2002. – № 4. – С. 41–50.

13. Минеев, В. Г. Агрохимия и экологические функции калия / В. Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.

14. Практикум по агрохимии: учебное пособие / под ред. В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

## TRANSFORMATION OF THE POTASH STATE OF HIGHLY CULTIVATED SOD-PODZOLIC LIGHT-LOAMY SOIL UNDER CONDITIONS OF APPLICATION OF POTASSIUM-DEFICIENT FERTILIZER SYSTEMS

O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva

### Summary

The results of studies on the study of the potash state of sod-podzolic light-loamy soil under the conditions of the use of potassium-deficient fertilizer systems are presented. It is established that the use of potassium-deficient fertilizer systems on soils with a high content of mobile potassium leads to the development of intensive degradation processes in relation to this element and the depletion of the potash fund of the soil. The decrease in the content of water-soluble potassium during the rotation of the five-field grain-crop rotation is 9–34 %, mobile – 11–25 %, non-exchange 10–15 %. The highest rates of degradation were observed when using a mineral fertilizer system. The introduction of manure reduced the loss of potassium in absolute terms, but increased the share of unproductive losses.

Поступила 23.03.21

## **ДИАГНОСТИКА АЗОТНОГО ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

**О. Г. Кулеш, Е. Г. Мезенцева, Н. Н. Семененко, О. В. Симанков**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Ведущая роль в повышении урожаев сельскохозяйственных культур принадлежит азоту. Он является важным биологическим элементом и играет исключительную роль в жизни растений. Источниками азота для растений являются почвенный азот, органические и минеральные удобрения, биологический азот, накапливаемый клубеньковыми бактериями, свободноживущими азотфиксирующими организмами, а также азот, поступающий с атмосферными осадками и семенами [1].

Почвенный азот в основной своей массе представлен органическими соединениями, входящими в состав гумуса, и только незначительная его часть (до 5 %) находится в виде неорганических соединений – нитратов и аммония [2, 3]. Величина общего запаса азота в почвах является показателем их потенциального плодородия.

Для установления оптимальных доз азотных удобрений и сроков их внесения при выращивании сельскохозяйственных культур используется метод определения потенциально усвояемого азота [4], принятый как республиканский стандарт. Метод предусматривает учет азота нитратов, обменного аммония и легко минерализуемых органических соединений, т. е. непосредственно используемого растениями минерального азота и его ближайшего резерва.

Наиболее коррелирует с содержанием азота в вегетативных органах растений и с величиной урожая количество минерального азота в почве [3], что определяет преимущество использования его для почвенной диагностики азотного питания растений.

Однако почвенный анализ не может предусмотреть влияния на поглощение растением питательных веществ и его рост таких факторов, как погодные условия, избирательная способность культуры в поглощении питательных веществ из почвы по фазам развития, микробиологические процессы в почве и т. д., поэтому в ходе вегетации для оценки и корректировки питания культур используется растительная диагностика [5–7]. При использовании этого вида диагностики пробы растений анализируют либо без озоления на содержание в них неорганических форм соединений, либо после озоления определяют общее количество элемента [7].

Цель данной работы – оценка азотного питания растений яровой пшеницы, возделываемой на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, с использованием, разработанных Н. Н. Семененко и других методов

анализа дерново-подзолистых почв на содержание минерального азота в почве [8] и определения содержания минерального азота в растениях [9]. Особенность методик заключается в том, что для экстрагирования азота из растительных и почвенных образцов используется один и тот же растворитель – 0,2 М уксусная кислота.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные полевые исследования с яровой пшеницей сорт Сударыня проводили в 2018–2020 гг. на опытном поле РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в ОАО «Гастелловское» Минского района на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя следующая:  $pH_{KCl}$  5,9–6,1, содержание гумуса – 2,3–2,6 %,  $N_{усв}$  – 20–24 мг/кг, подвижные соединения фосфатов – 630–720, калия – 210–280 мг/кг почвы.

Предшественник яровой пшеницы – горохо-овсяная смесь на зеленую массу и поукосно редька масличная.

В опыте предусматривалось применение в основное внесение мочевины, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия. Азотные удобрения в подкормку вносили в форме мочевины (**М**) в твердом виде (вариант 7) в фазы 1-го узла и флаг-листа и в виде раствора при разбавлении водой (вариант 8) в фазы 1-го узла, флаг-листа и колошения. Комплексное водорастворимое удобрение – АФК ( $N_{16}P_{16}K_{16}$ ) в виде раствора в фазы 1-го узла, флаг-листа и колошения. Регулятор роста – Экосил и микроудобрения МикроСтим-Медь, Марганец применяли в подкормку в фазы 1-го узла и флаг-листа, МикроСил-Бор в колошение согласно схеме опыта.

Схема опыта:

1. Без удобрений
  2.  $P_{30}K_{90}$  – фон
  3. Фон +  $N_{60}$
  4. Фон +  $N_{90}$
  5. Фон +  $N_{120}$
  6. Фон +  $N_{150}$
  7. Фон +  $N_{90+30+30}$  + МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 + 1,0 л/га) + Экосил (0,1 + 0,1 л/га)
  8. Фон +  $N_{90}$  + ( $N_{14(M)}$  + АФК, 4кг/га + МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га) + Экосил (0,1 л/га))<sup>1</sup> + ( $N_{12(M)}$  + АФК, 3кг/га + МикроСтим-Медь, Марганец (1,0 л/га) + Экосил (0,1 л/га))<sup>2</sup> + ( $N_{9(M)}$  + АФК, 2 кг/га + МикроСил-Бор (1,5 л/га))<sup>3</sup>
- 1 – Водный раствор<sup>1</sup> – фаза 1-го узла  
 2 – Водный раствор<sup>2</sup> – фаза флагового листа  
 3 – Водный раствор<sup>3</sup> – фаза колошения.

В 8 варианте за вегетацию внесено 126 кг/га д.в. азота, 31,4 кг/га д.в. фосфора и 91,4 кг/га д.в. калия.

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

Опыт заложен в 4-кратном повторении, общая площадь делянки 24 м<sup>2</sup>.

В течение вегетации растений в фазы 1-го узла, флаг-листа, колошения, молочной спелости и созревания осуществлялся мониторинг за биометрическими показателями. В эти же фазы и перед посевом яровой пшеницы, до внесения удобрений, осуществлялся отбор почвенных образцов.

Минеральные соединения азота в почве определяли путем экстрагирования из почвы 0,2 М раствором уксусной кислоты при отношении почвы к экстрагенту 1:20, времени взаимодействия – 18–20 ч и последующим фотокolorиметрическим определением азота [8].

Минеральные соединения азота в сырой растительной массе ( $N_{\text{мин}}$ ) также экстрагировались 0,2 М раствором уксусной кислоты при соотношении массы растений и экстрагирующего раствора 1:20 и времени взаимодействия – 18–20 ч, определение фотометрическое [9].

Также определяли:

- содержание потенциально усвояемых соединений азота в почве перед посевом культуры по методу Н. Н. Семененко и др. [4],
- концентрация валовых форм азота в растениях (Нобщ) после мокрого озоления по методу ЦИНАО (1982);
- содержание белка и клейковины в зерне – на ИК спектрофотометре «Infra-neo».

Дисперсионный и корреляционный анализ экспериментальных данных выполнен согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [10] с использованием соответствующих программ пакета MSExcel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метеорологические условия в годы исследований значительно различались (табл. 1). Условия 2018 г. в период от посева и до наступления фазы флаг-листа у яровой пшеницы отличались повышенными температурами воздуха (15,8–17,8 °С), сопровождавшимися значительным недостатком влаги. В дальнейшем температурный режим оставался благоприятным, условия увлажнения несколько улучшились, но дефицит запасов влаги в почве отмечался практически до фазы молочной спелости яровой пшеницы.

Таблица 1

**Гидротермические условия по периодам вегетации яровой пшеницы, 2018–2020 гг.**

Показатель	Год	Межфазный период				
		посев – 1-й узел	1-й узел – флаг-лист	флаг-лист – колошение	колошение – молочная спелость	молочная спелость – созревание
Средние температуры за период, °С	2018	15,8	17,8	18,3	17,1	21,2
	2019	11,4	18,8	22,8	19,4	16,4
	2020	8,2	16,4	21,0	20,1	17,1
$\sum t > 10$ °С (активных)	2018	294,2	380,7	164,4	341,6	359,4
	2019	288,0	273,4	155,6	325,3	460,8
	2020	181,6	334,7	188,7	280,7	478,3
Сумма осадков, мм	2018	19,1	2,0	17,7	192,1	11,0
	2019	51,6	14,8	8,1	36,4	63,0
	2020	53,3	90,7	19,9	66,6	35,4

Показатель	Год	Межфазный период				
		посев – 1-й узел	1-й узел – флаг-лист	флаг-лист – колошение	колошение – молочная спелость	молочная спелость – созревание
Длительность меж- фазного периода, дней	2018	27	20	10	31	18
	2019	46	14	7	17	27
	2020	46	21	9	14	27

2019 г. в начальный период вегетации яровой пшеницы характеризовался благоприятными условиями. В то же время, критический период по отношению к влаге у яровой пшеницы (1-й узел – колошение), отличался засушливыми условиями, выпало 22,9 мм осадков, при повышенных температурах воздуха (18,8–22,8 °С). 2020 г. характеризовался лучшей влагообеспеченностью, чем предыдущие годы, при пониженном температурном фоне в начальный период роста растений яровой пшеницы. От посева до первого узла средние температуры воздуха составили всего 8,2 °С, в то время как оптимальной температурой для появления всходов является 12–15 °С [11]. В период от флаг-листа до молочной спелости температурный режим улучшился (20,1–21,0 °С), количество осадков составило 86,5 мм за период.

Гидротермические условия оказали значительное влияние на содержание азота в почве и растениях яровой пшеницы и в результате повлияли на величину и качество урожая культуры.

Содержание усвояемого азота перед посевом яровой пшеницы по годам исследований изменялось незначительно, составив в среднем по опыту в 2018 г. – 21,4, в 2019 г. – 23,3 и в 2020 г. – 20,7 мг/кг почвы. В то же время содержание минеральных форм элемента, определяемое в 0,2 М уксусной кислоте, более существенно различалось по годам – от 2,2 в 2018 г. до 17,0 мг/кг в 2020 г.

В среднем за три года содержание минерального азота в почве перед посевом яровой пшеницы составляло 9,3–10,6 мг/кг почвы (табл. 2). К фазе первого узла отмечается положительное действие на данный показатель азотных удобрений, внесенных перед посевом в дозе 90 кг д.в./га и выше. В вариантах с внесением N<sub>90</sub> количество минерального азота оставалось на предпосевном уровне, при внесении N<sub>120</sub> и N<sub>150</sub> – несколько повышалось. В дальнейшем существенных различий в данном показателе между вариантами с внесением от 60 до 150 кг д.в./га азота не наблюдалось.

Таблица 2

**Динамика содержания минерального азота в почве, среднее за 2018–2020 гг., мг/кг**

Вариант опыта	Перед посевом	1-й узел	Флаг-лист	Колошение	Молочная спелость	Полная спелость
Без удобрений	10,6	6,2	15,5	12,5	17,5	13,2
P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> – фон	10,4	6,2	15,1	14,4	17,6	11,6
Фон + N <sub>60</sub>	9,7	6,7	17,1	14,7	18,0	11,5
Фон + N <sub>90</sub>	9,5	10,1	16,0	13,6	16,9	10,9
Фон + N <sub>120</sub>	9,4	12,9	17,4	16,0	17,9	13,3
Фон + N <sub>150</sub>	10,2	12,4	17,6	15,2	18,0	12,2

Вариант опыта	Перед посевом	1-й узел	Флаг-лист	Колошение	Молочная спелость	Полная спелость
Фон + N <sub>90+30+30</sub> + МЭ + РР	9,4	9,8	21,0	18,6	21,1	12,2
Фон + N <sub>90</sub> + вр <sup>1</sup> + вр <sup>2</sup> + вр <sup>3</sup> *	9,3	9,2	17,3	13,9	19,5	13,7
НСР <sub>05</sub>	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>	4,4	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>	2,4	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>

\* вр<sup>1</sup> + вр<sup>2</sup> + вр<sup>3</sup> – водный раствор<sup>1</sup> + водный раствор<sup>2</sup> + водный раствор<sup>3</sup>.

Можно отметить незначительное положительное влияние дробного внесения азота (Фон + N<sub>90+30+30</sub> + МЭ + РР) на содержание минеральной формы данного элемента в почве. Подкормка в фазу первого узла обеспечила содержание минерального азота к фазе флаг-листа на уровне 21,0 мг/кг, тогда как в других вариантах оно не превышало 17,6 мг/кг. В фазу колошения, в результате подкормки в предыдущую фазу, содержание азота было существенно выше (на 2,6 мг/кг) по сравнению с другими вариантами. Отмеченная тенденция прослеживалась и в фазу молочной спелости яровой пшеницы.

В целом наибольшее содержание минерального азота на уровне 15,1–21,1 мг/кг почвы, отмечено в период от флагового листа до молочной спелости яровой пшеницы, что в некоторых вариантах более чем в два раза больше, чем перед посевом или в фазу первого узла (6,2–12,9 мг/кг).

Таким образом, содержание минерального азота в почве изменяется в течение вегетации в зависимости от доз и сроков внесения азотных удобрений, а также гидротермических условий. Особенности метеоусловий обуславливали изменение данного показателя как в течение вегетации, так и по годам исследования. В 2020 г. ухудшение условий после посева культуры – пониженные температуры в период до появления первого узла – обусловили снижение содержания минерального азота с 17,0 до 5,0 мг/кг почвы (рис. 1). Повышение температурного фона в дальнейшем при оптимальных условиях увлажнения способствовало повышению количества минерального азота, которое достигало максимума (27,2 мг/кг) к фазе молочной спелости. Наименьшие колебания, на уровне 11,1–16,1 мг/кг почвы, в содержании минерального азота в почве в течение вегетации наблюдались в 2019 г. В 2018 г. неблагоприятные гидротермические условия, отмечавшиеся длительное время, обусловили наименьшие среди лет исследования показатели содержания минерального азота – 2,2–12,2 мг/кг почвы.

Для характеристики обеспеченности растений питательными элементами определено содержание минеральных соединений и общего азота в растениях.

Минеральные (неорганические) соединения азота в растениях большей частью представлены нитратами, их содержание подвержено весьма значительным колебаниям в зависимости от условий питания и погоды [12]. Кроме того, при поступлении в растения минеральный азот очень быстро вовлекается в синтез органических соединений.

В среднем по опыту содержание минерального азота в зеленой массе растений (на естественную влажность) изменялось от 167 в молочную спелость до 273 мг/кг в колошение (табл. 3), что составило соответственно 0,04 и 0,12 % в сухом веществе. В среднем в сумме общего азота наибольшая доля минерального – около 7 % отмечена в фазах флаг-листа и колошения, около 4 % в первый узел и наименьшее относительное содержание – 3 % в молочную спелость.



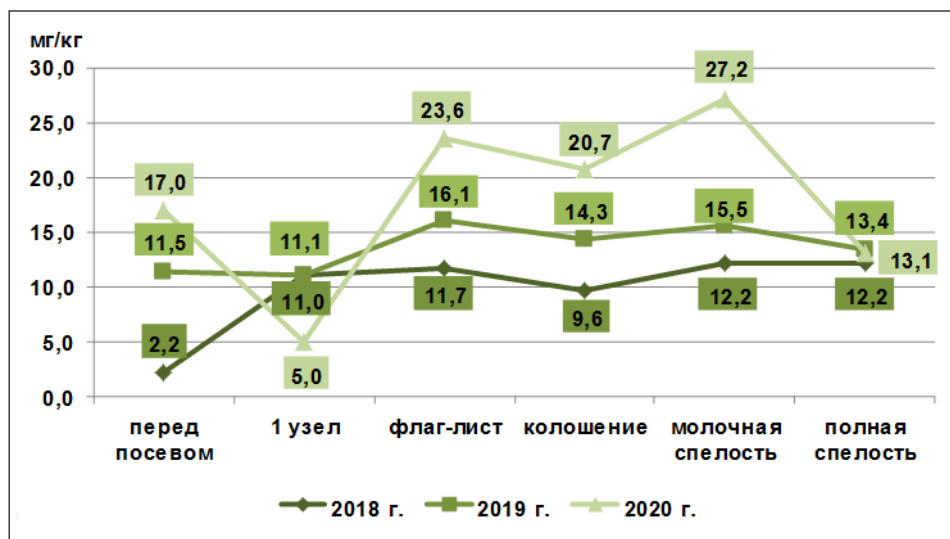


Рис. 1. Динамика содержания минерального азота в почве при возделывании яровой пшеницы, в среднем по опыту

Таблица 3

**Динамика содержания минерального и общего азота в растениях яровой пшеницы**

Вариант опыта	Минеральный азот, мг/кг сырого вещества				Общий азот, % в сухом веществе			
	1-й узел	флаг-лист	колошение	молочная спелость	1-й узел	флаг-лист	колошение	молочная спелость
Без удобрений	167	129	236	179	2,91	1,36	1,34	1,13
P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> – фон	162	197	273	171	2,83	1,34	1,37	1,16
Фон + N <sub>60</sub>	180	176	279	191	2,76	1,38	1,55	1,17
Фон + N <sub>90</sub>	203	193	289	161	3,27	1,50	1,82	1,46
Фон + N <sub>120</sub>	209	215	282	153	3,50	1,77	1,96	1,48
Фон + N <sub>150</sub>	208	202	287	166	3,18	1,72	1,82	1,44
Фон + N <sub>90+30+30</sub> + МЭ + РР	219	248	285	160	3,55	2,07	1,96	1,60
Фон + N <sub>90</sub> + вр <sup>1</sup> + вр <sup>2</sup> + вр <sup>3</sup>	201	205	282	151	3,23	1,78	1,72	1,35
HCP <sub>05</sub>	20	29	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>	F <sub>факт</sub> < F <sub>05</sub>	0,22	0,27	0,16	0,15

Характерной особенностью в динамике содержания минерального азота в среднем за три года является его повышение от первого узла к колошению и дальнейшее резкое снижение к молочной спелости на 24 % в варианте без удобрений, и на 32–46 % в вариантах с внесением азотных удобрений. Можно отметить, что в фазах первого узла и флаг-листа отмечались значительные различия в данном показателе между вариантами опыта, обусловленные внесением азотных удобрений.

В отличие от минерального, содержание общего азота снижается от фазы 1-го узла (2,76–3,55 %) к молочной спелости (1,13–1,60 %). При этом более выражено влияние внесения азотных удобрений, применение  $N_{90-150}$  достоверно повышало содержание элемента в растениях относительно фонового варианта во все фазы роста и развития.

В большей степени, чем от системы удобрения, поглощение неорганических соединений и общего азота изменялось по годам исследования. Коэффициент вариации в зависимости от вносимых удобрений составил 14 %, в то время как от метеорологических условий года – 30 %.

Ход изменений в содержании минерального азота в 2019 и 2020 гг. имел схожий характер и, вероятнее всего, был близок к закономерной динамике элемента, присущей яровой пшенице (рис. 2). В эти годы от фазы первого узла к колошению происходило увеличение содержания неорганического азота, а затем резкое его снижение к молочной спелости. При этом в 2020 г., отличавшемся лучшими условиями увлажнения, содержание элемента в растениях яровой пшеницы было выше, чем в 2019 г., при этом разница, возрастала от первого узла к молочной спелости.

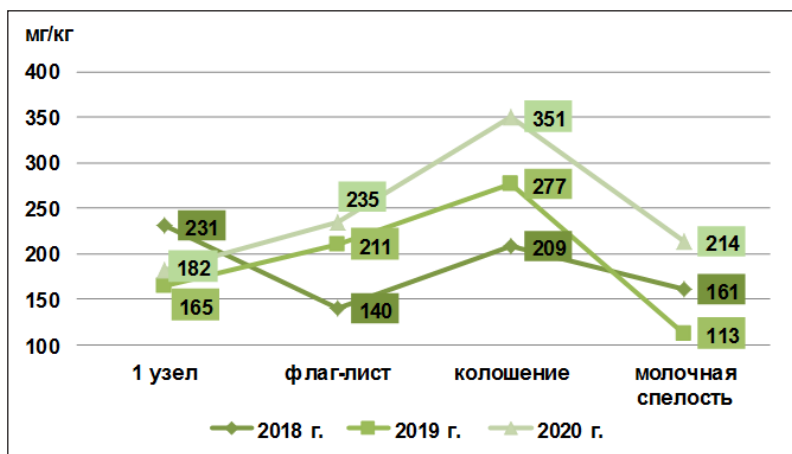


Рис. 2. Динамика содержания минерального азота по основным фазам развития яровой пшеницы в среднем по опыту, мг/кг

Динамика содержания в растениях неорганического азота в 2018 г. во многом обусловлена метеоусловиями. Крайне неблагоприятные погодные условия в период от 1-го узла до появления флагового листа, когда выпало всего 2 мм осадков, обусловили снижение содержания минерального азота с 231 до 140 мг/кг. В дальнейшем в результате улучшения условий увлажнения данный показатель повысился, составив к колошению до 209 мг/кг.

Изменения содержания общего азота по годам исследования показывают, что при различиях в абсолютных значениях наблюдаются общие тенденции. Наибольшие величины в содержании общего азота отмечались в фазу 1-го узла – 2,30–3,63 % (рис. 3). К фазе флагового листа содержание общего азота значительно снижалось во все годы исследования, темпы снижения были сопоставимы – 1,48–

1,62 %. Затем отмечались менее значительные темпы изменения содержания данного элемента.

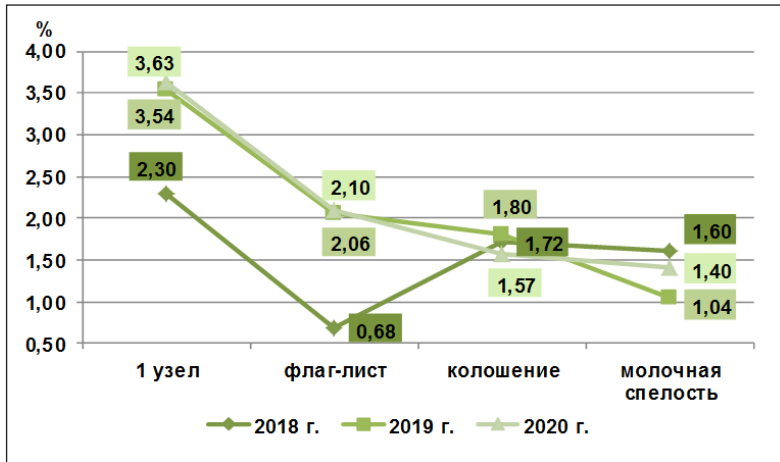


Рис. 3. Динамика содержания общего азота по основным фазам развития яровой пшеницы в среднем по опыту, %

В 2018 г. резкое снижение содержания общего азота (как и минерального) к фазе флаг-листа обусловлено не только ухудшением погодных условий, но и нарастанием биомассы, которая увеличилась в 4,2 раза за этот период (рис. 4). При близких значениях показателя содержания азота в этот период в два последующих года исследования, в 2019 г. биомасса увеличилась в 2,4 раза, в 2020 г. – в 4,1, то есть в первом случае снижение в большей степени связано с ухудшением условий увлажнения, а во втором – с ростовым разбавлением.

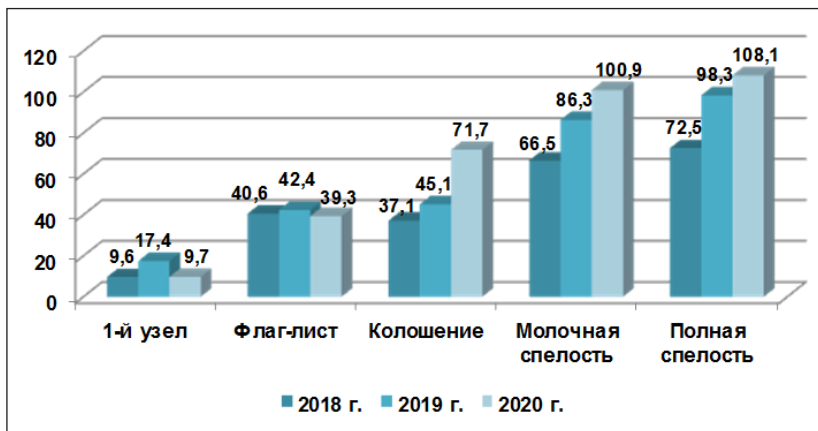


Рис. 4. Нарастание биомассы растений яровой пшеницы по основным фенологическим фазам, кг/га

К колошению в 2018 г., несмотря на прошедшие дожди, запасы влаги в почве не были восполнены, в результате отмечалось снижение количества накопленной биомассы на 3,5 ц/га. В связи с этим можно предположить, что повышение

концентрации азота более чем на 1 % связано с оттоком элемента из отмерших листьев к более молодым.

В 2019 г. при незначительном приросте биомассы, составившем всего 2,7 ц/га, повышение концентрации общего азота не наблюдалось, что может быть связано с повышенными температурами воздуха (22,8 °С) и недостаточным увлажнением. В 2020 г. снижение концентрации общего азота в растениях яровой пшеницы было обусловлено в первую очередь ростовыми процессами разбавления, поскольку биомасса за период увеличилась на 32,4 ц/га.

Улучшение условий в 2019 г. от колошения к молочной спелости сопровождалось нарастанием биомассы почти в два раза, что привело к снижению концентрации азота в растениях до 1,04 %, это самый низкий показатель по годам исследования. В 2018 г. невысокое, по сравнению с другими годами исследования, накопление биомассы позволило создать значительную концентрацию азота в растениях, что в дальнейшем способствовало образованию зерна с высоким содержанием сырого белка. Высокая продуктивность биомассы и соответственно урожай в 2020 г. не способствовали такому высокому накоплению азота в растениях как в 2018 г., но при этом более благоприятные метеороусловия, чем в 2019 г. обусловили более высокое содержание элемента.

Для определения связи содержания минерального азота в почве и его неорганических форм, и общего содержания в растениях проведен корреляционный анализ данных величин. Поскольку поглощение азота растениями осуществляется в основном в его минеральных формах, то логично предположить более тесную связь между минеральными формами азота в почве и таковыми в растениях. Как видно из данных табл. 4, тесная прямолинейная зависимость между минеральными формами азота в почве и растениях наблюдается в фазе колошения ( $R^2$  0,63) и средняя корреляционная связь в фазе флаг-листа ( $R^2$  0,34), то есть в фазы, которые характеризуются интенсивным поглощением элементов питания растениями яровой пшеницы. Отсутствие корреляционной зависимости в фазу первого узла может быть обусловлено тем, что растения использовали элемент, внесенный с удобрениями при посеве культуры. Объяснением низкого значения коэффициента детерминации – 0,07, рассчитанного для молочной спелости культуры может служить то, что к данной фазе потребление растениями пшеницы питательных веществ из почвы полностью прекращается [13].

Таблица 4

**Значения коэффициента детерминации, характеризующего связь содержания азота в почве с содержанием в растениях и урожайностью**

Фаза	$N_{\text{мин}}$ в почве		
	$N_{\text{мин}}$ в растениях	$N_{\text{общ}}$ в растениях	Урожайность
	$R^2$ *		
Перед посевом	–	–	0,68
1-й узел	0,13	0,03	0,08
Флаг-лист	0,34	0,42	0,62
Колошение	0,63	<0,01	0,61
Молочная спелость	0,07	<0,01	0,41
Полная спелость	–	–	0,09

\* Существенность связи при рассматриваемом объеме данных (24 парных наблюдений) обнаруживается при  $R^2 \geq 0,16$  [4].

Существенная корреляционная связь между содержанием общего азота в растениях и минеральных его форм в почве отмечена только в фазе флаг-листа. Отсутствие зависимостей в 1-й узел и молочную спелость яровой пшеницы можно объяснить теми же факторами, которые были описаны для минерального азота. В колошение, при том, что продолжает поступать минеральный азот из почвы, все же преобладают процессы перехода соединений азота из листьев и стеблей в формирующиеся органы колоса.

Содержание минерального азота в почве в фазы флаг-листа и колошения имеет тесную корреляционную связь и с урожайностью. В молочную спелость зависимость ослабевает –  $R^2 0,41$ , а к полной спелости не обнаруживается ( $R^2 0,09$ ). Также и в фазу первого узла, когда значительно влияние внесенных удобрений, связи урожайности с почвенным азотом не отмечено. В то же время тесная связь наблюдается между урожайностью и количеством минерального азота в почве перед посевом яровой пшеницы.

Элементы минерального питания влияют на процессы, определяющие урожайность и качество. Азот, как элемент образования органического вещества, регулирующий рост вегетативной массы больше других элементов влияет на уровень урожайности, а также на содержание белка и клейковины в зерне [1].

Зависимость урожайности яровой пшеницы и качества ее зерна от доз, кратности и сроков внесения азотных удобрений общеизвестна. Влияние изучаемых в опыте систем удобрения на урожайность и качество зерна яровой пшеницы представлено в таблице 5.

Таблица 5

**Урожайность и качество зерна яровой пшеницы, возделываемой на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве**

Вариант опыта	Урожайность, ц/га			Сырой белок, %			Клейковина, %		
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Без удобрений	33,8	43,3	55,4	11,9	9,6	10,3	25,2	18,0	19,1
$P_{30}K_{90}$ – фон	36,0	43,7	58,1	12,1	9,5	11,1	25,5	18,1	21,6
Фон + $N_{60}$	41,4	55,1	60,6	14,6	11,1	11,2	34,2	20,2	21,8
Фон + $N_{90}$	44,2	57,7	60,9	15,0	12,7	11,6	35,3	24,5	23,1
Фон + $N_{120}$	44,7	58,3	60,0	15,6	13,7	12,7	37,2	27,8	26,7
Фон + $N_{150}$	43,2	54,9	60,2	15,8	13,8	13,1	38,1	28,2	28,1
Фон + $N_{90+30+30}$ + МЭ + РР	44,4	57,2	65,9	16,6	14,2	13,6	41,0	29,4	30,2
Фон + $N_{90}$ + $вр^1$ + $вр^2$ + $вр^3$	46,5	60,0	65,3	15,8	13,4	12,9	37,9	28,3	27,4
$HCP_{05}$	1,6	1,7	2,5	0,7	0,5	1,2	2,3	1,1	3,8

Интерес представляют взаимосвязи между содержанием азота в растениях в различные фенологические фазы и величиной урожая культуры, а также содержанием в зерне сырого белка и клейковины. Расчет коэффициента детерминации свидетельствует о том, что содержание минерального азота в растениях яровой пшеницы в фазе флаг-листа и колошения и общего азота в 1-й узел и флаг-лист на 65–75 % определяют уровень урожая яровой пшеницы (табл. 6).

При этом можно отметить, что в вариантах с урожайностью около 60 ц/га зерна и выше количество минерального азота в фазу флагового листа составляло 200–290 мг/кг, в колошение – 271–395 мг/кг, содержание общего азота в первый узел было на уровне 3,3–4,3 %, во флаг-лист – 1,8–2,7 %.

Таблица 6

**Математические модели зависимости урожайности и качества зерна яровой пшеницы от содержания азота в отдельные фазы роста и развития**

Показатель	Фаза	Уравнение	R <sup>2</sup>
Урожайность			
Содержание N <sub>мин</sub>	Флаг-лист	$y = 0,1298x + 26,775$	0,65
	Колошение	$y = 0,1173x + 19,832$	0,68
Содержание N <sub>общ</sub>	1 узел	$y = 10,686x + 18,411$	0,69
	Флаг-лист	$y = 10,921x + 34,484$	0,75
Содержание сырого белка			
Содержание N <sub>мин</sub>	1 узел	$y = 0,0493x + 3,4967$	0,78
Содержание N <sub>общ</sub>	Колошение	$y = 5,3172x + 3,9899$	0,53
	Молочная спелость	$y = 4,4394x + 7,0118$	0,48
Содержание клейковины			
Содержание N <sub>мин</sub>	1 узел	$y = 0,1714x - 5,2448$	0,84
Содержание N <sub>общ</sub>	Колошение	$y = 15,188x + 2,0634$	0,38
	Молочная спелость	$y = 16,378x + 5,7109$	0,58

Формирование показателей качества происходит в более поздние фазы – колошение и молочная спелость. Поскольку в состав белка и клейковины входят органические соединения азота, то тесная связь в эти фазы с содержанием сырого белка и клейковины обнаруживается для содержания общего азота в растениях. При этом можно отметить высокую корреляционную зависимость содержания сырого белка (R<sup>2</sup> 0,78) и клейковины (R<sup>2</sup> 0,84) от содержания в растениях в 1-й узел минеральных форм азота. То есть, чем больше минерального азота поступит в растения яровой пшеницы к фазе первого узла, тем более высокого качества зерно можно получить.

Формирование зерна с содержанием сырого белка более 13 % и клейковины более 28 % происходило в опыте при содержании минерального азота в фазу первого узла на уровне 184–246 мг/кг, содержание общего азота в фазе колошения при этом составляло 1,6–2,1 %, в молочную спелость – 1,0–1,7 %.

Необходимо отметить, что получение урожая яровой пшеницы на уровне 60 ц/га и выше с высокими показателями качества возможно при применении не менее 120 кг/га д.в. азотных удобрений и отсутствии продолжительных периодов (прохождение двух и более фенофаз) с засушливыми условиями.

## ВЫВОДЫ

В результате исследований с яровой пшеницей, проведенных на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, установлено, что разовое внесение азотных удобрений в дозах 90–150 кг д.в./га благоприятно влияет

на содержание минеральных форм азота в почве до фазы первого узла яровой пшеницы. Дробное внесение 150 кг д.в./га азота способствует существенному улучшению условий азотного питания до фазы колошения.

Максимальное содержание минеральных форм азота (236–289 мг/кг) в растениях яровой пшеницы отмечается в фазе колошения, общего (2,76–3,55 %) – в первый узел.

Выявлена корреляционная зависимость между содержанием азота в почве и растениях пшеницы. Существенная связь содержания минерального азота в почве и растениях установлена в фазы флаг-листа ( $R^2$  0,34) и колошения ( $R^2$  0,63), минерального азота в почве с общим в растениях – во флаг-лист ( $R^2$  0,42). Отмечена тесная связь содержания минерального азота в почве перед посевом пшеницы и в фазы флаг-листа и колошения с урожайностью ( $R^2$  0,61–0,68).

Оценка содержания азота в растениях яровой пшеницы в фазы 1 узел – колошение дает возможность прогнозирования продуктивности и качества зерна яровой пшеницы. Для получения урожая яровой пшеницы 60 ц/га и выше содержание минерального азота в растениях в фазу флагового листа должно составлять не менее 200 мг/кг, в колошение – не менее 270 мг/кг. Содержание общего азота в первый узел – не ниже 3,3 %, во флаг-лист – более 1,8 %.

Формирование зерна с содержанием сырого белка более 13 % и клейковины более 28 % происходит при условии содержания минерального азота в растениях в первый узел не менее 180 мг/кг и общего азота в колошение более 1,6 %, в молочную спелость – более 1,0 %.

Для достижения вышеуказанных показателей необходимо внесение  $N_{120-150}$  (в твердом виде или в виде водных растворов) на фоне  $P_{30}K_{90}$  совместно с микроудобрениями и Экосилом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Значение азота для растений, содержание и превращение его в почве [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://neznaniya.net/agronomija/racionalnoe-primenenie-udobrenij/1964-znachenie-azota-dlya-rasteniy-soderzhanie-i-prevraschenie-ego-v-pochve.html>. – Дата доступа: 08.02.2021.
2. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А. В. Соколова, Д. Л. Аскинази. – 4-е изд., доп. и перер. – М.: Наука, 1965. – 436 с.
3. Практикум по агрохимии: учеб. пособие / под ред. В. Г. Минеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
4. РСТ Беларуси 908-91 Почвы. Метод определения потенциально усвояемого азота. – Минск: Минсельхозпрод РБ, 1991. – 13 с.
5. Ермохин, Ю. И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОмСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур: монография / Ю. И. Ермохин. – Омск: ОмГАУ, 1995. – 208 с.
6. Магницкий, К. П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К. П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1972. – 271 с.

7. *Церлинг, В. В.* Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М.: Наука, 1978. – 216 с.

8. Методы определения содержания доступных растениям соединений азота, фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах / Н. Н. Семененко [и др.] – Минск: Ин-т системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 16 с.

9. Методы оперативной диагностики минерального питания зерновых культур / Н. Н. Семененко, [и др.] – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2019. – 16 с.

10. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

11. Растениеводство: учебное пособие / под общ. ред. К. В. Коледы, А. А. Дудука. – Гродно, 2007. – 400 с.

12. Азот в растениях [Электронный ресурс] // Агропортал. – Режим доступа: <http://agro-portal24.ru/mineralnie-udobrenija/5931-azot-v-rastenii.html>. – Дата доступа: 27.01.2021.

13. Особенности питания и удобрения яровой пшеницы [Электронный ресурс] // Зооинженерный факультет МСХА. – Режим доступа: <https://www.activestudy.info/osobennosti-pitaniya-i-udobreniya-yarovoj-pshenicy/>. – Дата доступа: 02.02.2021.

## **DIAGNOSTICS OF NITROGEN NUTRITION OF SPRING WHEAT ON HIGHLY CULTIVATED SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL**

**O. G. Kulesh, E. G. Mezentseva, N. N. Semenenko, O. V. Simankov**

### **Summary**

The data of diagnostics of nitrogen nutrition of spring wheat on highly cultivated soil are presented. A close relationship between crop yield and grain quality and nitrogen content in soil and plants has been established. The greatest number of conjugated indicators was revealed in the phases of flag-leaf and earing of spring wheat. The optimal parameters of these indicators allowing to obtain the yield of spring wheat at the level of 60 and more c/ha are determined: the content of mineral nitrogen in plants in the phase of the flag leaf is not less than 200 mg/kg, in the earing – not less than 270 mg/kg; the content of total nitrogen in the first node – not less than 3,3 %, in the flag leaf – more than 1,8 %.

*Поступила 23.03.21*



## **АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ПТИЦЕФАБРИК**

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

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Перевод животноводства и птицеводства на промышленную основу обеспечил продовольственную безопасность нашей страны, способствуя полному удовлетворению потребности населения в продуктах питания. Однако высокая концентрация скота и птиц на небольших площадях привела к возникновению целого ряда проблем экономического, экологического и материально-технического характера. Бесподстилочное содержание и гидравлическая система удаления экскрементов приводит к образованию значительных объемов птичьего помета, жидкого навоза и навозных стоков, которые необходимо утилизировать. Исследования ученых-аграриев, а также многолетняя практика применения помета и жидких органических удобрений в хозяйствах показала, что их внесение на земли сельскохозяйственного назначения в научно обоснованных дозах положительно влияет на плодородие почв и урожайности сельскохозяйственных культур [1–5]. Кроме того, являясь естественными побочными продуктами животноводства и птицеводства, они образуются постоянно, что позволяет при рациональной разработке систем удобрения сельскохозяйственных культур значительно сэкономить на закупке дорогостоящих минеральных удобрений.

Однако на практике во многих хозяйствах их вносят бессистемно в высоких дозах в основном на одни и те же поля вблизи навозо- и пометохранилищ, что приводит к зафосфачиванию почв, очень высокой их обеспеченности подвижными формами калия, нитратами, тяжелыми металлами, хлоридами и другими соединениями; оказывает фитотоксическое влияние на рост и развитие корневой системы, может привести к загрязнению поверхностных и грунтовых вод минеральными формами азота, фосфора, калия и различными загрязняющими веществами в результате их миграции по почвенному профилю. Бесподстилочный навоз при нарушении технологии его подготовки и использования может представлять серьезную опасность в санитарном отношении, являясь источником яиц и личинок гельминтов, а также возбудителей болезней животных и человека. Как следствие это не может не отразиться на качестве растениеводческой продукции.

В этой связи определение культур, наиболее пригодных для возделывания на дерново-подзолистых почвах, прилегающих к животноводческим комплексам и птицефабрикам, позволит оптимизировать структуру посевных площадей на

землях с антропогенной нагрузкой в виде высоких доз жидкого навоза КРС, стоков свиней и птичьего помета, откорректировать их максимально возможные дозы внесения, обеспечивающие получение зерна и кормов хорошего качества, повысить экологичность сельскохозяйственного производства, уменьшить объемы применения минеральных удобрений при снижении себестоимости продукции растениеводства.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований при оценке влияния дозовых нагрузок жидкого навоза КРС, стоков свиней и птичьего помета на агрохимические показатели почв, их санитарное состояние, ферментативную активность, фитотоксичность, содержание загрязняющих веществ были дерново-подзолистые почвы вблизи животноводческих комплексов и птицефабрик, а также сельскохозяйственные культуры на них произрастающие. Почвенные образцы для изучения влияния жидких побочных продуктов животноводства и помета на санитарное состояние почв, ферментативную активность, фитотоксичность, содержание катионов и анионов отбирали в марте 2019 г. на дерново-подзолистых пахотных почвах в зоне действия птицефабрик – ОАО «Смолевичи Бройлер» (Смолевичский район, Минская область), ОАО «Оранчицкая птицефабрика» (Пружанский район, Брестская область), филиал «Фалько-Агро» ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» (Дзержинский район, Минская область); свинокомплексов – ПК им. В. И. Кремко (Гродненский район, Гродненская область) и СПК «Маяк Брагславский» (Брагславский район, Витебская область), комплекса по откорму КРС – ОАО «АгроВидзы» (Брагславский район, Витебская область) (табл. 1).

Таблица 1

**Дозы и сроки внесения жидкого навоза КРС, навозных стоков свиней и птичьего помета**

Вид ОУ	Место отбора	Период внесения, лет	Среднегодовая доза ОУ, т/га	Последний срок и доза внесения перед отбором образцов для анализа
Жидкий навоз крупного рогатого скота	ОАО «АгроВидзы»	12	900–1000 (1-е поле)	Осенью 2018 г. в дозе 100–200 т/га
			900–1000 (2-е поле)	Осенью 2018 г. в дозе 200–300 т/га
Навозные стоки свиней	СПК «Маяк Брагславский»	25	500–600 (1-е поле)	Летом 2018 г. в дозе 500–600 т/га
			500–600 (2-е поле)	С осени 2018 г. по март 2019 г. в дозе 500–600 т/га
	ПК им. В. И. Кремко	15	120–150 (1-е поле)	С декабря 2018 г. по март 2019 г. в дозе 350–450 т/га
			120–150 (2-е поле)	С августа 2017 г. по апрель 2018 г. в дозе 350–450 т/га
	20	450–550 (3-е поле)	С ноября 2017 г. по апрель 2018 г. в дозе 450–550 т/га	

Вид ОУ	Место отбора	Период внесения, лет	Среднегодовая доза ОУ, т/га	Последний срок и доза внесения перед отбором образцов для анализа
Птичий помет	ОАО «Оранчицкая птицефабрика»	45	≈ 17	Осенью 2018 г. в дозе 50 т/га
	ОАО «Смолевичи Бройлер»	15	≈ 17	Весной 2018 г. в дозе 50 т/га
	Ф-л «Фалько-Агро»	5	≈ 60 (1-е поле)	С декабря 2018 г. по март 2019 г. в дозе 60 т/га
		15	≈ 20 (2-е поле)	Летом 2018 г. в дозе 60 т/га

Примечание. ОУ – органическое удобрение.

На всех почвах для отбора растительных и почвенных образцов без нагрузки жидкого навоза КРС, свиных стоков и птичьего помета и при их внесении выбирали участки, расположенные, по возможности, недалеко друг от друга, в сходных условиях рельефа и в пределах того же типа почв.

При проведении маршрутных обследований отбор образцов почв и растений проводили в производственных посевах методом конверта в 5 разных точках с расстоянием 150–200 м между ними с площадок размером 0,25 м<sup>2</sup>. Образцы почвы отбирали при помощи агрохимического бура на глубину 0–25 см. Анализ почвенных и растительных образцов выполняли в соответствии с общепринятыми методиками.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Влияние интенсивного применения жидкого навоза крупного рогатого скота, стоков свиней и птичьего помета на агрохимические показатели дерново-подзолистых почв.** При оценке изменения агрохимических показателей исследуемых почв установлено, что постоянное внесение жидкого навоза крупного рогатого скота, стоков свиней и помета способствовало их подщелачиванию – по сравнению с почвами без нагрузок показатель  $pH_{КС}$  увеличился на 0,21–1,72 ед. Согласно градации [6], кислотность удобряемых почв изменялась от слабокислой до слабощелочной, в то время как почвы, где эти удобрения не вносили, характеризовались от среднекислой до нейтральной реакцией среды.

Содержание подвижных форм калия в почвах в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик по усредненным значениям увеличилось на 62–489 мг/кг (+23–269 %) относительно почв без нагрузок и оценивалось от среднего до очень высокого (группы III–VI) (в почвах без внесения – от низкого до очень высокого) (рис. 1).

Доля почв с высоким и очень высоким (группы V–VI) содержанием  $K_2O$  повысилась в 6,5 раза до 71 % при снижении долевого участия почв с оптимальными показателями в 3,7 раза до 17 % (в почвах без нагрузок – 11 и 63 % соответственно).

Обеспеченность подвижными формами фосфора в почвах, на которые регулярно вносят жидкий навоз КРС, стоки свиней и птичий помет, характеризовалась от высокой до очень высокой (группы V–VI) (почвы без нагрузок – от низко- до высокообеспеченных (группы II–V)) при увеличении его содержания по усредненным показателям на 112–1256 мг/кг (41–568 %); доля почв с очень высоким содержанием составила 69 % при отсутствии таковых в почвах без нагрузок; из них около 38 % приходилось на почвы с гипервысоким накоплением (более 1000 мг/кг), при этом доля почв с оптимальными параметрами снизилась до 7 % против 45 % в почвах без нагрузок.

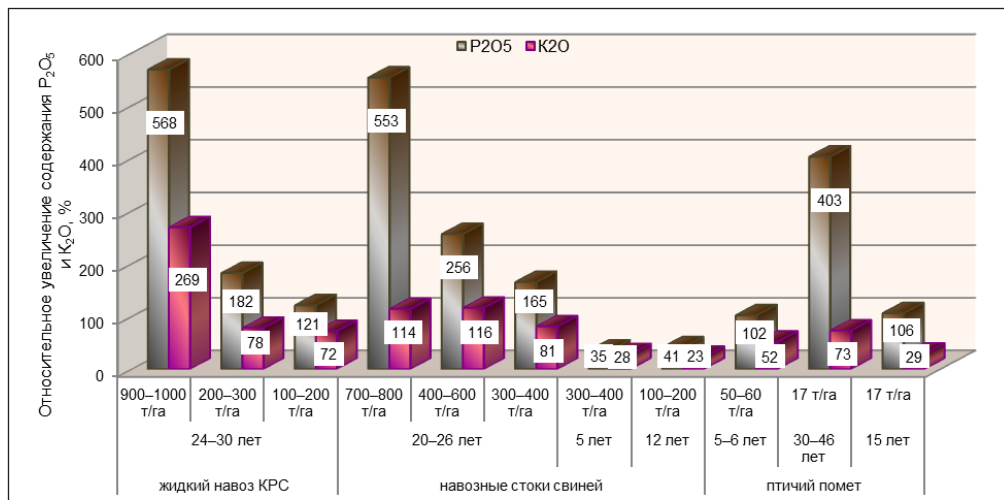


Рис. 1. Средние значения увеличения содержания подвижных форм фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах при дозовых нагрузках жидкого навоза крупного рогатого скота, стоков свиней и птичьего помета, %

Таким образом, утилизация жидкого навоза крупного рогатого скота, свиных стоков и помета в течение длительного времени на одни и те же поля в зависимости от дозовой нагрузки способствует накоплению подвижных форм калия и особенно фосфора до аномально высоких значений, что, с одной стороны, имеет положительный момент, поскольку даже самые требовательные культуры к этим элементам не будут испытывать дефицита в них. С другой, это приводит не только к нарушению соотношения основных элементов питания в почве, но их миграции по почвенному профилю в нижележащие горизонты. Проведенные нами исследования показали, что в зависимости от нагрузки жидких побочных продуктов животноводства содержание подвижных соединений калия на глубине 80–100 см может увеличиваться до 2,5 раз, фосфора – до 1,5 раз по сравнению с почвами без нагрузок, что не исключает риск их попадания в грунтовые и поверхностные воды.

При систематическом воздействии жидкого навоза крупного рогатого скота, стоков свиней и помета содержание гумуса в обследуемых почвах по усредненным значениям составило 2,28–4,53 % или увеличилось на 0,23–1,51 %, что превышало его содержание в почвах без нагрузок в 1,1–1,5 раза (рис. 2, 3).

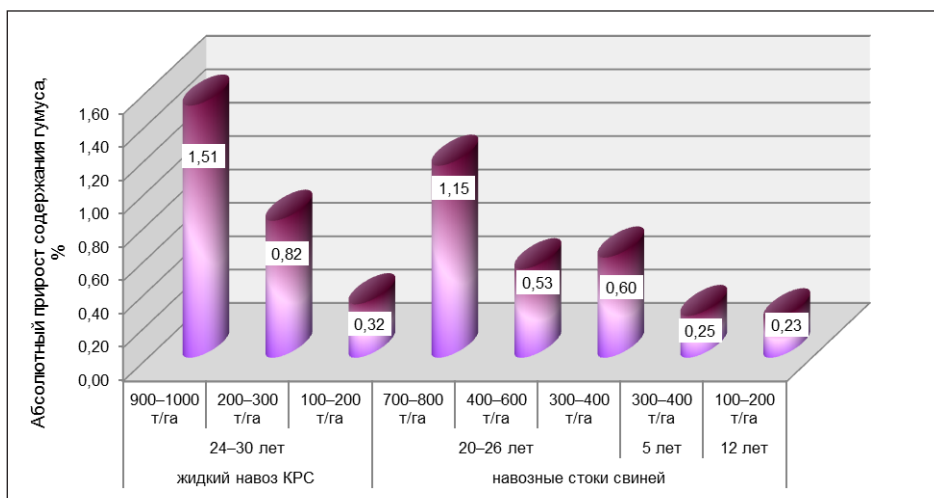


Рис. 2. Средние значения увеличения содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов, %

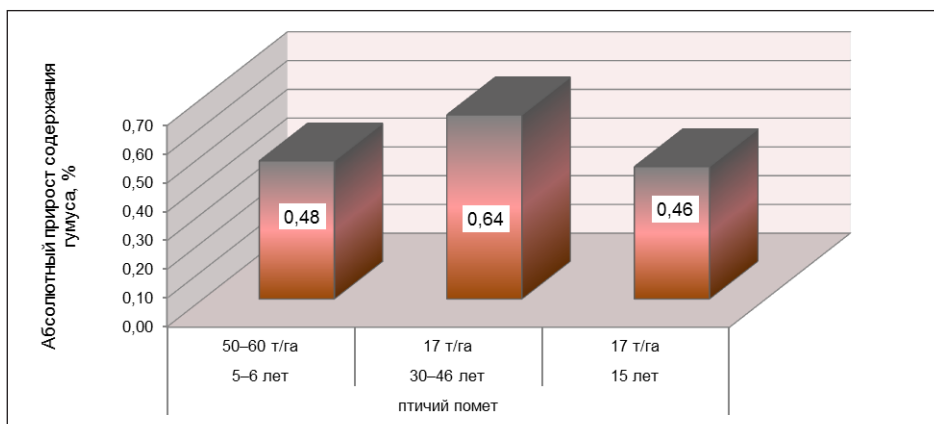


Рис. 3. Средние значения увеличения содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния птицефабрик, %

При этом в большинстве случаев его содержание в почвах, расположенных вблизи животноводческих комплексов и птицефабрик, в соответствии с классификацией варьировало от повышенного до очень высокого, в то время как почвы без нагрузок по этому показателю характеризовались от средне-до высокогумусных. Учитывая объемы применяемых органических удобрений, содержание гумуса должно быть выше наблюдаемого. Так, по существующим нормативам, при дозе внесения стоков свиней 400–600 т/га в течение 20 лет прирост в содержании гумуса должен составить около 2,5 %, фактическое же его содержание в обследуемых почвах хотя и увеличилось, но только в среднем на 0,53 % (рис. 2). Это, по-видимому, обусловлено высокой степенью минерализации поступающих в почву жидких побочных продуктов животноводства и птичьего помета.

В производственных условиях для оценки изменения агрохимических показателей в зависимости от дозовых нагрузок жидкого навоза КРС, стоков свиней и птичьего помета нами, на основании обобщенных данных, предлагается использовать рассчитанные среднегодовые показатели по приросту гумуса, подвижных форм фосфора и калия (табл. 2).

Таблица 2

**Среднегодовой прирост в содержании гумуса, подвижных форм фосфора и калия в дерново-подзолистых почвах в зависимости от интенсивности внесения жидкого навоза крупного рогатого скота, стоков свиней и птичьего помета**

Вид органического удобрения	Доза ОУ, т/га в год	Среднегодовой прирост		
		гумус, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
			мг/кг	
Жидкий навоз крупного рогатого скота	100–200	0,01	9	6
	200–300	0,03	10	7
	900–1000	0,06	39	19
Навозные стоки свиней	100–200	0,01	9	5
	300–400	0,03	10	6
	400–600	0,02	26	9
	700–800	0,05	45	12
Бесподстилочный птичий помет	17	0,02	28	4
	50–60	0,05	42	15

**Ферментативная активность дерново-подзолистых почв.** Интенсивное внесение жидкого навоза крупного рогатого скота, свиных стоков и помета на почвы пахотных земель способствует усилению деятельности микробного сообщества, что может привести к повышенной минерализации органического вещества в почвах и, как следствие, непроизводительным потерям элементов питания и достаточно низкому приросту в содержании гумуса. Данные о направленности трансформации органического вещества в почвах вблизи животноводческих комплексов и птицефабрик на основе использования биохимического коэффициента ( $K_6$ ) показали, что ежегодное внесение высоких доз жидкого навоза крупного рогатого скота (900–1000 т/га) и стоков свиней (450–600 т/га) приводило к его снижению до уровня 0,46–0,70, т. е. наблюдался существенный сдвиг биохимических процессов в сторону минерализации органического вещества ( $K_6 < 1$ ); в этих почвах отмечена наиболее высокая скорость минерализации (152–229 %) (табл. 3).

Таблица 3

**Биохимические показатели активности минерализации и гумификации в дерново-подзолистых почвах при регулярном внесении жидкого навоза крупного рогатого скота, стоков свиней и помета**

Вид органического удобрения	Место отбора	Доза ОУ, т/га в год	M, %	Г, %	$K_6$
Жидкий навоз крупного рогатого скота	ОАО «АгроВидзы»	900–1000 (1-е поле)	226	129	0,57
		900–1000 (2-е поле)	229	119	0,52

Вид органического удобрения	Место отбора	Доза ОУ, т/га в год	М, %	Г, %	$K_6$
Навозные стоки свиней	СПК «Маяк Браславский»	500–600 (1-е поле)	173	117	0,68
		500–600 (2-е поле)	192	88	0,46
	ПК им. В. И. Кремко	120–150 (1-е поле)	157	93	0,59
		120–150 (2-е поле)	124	108	0,87
		450–550 (3-е поле)	152	107	0,70
Птичий помет	ОАО «Оранчицкая птицефабрика»	≈ 17	119	107	0,90
	ОАО «Смолевичи Бройлер»		156	118	0,75
	Ф-л «Фалько-Агро»	≈ 60 (1-е поле)	144	102	0,71
		≈ 20 (2-е поле)	126	139	1,10

*Примечание.* М – минерализация; Г – гумификация;  $K_6$  – биохимический коэффициент, предложенный Н. А. Михайловской, представляет собой соотношение усредненных количественных показателей скорости процессов гумификации и минерализации.

Улучшение сбалансированности процессов гумификации и минерализации выявлено в хозяйствах, где свиные стоки и помет на пахотные почвы вносят один раз в три года: при среднегодовой дозе птичьего помета ≈ 17–20 т/га и стоков свиней ≈ 120–150 т/га скорость минерализации в пределах 119–156 %, коэффициент  $K_6$  достиг уровня 0,75–1,10.

Установлено депрессирующее влияние стоков свиней на активность гумификационных процессов в почвах в начальный период после их внесения в дозах 350–450 и 500–600 т/га (скорость гумификации 88–93 % от показателей в почвах без нагрузок). В почвах, где отбор проб проводили через три месяца и более после внесения органических удобрений, наблюдалось усиление гумификации на 7–39 %. В целом, в почвах, подвергающихся регулярному воздействию помета, жидкого навоза КРС и стоков свиней в течение длительного времени, скорость минерализационных процессов превышала активность гумификации.

Отмечено, что постоянное применение жидкого навоза КРС, свиных стоков и помета увеличило активность уреазы на 11–204 %; инвертазы – на 2–56 %; полифенолоксидазы – на 4–73 % (рис. 3).

Внесение удобрений: 2017 (о.) – осенью 2017 г.; 2018 (л.) – летом 2018 г.; 2018 (о.) – 2019 (в.) – с осени 2018 г. по март 2019 г.; 2018 (з.) – 2019 (в.) – с декабря 2018 г. по март 2019 г.; 2017 (л.) – 2018 (в.) – с августа 2017 г. по апрель 2018 г.; 2017 (о.) – 2018 (в.) – с ноября 2017 г. по апрель 2018 г.; 2018 (о.) – осенью 2018 г.; 2018 (в.) – весной 2018 г.

При этом сравнительный анализ по влиянию помета и стоков свиней на активность ферментов в зависимости от сроков их внесения показал, что уреазная активность в большей степени (на 60–178 %) повышалась в почвах в начальный период после внесения. Это свидетельствует о более интенсивном накоплении в почве аммиачного азота и возможности его непроизводительных потерь, особенно при ежегодно вносимых высоких дозах этих удобрений. Через три месяца и более после их внесения активность этого фермента в почвах заметно снижалась, в то время как уровень инвертазной (+27–56 %) и полифенолоксидазной (+15–68 %) активности в этот период повышался, что указывает на рост интен-

сивности трансформации углеводов и усиление процессов гумификации в почвах. Внесение жидкого навоза крупного рогатого скота и свиных стоков практически во всех исследуемых почвах ингибировало активность пероксидазы (снижение 9–32 %); птичьего помета – увеличивало на 1–26 %.

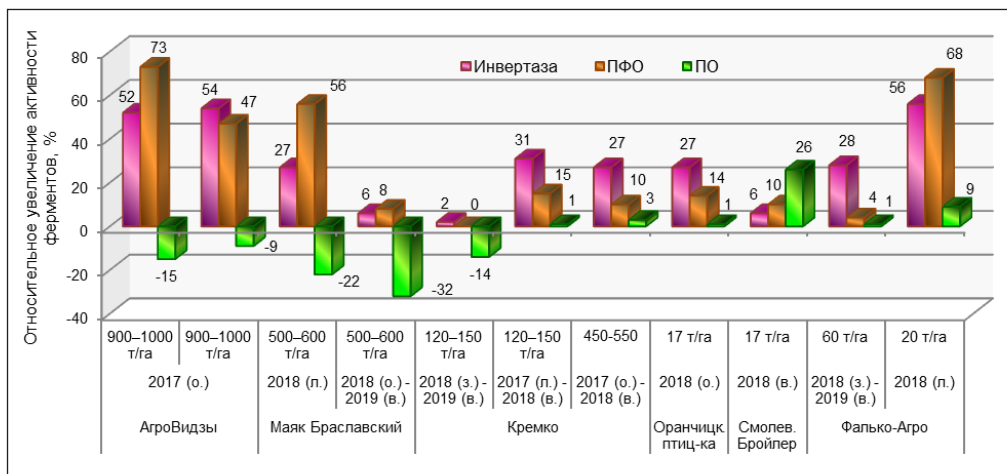


Рис. 3. Влияние регулярных нагрузок жидкого навоза крупного рогатого скота, стоков свиней и птичьего помета на ферментативную активность дерново-подзолистых почв

**Фитотоксичность почв.** Определение фитотоксического действия почв при регулярном внесении жидкого навоза КРС, свиных стоков и птичьего помета на параметры роста и развития тест-культур (яровой ячмень, озимая пшеница, кукуруза) показало, что общая токсичность исследуемых почв соответствует V классу токсичности (норма), т. е. величина тест-функций находится на уровне почв без нагрузок. Однако следует иметь в виду, что при посеве культур через две недели после их внесения всхожесть семян на интенсивно удобренных полях может уменьшиться до 10 %, длина ростков и корней – до 15 %; наиболее фитотоксичны почвы, где вносят стоки свиней в дозах 350–450 т/га и более. В этой связи в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик для снижения фитотоксического действия почв следует прекращать внесение жидкого навоза крупного рогатого скота, свиных стоков и помета за 1–1,5 месяца до посева сельскохозяйственных культур. Установлено, что семена яровых и озимых зерновых культур более чувствительны к негативному влиянию высоких доз жидких побочных продуктов животноводства и помета по сравнению с кукурузой.

**Санитарное состояние дерново-подзолистых почв.** Санитарно-бактериологическое состояние почв находится в прямой зависимости от сроков внесения птичьего помета и стоков свиней. Уровень общей микробной контаминации и термофилов в большей степени повышался в почвах в начальный период после их внесения (на 75–464 % и 57–108 %). Тем не менее, в соответствии с оценочной шкалой почвы по этим показателям относятся к тем же категориям, как и почвы без их внесения – «загрязненные» и «слабо загрязненные» соответственно. По значениям коли-титра (0,001) и перфрингенс-титра (0,0001) почвы оцениваются как «опасные, загрязненные» (почвы без нагрузок – «относительно безопасные, слабо загрязненные» и «безопасные, чистые») (табл. 4).



Таблица 4

**Влияние регулярных нагрузок жидкого навоза крупного рогатого скота, стоков свиней и птичьего помета на санитарное состояние дерново-подзолистых почв**

Вид ОУ	Место отбора	Период внесения, лет	Доза ОУ, т/га в год	Коли-титр	Перфрингенс-титр	Число термофильных бактерий, КОЕ/г почвы
Жидкий навоз крупного рогатого скота	ОАО «АгроВидзы»	–	Без нагрузки	0,01	0,01	$1,30 \cdot 10^4$
		12	900–1000 (1-е поле)	0,006	0,0001	$1,50 \cdot 10^5$
			900–1000 (2-е поле)	0,006	0,0001	$1,20 \cdot 10^5$
Навозные стоки свиней	СПК «Маяк Браславский»	–	Без нагрузки	0,43	0,01	$2,10 \cdot 10^4$
		25	500–600 (1-е поле)	0,36	0,001	$2,90 \cdot 10^4$
		–	Без нагрузки	0,43	0,01	$1,50 \cdot 10^4$
		25	500–600 (2-е поле)	0,001	0,0001	$2,35 \cdot 10^4$
	ПК им. В. И. Кремко	–	Без нагрузки	0,53	0,01	$1,50 \cdot 10^4$
		15	120–150 (1-е поле)	0,001	0,0001	$3,10 \cdot 10^4$
		15	120–150 (2-е поле)	0,56	0,001	$2,00 \cdot 10^4$
Птичий помет	ОАО «Оранчицкая птицефабрика»	–	Без нагрузки	0,56	0,01	$1,00 \cdot 10^4$
		45	≈ 17	0,50	0,001	$1,80 \cdot 10^4$
	ОАО «Смолевичи Бройлер»	–	Без нагрузки	0,53	0,01	$2,00 \cdot 10^4$
		15	≈ 17	0,48	0,001	$4,25 \cdot 10^4$
	Ф-л «Фалько-Агро»	–	Без нагрузки	0,46	0,01	$2,50 \cdot 10^4$
		5	≈ 60 (1-е поле)	0,001	0,0001	$5,20 \cdot 10^4$
		15	≈ 20 (2-е поле)	0,45	0,001	$3,90 \cdot 10^4$

□ – чистая    □ – слабо загрязненная    □ – загрязненная    □ – сильно загрязненная

Через три месяца и более после внесения свиных стоков и помета отмечено заметное снижение общего микробного числа и термофильных бактерий. При этом наблюдалось повышение значений коли-титра (до 0,36–0,56) и перфрингенс-титра (до 0,001); почвы в категории «относительно безопасные, слабо загрязненные». Наиболее высокие показатели по общему микробному числу (2250–2560 тыс. КОЕ/г) и количеству термофилов ( $1,20 \cdot 10^5$ – $1,50 \cdot 10^5$  КОЕ/г) обнаружены в почвах, на которые в течение длительного времени ежегодно вносили очень высокие дозы жидкого навоза крупного рогатого скота (900–1000 т/га), что позволило их отнести к категории «чрезвычайно опасных, сильно загрязненных». Коли- и перфрингенс-титр уменьшились до 0,006 и 0,0001 против 0,01 в почве без нагрузок; категория – «опасные, загрязненные».

По гельминтологическому анализу почвы, прилегающие к животноводческим комплексам и птицефабрикам, относятся к чистым (полное отсутствие яиц гельминтов).

**Содержание катионов и анионов в дерново-подзолистых почвах в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик.** Независимо от сроков внесения органических удобрений не установлено превышения ПДК сульфатов в почвах в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик,

содержание нитратов выше допустимого уровня (1,4–1,7 ПДК) обнаружено только в пробах почв, отобранных на полях через две недели после окончания внесения помета и стоков свиней. Незначительное превышение ПДК нитратов в почвах при постоянных нагрузках жидкого навоза крупного рогатого скота, свиных стоков и помета, по-видимому, обусловлено их высокой динамичностью и интенсивным вымыванием в нижележащие горизонты. Наши исследования показали, что в почвах при длительном внесении жидких органических удобрений содержание нитратов на глубине 80–100 см увеличивается в 8–27 раз по сравнению с почвами без их применения. По данным авторов [7–9] при внесении высоких доз жидких органических удобрений нитраты обнаружены на глубине 1,5 м и более.

В настоящее время нормативы по допустимым концентрациям водорастворимых форм калия, хлоридов, фосфатов, обменного аммония, обменного и водорастворимого натрия отсутствуют. В соответствии с Постановлением Совета Министров РБ № 1042 от 17.07.2008 г. степень загрязнения земель при отсутствии установленного норматива предельно допустимой или ориентировочно допустимой концентрации химических веществ оценивается по кратному превышению фактического содержания исследуемых компонентов над их фоновыми содержаниями: низкая (2,1–10,0 фонов), средняя (10,1–40,0 фонов), высокая (40,1–100,0 фонов) и очень высокая (> 100,0 фонов). Что касается влияния постоянно вносимых на одни и те же поля жидкого навоза крупного рогатого скота, свиных стоков и помета на содержание водорастворимых форм калия, фосфатов и обменного аммония, то, с одной стороны, увеличение их концентрации в почвах является положительным моментом, поскольку способствует улучшению питания растений. С другой стороны, при повышении содержания растворимых катионов и анионов в почвах увеличивается уровень их миграции в нижележащие горизонты и наблюдается дисбаланс в концентрации солей почвенного раствора. При проведении маршрутных обследований в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик не установлено загрязнения почв аммонием; превышение его содержания в 3,1 раза относительно фона (почва без нагрузки) отмечено только в почве, где стоки свиней в дозе 500–600 т/га закончили вносить за 2 недели до отбора проб (табл. 5).

В результате анализа почвенных образцов, отобранных через 2–3 месяца после внесения стоков свиней в дозах от 350–450 т/га и более, выявлена низкая степень загрязнения водорастворимым калием и фосфатами, в почвенных образцах, отобранных через две недели после применения стоков в дозе 500–600 т/га кратность превышения по фосфатам составила 10,7 раз (средняя степень загрязнения). По хлоридам низкая степень загрязнения почв установлена при дозе внесения свиных стоков 500–600 т/га независимо от срока их внесения; при дозе 350–450 т/га превышение фонового содержания более чем в 2 раза отмечено только в первые две недели после внесения.

По истечении 3–4 месяцев после применения жидкого навоза КРС в дозах до 300 т/га на почвы, ранее длительное время удобрявшиеся очень высокими его дозами (900–1000 т/га), установлена низкая степень их загрязнения изучаемыми катионами и анионами ( $K^+$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $Cl^-$ ,  $Na_{обм}$ ,  $Na_{вод}$ ).

Регулярное внесение птичьего помета в дозах 50–60 т/га как один раз в три года, так и при ежегодном его внесении из расчета 60 т/га не приводило к загрязнению почв водорастворимым калием, хлоридами,  $Na_{обм}$  и  $Na_{вод}$ ; наблюдалась только низкая степень загрязнения фосфатами.

Таблица 5

**Степень деградации дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик**

Вид ОУ	Место отбора	Период внесения, лет	Доза ОУ, т/га в год	K <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sub>обм</sub>	Na <sub>вод</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Жидкий навоз крупного рогатого скота	ОАО «АгроВидзы»	12	900–1000 (1-е поле)	3,0	2,9	2,1	2,2	2,6	1,3
			900–1000 (2-е поле)	2,4	3,5	1,7	2,0	2,5	1,2
Навозные стоки свиней	СПК «Маяк Браславский»	25	500–600 (1-е поле)	3,5	3,6	2,5	1,5	1,3	1,7
			500–600 (2-е поле)	7,7	10,7	3,0	1,7	3,0	3,1
	ПК им. В. И. Кремко	15	120–150 (1-е поле)	3,9	5,3	2,2	1,3	1,7	1,6
			120–150 (2-е поле)	1,3	2,6	1,1	1,1	1,1	1,3
		20	450–550 (3-е поле)	3,0	3,1	1,2	1,2	1,2	1,5
Птичий помет	ОАО «Оранчицкая птицефабрика»	45	≈ 17	2,0	3,2	1,2	1,3	1,3	1,4
	ОАО «Смолевичи Бройлер»	15	≈ 17	1,7	1,3	1,2	1,0	1,2	1,3
	Ф-л «Фалько-Агро»	5	≈ 60 (1-е поле)	2,0	3,7	1,5	1,1	1,4	1,3
		15	≈ 20 (2-е поле)	1,5	1,9	1,1	1,0	1,1	1,2

 – низкая степень деградации почвы

 – средняя степень деградации почвы

**Содержание тяжелых металлов (ТМ) в почвах и сельскохозяйственных культурах в зоне влияния животноводческих комплексов.** Проведенные исследования показали, что внесение жидкого навоза крупного рогатого скота и стоков свиней на одни и те же поля в течение длительного времени практически не влияло на содержание подвижных форм Cd, Pb, Ni, Co и Cr в почвах, что, по-видимому, обусловлено довольно низким их содержанием в используемых удобрениях и, как следствие, небольшим ежегодным поступлением в почвы. Приоритетными загрязнителями почв, подвергающихся длительному воздействию этих удобрений являются Zn, Cu, Mn и Fe. При ежегодном их внесении в течение 20–30 лет в зависимости от дозовой нагрузки содержание подвижных форм Fe в почвах увеличилось на 13–199 %, Mn – на 16–175 %, Cu – на 11–229 %, Zn – на 21–547 %.

Оценка агроэкологического состояния почв, прилегающих к животноводческим комплексам, свидетельствует об отсутствии их загрязнения ТМ; превышения установленных нормативов ПДК не обнаружено [10, 11]. Тем не менее, при нагрузках жидких побочных продуктов животноводства от 500–600 до 900–1000 т/га количество Cu достигло 0,07–0,34 ПДК, Zn – 0,10–0,31 ПДК, Mn – 0,13–0,44 ПДК против 0,02–0,12 ПДК, 0,04–0,07 ПДК и 0,10–0,19 ПДК соответственно в почвах

без нагрузок. Рассчитанный суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ), отражающий общий уровень полиэлементного загрязнения почв вблизи животноводческих комплексов, также показал, что независимо от нагрузки жидких побочных продуктов животноводства, исследуемые почвы являются условно чистыми ( $Z_c < 16$ ). При этом отмечена четко выраженная тенденция увеличения данного показателя по мере повышения доз внесения жидкого навоза КРС и стоков свиней. Так, при ежегодном их внесении в дозе не более 300–400 т/га величина  $Z_c$  в среднем не превышала 2,7 ед., 500–600 т/га – 6,1 ед., максимальные значения (11,2–12,0 ед.) получены при дозе стоков свиней 700–800 т/га и жидкого навоза крупного рогатого скота 900–1000 т/га (рис. 4).

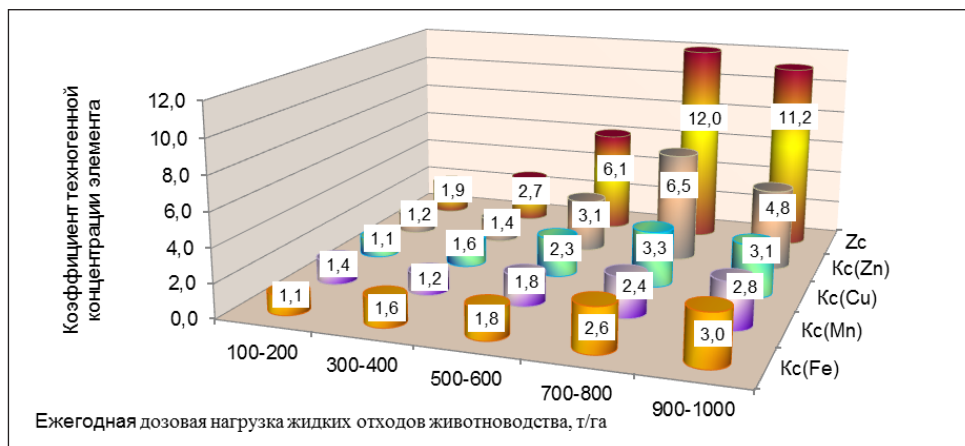


Рис. 4. Количественная оценка степени загрязнения дерново-подзолистых почв подвижными формами тяжелых металлов при регулярных нагрузках жидких побочных продуктов животноводства

Таким образом, наблюдаемый негативный эффект повышения подвижности тяжелых металлов (в частности Zn, Cu, Mn, Fe) указывает на экологические риски при постоянной утилизации высоких доз жидкого навоза КРС и стоков свиней на ограниченной территории, увеличивая вероятность загрязнения ими сельскохозяйственной продукции.

На основании полученных данных рассчитаны параметры среднегодового прироста содержания подвижных форм этих элементов в дерново-подзолистых почвах (табл. 6).

Таблица 6

**Параметры среднегодового прироста содержания подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах при регулярном внесении жидких побочных продуктов животноводства на протяжении 20–30 лет**

Доза ОУ, т/га в год	Fe	Cu	Zn	Mn
	Среднегодовой прирост, %			
100–200	0,6	0,5	0,9	0,7
300–400	2,0	3,0	3,5	2,0
500–600	3,5	6,0	9,0	3,5
900–1000	8,5	9,0	15,0	6,0

С помощью предложенных параметров можно спрогнозировать через сколько лет (L) уровень содержания подвижных форм ТМ в почве достигнет ПДК при постоянном воздействии жидких побочных продуктов животноводства:

$$L = \frac{(\text{ПДК} - \text{Содержание ТМ в почве без нагрузки}) \cdot 100}{\text{Содержание ТМ в почве без нагрузки} \cdot \text{Среднегодовой прирост ТМ}}$$

Как и для почв, основными поллютантами сельскохозяйственных культур в зоне влияния животноводческих комплексов являются Fe, Cu, Zn и Mn, изменения в содержании Cd, Pb, Ni, Co и Cr в растительных образцах по сравнению с неудобренными почвами не наблюдалось. При ежегодном внесении жидких побочных продуктов животноводства в дозах от 500–600 до 900–1000 т/га концентрация Fe в зеленой массе кукурузы увеличилась на 37–66 %, Cu – на 40–69 %, Zn – на 53–80 %, Mn – на 36–105 %. В многолетних травах превышение по Fe в зависимости от дозовой нагрузки жидкого навоза КРС и стоков свиней составило 10–35 %, Cu – 13–39 %, Zn – 29–61 %, Mn – 21–75 %. При возделывании зерновых культур содержание Fe в зерне было на 14–23 %, Cu – на 24–32 %, Zn – на 42–84 %, Mn – на 18–65 % выше, чем в почвах без нагрузок. Содержание этих элементов в соломе возросло на 34–48 %, 52–113 %, 26–34 %, 35–102 % соответственно. Для ярового рапса при нагрузке стоков свиней 500–600 т/га в семенах и соломе наблюдалось превышение по Cu на 14 и 21 %, Zn – на 40 и 105 %, Mn – на 42 и 269 %, Fe – на 14 и 31 % соответственно. Внесение жидкого навоза крупного рогатого скота и стоков свиней в дозе 100–200 т/га не влияло на накопление ТМ в растениях.

Поскольку содержание ТМ в растениеводческой продукции не нормируется в Республике Беларусь, то для оценки загрязнения использовали градацию, предложенную В. А. Касатиковым и Р. Ф. Байбековым с соавторами [12, 13]:  $Z_c < 3$  – слабая степень загрязнения;  $Z_c = 3–10$  – средняя степень загрязнения;  $Z_c > 10$  – сильная степень загрязнения. Расчеты показали, что согласно градации зеленая масса кукурузы и многолетних трав, солома озимых пшеницы и тритикале при нагрузках жидких побочных продуктов животноводства от 700–800 до 900–1000 т/га, а также солома ярового рапса при дозе свиных стоков 500–600 т/га относятся к среднезагрязненным ( $Z_c = 3,2–5,4$  ед.), в остальных растительных образцах показатель  $Z_c$  не превышал 3,0 ед. (слабозагрязненные). Суммарные показатели загрязнения ТМ соломы превышали сопряженные для зерна на 16–26 %, для рапса – на 128 %.

**Влияние регулярных нагрузок жидкого навоза КРС, свиных стоков и помета на накопление биогенных элементов и нитратов в урожае сельскохозяйственных культур.** Применение жидких побочных продуктов животноводства и помета оказало заметное влияние на химический состав сельскохозяйственных культур. В зависимости от дозовой нагрузки содержание азота, фосфора и калия в зерне кукурузы, яровых и озимых зерновых культур увеличилось в среднем на 13–53 %, в соломе превышение по этим элементам составило 21–106 %; в зеленой массе кукурузы азота накапливалось на 17–169 % больше,  $P_2O_5$  – на 13–64 %,  $K_2O$  – на 14–146 %, в многолетних травах их содержание увеличилось на 25–44 %, в люцерне – на 13–22 %; в семенах ярового и озимого рапса – на 22–57 %, в его побочной продукции – на 39–189 %.

При возделывании зерновых культур вблизи животноводческих комплексов и птицефабрик применяемые разноуровневые дозы органических удобрений не влияли на накопление нитратов в зерне. Не установлено по средним показателям превышения их содержания в соломе выше ПДК для грубых кормов (1000 мг/кг сырого вещества) при дозе жидкого навоза крупного рогатого скота 100–200 т/га. На фоне, как действия, так и последствий помета в дозе 50–60 т/га и стоков свиней в дозе 450 т/га и выше содержание нитратов в соломе достигло 586–1481 мг/кг, т. е. было близко к предельному уровню или превышало его (рис. 5).

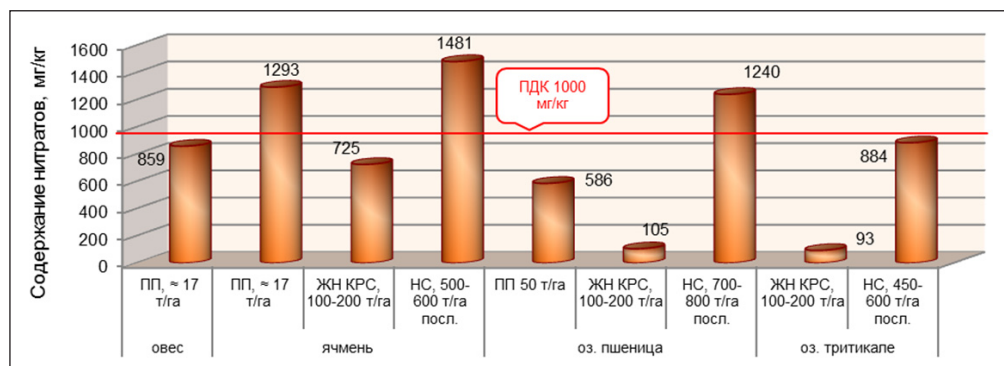
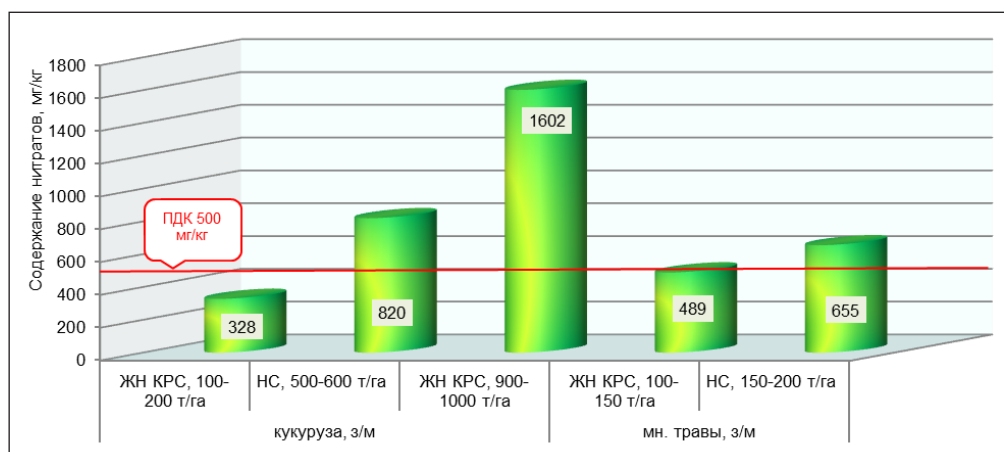


Рис. 5. Среднее содержание нитратов в сельскохозяйственных культурах, произрастающих вблизи животноводческих комплексов и птицефабрик, мг/кг

При ежегодных нагрузках жидкого навоза крупного рогатого скота 900–1000 т/га и стоков свиней 500–600 т/га накопление нитратов в зеленой массе кукурузы составило 866–1602 мг/кг, что выше ПДК (500 мг/кг) в 1,7–3,2 раза; ниже регламентируемого норматива их содержание при дозе жидкого навоза КРС 100–200 т/га (328 мг/кг). В зеленой массе многолетних трав при дозе внесения жидкого навоза крупного рогатого скота под каждый укос по 100–150 т/га накопление нитратов ниже ПДК; при внесении стоков свиней в дозе по 150–200 т/га их содержание составило 536–768 мг/кг (в среднем 655 мг/кг), что на уровне ПДК или выше до 1,5 раз.

Проведенный корреляционно-регрессионный анализ позволил установить максимальные дозы жидких побочных продуктов животноводства под многолетние травы и при возделывании кукурузы на зеленую массу, применение которых не приводит к накоплению нитратов в зеленой массе выше ПДК (500 мг/кг сырого вещества) (рис. 6).

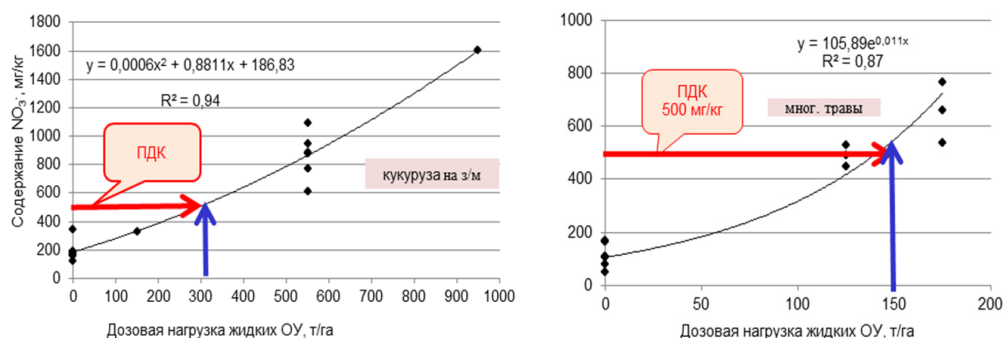


Рис. 6. Содержание нитратов в сельскохозяйственных культурах в зависимости от дозовых нагрузок жидких отходов животноводства

При возделывании кукурузы на зерно независимо от сроков внесения птичьего помета в дозах 50–60 т/га содержание нитратов в зерне изменялось в довольно узких пределах (12–19 мг/кг) и было на уровне показателей, полученных на почвах без нагрузок (рис. 7).

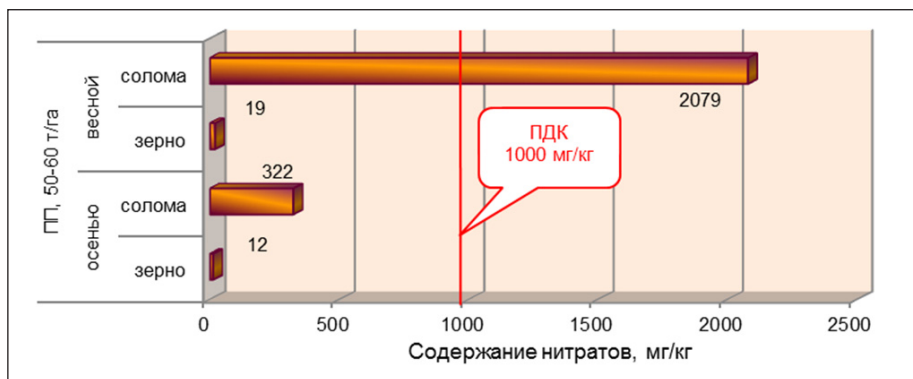


Рис. 7. Среднее содержание нитратов в зерне и соломе кукурузы, произрастающей в зоне влияния птицефабрик, мг/кг

Что касается соломы кукурузы, то при внесении помета осенью под вспашку накопление нитратов в побочной продукции было ниже регламентируемой ПДК, достигая в среднем 322 мг/кг. При его весеннем внесении их содержание достигло 2079 мг/кг. Таким образом, при возделывании кукурузы на зерно жидкие побочные продукты животноводства и птичий помет можно вносить от уборки предшественника и до весны, заканчивая за месяц до посева. При ее возделывании на зеленую массу для предотвращения накопления нитратов выше ПДК оптимальный срок внесения – осенью под основную обработку почвы.

Накопление нитратов в семенах рапса ярового (949 мг/кг) и озимого (223 мг/кг) при ежегодных нагрузках стоков свиней 500–600 т/га ниже установленного норматива (1500 мг/кг), что позволяет его возделывать на почвах, прилегающих к животноводческим комплексам и птицефабрикам.

**Оптимизация структуры посевных площадей на землях с антропогенной нагрузкой в виде высоких доз органических удобрений.** В зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик дозы внесения жидких побочных продуктов животноводства и птичьего помета под сельскохозяйственные культуры на близлежащие поля, как правило, значительно превышают рекомендуемые дозы применения органических удобрений, что обусловлено производственными условиями (переполнении хранилищ, невыгодность перевозок на отдаленные участки и т. д.).

Основными причинами, ограничивающими бессистемное внесение высоких доз жидкого навоза, навозных стоков и птичьего помета, являются:

- снижение качества продукции растениеводства вследствие накопления в ней нитратов выше регламентируемой ПДК, возможного накопления в избыточных концентрациях калия, фосфора, тяжелых металлов и других токсикантов;
- увеличение содержания в почве нитратов выше установленного норматива, подвижных форм фосфора и калия до очень высокого уровня;
- негативное влияние на окружающую среду в результате интенсивной миграции фосфатов, нитратов, калия и других загрязняющих веществ в грунтовые воды; а также увеличение непродуктивных потерь из почвы макроэлементов;
- повышение фитотоксичности почвы и ухудшение ее санитарного состояния;
- уменьшение окупаемости применяемых удобрений, коэффициентов использования из них биогенных элементов растениями.

Жидкие побочные продукты животноводства и бесподстилочный птичий помет, вносимые на почвы, по ветеринарно-санитарным показателям должны соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям. По своим химическим свойствам они являются быстродействующими удобрениями, так как все питательные вещества находятся в легкодоступной для питания растений форме, поэтому их следует вносить под культуры, усваивающие большое количество азота, фосфора и калия уже с самого начала вегетации. В зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик рекомендуется возделывание культур интенсивного типа: кукурузу на зерно и зеленую массу, многолетние злаковые травы.

При возделывании кукурузы на зерно допустимой дозой нагрузкой жидкого навоза и навозных стоков на дерново-подзолистые почвы является доза 500–600 т/га, птичьего помета – 50–60 т/га (табл. 7). Вносить жидкие побочные продукты животноводства и помет под кукурузу на зерно можно от уборки предшественника и до весны. При возделывании кукурузы на зеленую массу максимальная доза жидкого навоза и навозных стоков на почвы пахотных земель, прилегающих к животноводческим комплексам, не должна превышать 300 т/га. Вносить их следует осенью под основную обработку почвы.

В зоне влияния животноводческих комплексов максимальной дозой нагрузкой при возделывании многолетних злаковых трав на дерново-подзолистых почвах является внесение под каждый укос жидкого навоза и навозных стоков не более 150 т/га. Под каждый укос жидкий навоз и навозные стоки вносят поверхностно. Внесение жидкого навоза и навозных стоков под многолетние злаковые



травы проводят под первый укос – до начала активной вегетации трав, под второй и третий укосы – в первые 7 дней после скашивания. Более высокие их дозы приводят к ухудшению качества зеленой массы, возможно образование корки на поверхности, которая ухудшает газообмен корнеобитаемого слоя и задерживает развитие растений.

Таблица 7

**Максимальные дозы внесения жидкого навоза, стоков свиней и птичьего помета под сельскохозяйственные культуры в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик**

Сельскохозяйственная культура	Максимальная доза, т/га	Время внесения
Жидкий навоз и навозные стоки		
Кукуруза: на зерно	500–600	Летне-весеннее внесение, но не позднее, чем за 1–1,5 месяца до посева
на зеленую массу	300	Осенью под основную обработку почвы
Многолетние злаковые травы	150	Под 1-й укос – до начала активной вегетации трав, под 2-й и 3-й – в первые 7 дней после скашивания
Озимые зерновые культуры	250	Не позже, чем за 3–4 недели до посева под основную обработку почвы
Яровые зерновые культуры	150	Осенне-весеннее внесение, но не позднее, чем за 1–1,5 месяца до посева
Рапс: озимый	400–500	После уборки предшественника, но не позднее, чем за месяц до посева
яровой		Осенне-весеннее внесение, но не позднее, чем за 1–1,5 месяца до посева
Бесподстилочный птичий помет		
Кукуруза на зерно	50–60	Летне-весеннее внесение, но не позднее, чем за 1–1,5 месяца до посева
Озимые зерновые культуры	50	Не позже, чем за 3–4 недели до посева под основную обработку почвы
Рапс: озимый	50	После уборки предшественника, но не позднее, чем за месяц до посева
яровой		Осенне-весеннее внесение, но не позднее, чем за 1–1,5 месяца до посева

Под озимые зерновые культуры жидкий навоз и навозные стоки можно вносить в дозе до 250 т/га, птичий помет – не более 50 т/га; допустимый срок внесения – не позже, чем за 3–4 недели до посева под основную обработку почвы. В зоне влияния животноводческих комплексов максимальная дозовая нагрузка жидкого навоза и навозных стоков при возделывании яровых зерновых культур – не более 150 т/га, по возможности рекомендуется их осенне-весеннее внесение при окончании за 1–1,5 месяца до посева.

На дерново-подзолистые почвы, прилегающие к животноводческим фермам, допускается внесение жидких побочных продуктов животноводства под озимый и яровой рапс в дозе, не превышающей 400–500 т/га. Вблизи птицефабрик

максимальная доза внесения птичьего помета под рапс – не более 50 т/га. Под озимый рапс жидкий навоз, навозные стоки и помет следует вносить сразу после уборки предшественника, но не позднее, чем за месяц до его посева. Под яровой рапс рекомендуется осенне-весеннее внесение, которое должно быть закончено за 1–1,5 месяца до посева.

Следует иметь в виду, что при использовании высоких доз жидких побочных продуктов животноводства и бесподстильного птичьего помета необходим постоянный мониторинг за экологическим состоянием почвы, контроль качества растительной продукции и грунтовых вод.

В зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик при регулярном внесении больших объемов жидкого навоза, навозных стоков и птичьего помета на близлежащие поля не следует дополнительно вносить минеральные удобрения перед основной или предпосевной обработкой почвы. Как правило, вся потребность возделываемых культур в элементах питания может быть обеспечена за счет внесенных жидких побочных продуктов животноводства и помета. Необоснованное применение минеральных удобрений способствуют удорожанию продукции и снижению показателей качества сельскохозяйственных культур, при необходимости они могут быть использованы только для подкормок.

При оптимизации структуры посевных площадей в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик формирующаяся система севооборотов проводится, прежде всего, с учетом специализации хозяйств. В хозяйствах, специализирующихся на выращивании крупного рогатого скота, предпочтение отдается культурам, обеспечивающим получение грубых и сочных кормов, а в свиноводческих и птицеводческих предприятиях, где выше нуждаемость в концентрированных кормах, в структуре посевных площадей увеличивается доля зерновых культур.

## ВЫВОДЫ

В результате исследований была проведена оценка влияния дозовых нагрузок жидкого навоза крупного рогатого скота, свиных стоков и птичьего помета на агрохимические показатели почв, их санитарное состояние, фитотоксичность, ферментативную активность, содержание загрязняющих веществ. Дана оценка активности процессов минерализации в циклах С и N и гумификации в цикле С; проведен анализ данных о направленности трансформации органического вещества в почвах на основе использования коэффициента  $K_6$ .

В зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик по сравнению с почвами без нагрузок содержание гумуса в среднем увеличилось на 0,23–1,51 %, доля почв с высоким и очень высоким содержанием  $K_2O$  повысилась в 6,5 раза до 71 % при снижении доли с оптимальными показателями в 3,7 раза до 17 %; по фосфору – доля почв с очень высоким содержанием составила 69 % при отсутствии таковых в почвах без нагрузок; около 38 % приходится на почвы с накоплением более 1000 мг/кг, доля почв с оптимальными параметрами снизилась до 7 % (45 % в почвах без нагрузок). Превышение по нитратам (1,4–1,7 ПДК) обнаружено только в почвах, где стоки свиней и помет вносили не более, чем за две недели до отбора проб.

Санитарное-бактериологическое состояние почв находится в прямой зависимости от сроков внесения птичьего помета и стоков свиней: в начальный

период после их внесения по значениям коли- и перфрингенс-титров почвы оцениваются как «опасные, загрязненные» (почвы без нагрузок – «относительно безопасные, слабо загрязненные» и «безопасные, чистые»). Через три месяца и более после применения этих удобрений почвы в категории «относительно безопасные, слабо загрязненные». По гельминтологическому анализу почвы в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик – чистые (яйца гельминтов отсутствуют). Наиболее фитотоксичны почвы в зоне влияния свинокомплексов: на почвах пахотных земель, где стоки свиней в дозах 350–450 т/га и более закончили вносить за две недели до посева длина ростков и корней может уменьшиться до 15 %, всхожесть семян – до 10 %. Однако в целом общая токсичность почв вблизи животноводческих комплексов и птицефабрик соответствует V классу (норма).

Агроэкологическое состояние почв по суммарному показателю загрязнения подвижными формами тяжелых металлов характеризовалось допустимым уровнем; наблюдаемые негативные тенденции его увеличения указывают на экологические риски при постоянной утилизации высоких доз жидкого навоза крупного рогатого скота и стоков свиней на ограниченной территории. Концентрация Zn, Cu, Mn и Fe в сельскохозяйственных культурах в зависимости от их нагрузки на почвы увеличивается на 10–269 % при содержании Cd, Pb, Ni, Cr и Co на уровне почв без нагрузок.

Допустимая дозовая нагрузка жидких побочных продуктов животноводства при возделывании кукурузы на зерно – не более 500–600 т/га, на зеленую массу – 300 т/га, под многолетние травы – 150 т/га под каждый укос, под озимые зерновые культуры – 250 т/га, яровые – 150 т/га, озимый и яровой рапс – 400–500 т/га. Максимальная доза внесения птичьего помета под озимые зерновые культуры, рапс и кукурузу на зерно – не более 50–60 т/га.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барановский, И. Эффективность жидкого навоза на дерново-подзолистых почвах / И. Барановский, А. Павлоцкий // Главный агроном. – 2010. – № 10. – С. 7–9.
2. Бабенко, М. В. Влияние отдельных фракций свиного навоза на продуктивность зернотравяного звена севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / М. В. Бабенко; РГАУ – МСХА им. Тимирязева. – М., 2016. – 21 с.
3. Использование животноводческих стоков в качестве органических удобрений / В. Н. Самыкин, В. Д. Соловиченко, А. А. Потрясаев // Ресурсосберегающие технологии использования органических удобрений в земледелии: сб. докл. Всерос. науч.-практ. конф. / ВНИИПТИОУ; ред. кол.: А. И. Еськов, С. М. Лукин, И. В. Русакова. – Владимир, 2009. – С. 229–234.
4. Агроэкономическая эффективность жидкого навоза КРС и минеральных удобрений при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Т. М. Серая [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2014. – № 4 (№ 95). – С. 39–42.
5. Седых, В. А. Экологическая оценка использования куриного помета на почвах таежно-лесной зоны: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.13, 03.02.08 /

В. А. Седых; ФГБОУ ВПО «Российский гос. аграрный у-т – МСХА им. Тимирязева». – М., 2013. – 46 с.

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

7. Обоснования эффективного экологически безопасного регулярного интенсивного применения бесподстилочного навоза в агроценозах с бессменным возделыванием многолетних трав / С. И. Тарасов [и др.] // Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. / РАСХН, ВНИИПТИОУ; ред. кол.: А. И. Еськов, С. М. Лукин, С. И. Тарасов. – Владимир, 2006. – С. 261–275.

8. Влияние удобрений на миграцию макроэлементов по профилю почвы. Сообщение 2. Влияние высоких доз бесподстилочного навоза на миграцию нитратов / В. А. Васильев [и др.] // Агрохимия. – 1981. – № 5. – С. 29–34.

9. *Варюшкина, Н. М.* Отрицательное экологическое воздействие удобрений в системе почва – растение – промывные воды / Н. М. Варюшкина // Экологические проблемы накопления нитратов в окружающей среде: тезисы докл. Всесоюзной конф., Пущино, 10–13 окт. 1989 г. / Науч. центр биологических исследований АН СССР в Пущине. – Пущино, 1989. – С. 13–14.

10. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ: ГН 2.1.7.12-1-2004. – Введ. 25.02.2004 г. – Минск: Минздрав Респ. Беларусь, 2004. – 29 с.

11. Об утверждении ГН «Предельно допустимые концентрации подвижных форм цинка, хрома, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения»: Постановление Мин-во здравоохранения Респ. Беларусь, 6 нояб. 2008 г., № 187 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2012. – 8/25624.

12. Методы исследования городских почв: учебное пособие / Р. Ф. Байбеков [и др.]. – М.: ФГОУ ВПО РГАУ – МСХА им. Тимирязева, 2007. – 202 с.

13. *Касатиков, В. А.* Агроэкологические основы применения осадков городских сточных вод в качестве удобрения: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04 / В. А. Касатиков; МСХА им. Тимирязева. – М., 1989. – 35 с.

## **AGROECOLOGICAL STATE OF SOD-PODZOLIC SOILS AND AGRICULTURAL CROPS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF LIVESTOCK COMPLEXES AND POULTRY FARMS**

**E. N. Bahatyrova, T. M. Seraya, I. I. Kasyanenko,  
Y. A. Belyavskaya, T. M. Kirdun**

### **Summary**

The comprehensive assessment of the effect of dose loads of liquid by-products of animal husbandry and poultry manure on the agrochemical parameters of sod-podzolic soils, their phytotoxicity, sanitary condition, enzymatic activity, the content of pollutants, as well as on agricultural crops growing on them was carried out.

*Поступила 04.03.21*

## УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ГОРОХА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ МАГНИЕМ И СЕРОЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ

И. М. Богдевич, И. С. Станилевич, Ю. В. Путятин,  
В. А. Довнар, Е. С. Третьяков

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

### ВВЕДЕНИЕ

Эффективность магниевых и серосодержащих удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур в Беларуси изучена недостаточно. Немногочисленные работы преимущественно относятся к периоду дефицита магния в почвах прошлого столетия.

Сере принадлежит важная роль в питании растений. Она входит в состав всех белков и трех незаменимых аминокислот: цистеина, цистина и метионина. Известно об участии серы в важнейших процессах жизнедеятельности растений, фотосинтезе, синтезе белков и масел, первичной ассимиляции азота [6]. Обеспеченность растений серой – важный фактор получения качественного растительного белка. Недостаток серы не только снижает урожайность и качество продукции, но и уменьшает эффективность использования азота из удобрений растениями. При уменьшении содержания серы в растениях менее 1:16 по отношению к азоту, синтез белка снижается, и азот аккумулируется в форме нитратов [2].

Зарубежные авторы отмечают высокую эффективность магниевых и серосодержащих удобрений. Применение серосодержащих удобрений становится актуальным в результате повышения урожайности сельскохозяйственных культур, при одновременном сокращении поступления серы в почву с осадками, органическими удобрениями и современными формами минеральных удобрений [3]. По данным исследований Г. В. Пироговской на лизиметрической станции Института почвоведения и агрохимии (г. Минск), поступление серы с осадками за последние 40 лет заметно снизилось [4]. Если среднегодовое поступление серы за 1981–1985 гг. составляло 24,4 кг S/га, то за последние пять лет этот показатель сократился до 11,0 кг/га. В целом, по данным крупномасштабного агрохимического обследования почв, средневзвешенное содержание сульфатной серы в гумусовом горизонте пахотных почв Беларуси за последние тридцать лет уменьшилось наполовину и составляет 5,4 мг/кг почвы.

Питание растений серой в значительной мере зависит от обеспеченности почв магнием. Повышение содержания в почве обменных форм магния может снижать доступность серы корням растений, поскольку подвижная, легкодоступная для растений сера находится в форме сульфатов одновалентных катионов. Магний занимает важное место в минеральном питании растений. Недостаток магния

ограничивает урожайность сельскохозяйственных культур, снижает качество продукции, оказывает влияние на эффективность использования азотных, фосфорных и калийных удобрений [5–7].

Дерново-подзолистые почвы Беларуси характеризовались низким содержанием магния в поглощающем комплексе. Мониторинг обеспеченности почв обменным магнием в республике ведется с 1976 года. Средневзвешенное содержание магния в пахотных почвах республики тогда составляло MgO 93 мг/кг почвы. Свыше половины (51 %) площади пашни характеризовалась низкой обеспеченностью этим элементом (MgO <90 мг/кг по действующей градации) [6]. В связи с многолетним известкованием кислых почв доломитовой мукой содержание в почвах обменных форм магния многократно повысилось [8]. В настоящее время средневзвешенное содержание магния достигло уровня в пахотных почвах MgO 243 мг/кг почвы, в луговых – 272 мг/кг. Доля почв с низким содержанием элемента снизилась и составляет 4,8 %. Возросла доля почв с высоким его содержанием – 31,4 %. Оптимальная и высокая обеспеченность почв магнием наблюдается на 97,4 % площади почв луговых земель [9]. Поскольку содержание обменного магния сильно различается по отдельным полям и участкам, на значительной части площади пахотных земель нарушено требуемое соотношение катионов  $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} : Mg^{2+}$ , и возделываемые культуры испытывают недостаток или избыток магния для формирования урожайности [10]. В связи с этим возникла необходимость в разработке диагностики магниевых питания наиболее ценных сельскохозяйственных культур.

Горох является ценной продовольственной и кормовой культурой. В мире посевы гороха занимают около 10 млн га. В Республике Беларусь зернобобовые культуры занимают 50–65 тыс. га площади посевов, с валовым сбором гороха 50–84 тыс. т [11]. В зерне гороха содержится более 20 % белка, 1,1–1,5 % жира и 5–6 % клетчатки, витамины А, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, С, минеральные вещества и все необходимые аминокислоты [12–13]. Важнейшей особенностью зернобобовых является способность усваивать азот воздуха с помощью клубеньковых бактерий, что относит горох к хорошим предшественникам. Горох отличается высокой потребностью в сере и магнии. Известно, что при недостатке серы у бобовых культур снижается количество клубеньков на корнях растений и уменьшается интенсивность фиксации атмосферного азота.

Цель исследований – разработать параметры диагностики минерального питания гороха серой и магнием на дерново-подзолистых суглинистых почвах для определения потребности в серосодержащих удобрениях и магниевых подкормках растений.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в 2016–2017 и 2019–2020 гг. в стационарном полевом опыте в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощном лессовидном суглинке.

Почва пахотного горизонта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,8–2,1 %, рН<sub>KCl</sub> – 6,0–6,2, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,2 М HCl) – 530–570 мг/кг почвы, K<sub>2</sub>O (0,2 М HCl) – 310–345 мг/кг, Ca (1 М KCl) – 840–1230, Mg (1М KCl) 45–240 мг/кг почвы, подвижных форм серы – 9–11 мг/кг.

Опыт заложен в двух полях, на каждом из которых создано четыре уровня обеспеченности почвы обменным Mg, которые отражают диапазон различий по содержанию магния в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси (табл. 1). Содержание катионов (Mg, K, Ca) и их соотношения типичны для средне окультуренных дерново-подзолистых пахотных почв.

Высокие уровни содержания обменного магния на делянках создавались путем внесения в предшествующие годы быстродействующего удобрения – сульфата магния ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ). Значения 4-х уровней содержания обменного магния определяли после агрохимического анализа почвы со всех делянок. С целью выравнивания значений pH вносили поделяночно мел.

Таблица 1

**Содержание и соотношение катионов (Ca, Mg, K) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве опытных полей в ОАО «Гастелловское» (2019–2020 гг.)**

Содержание в почве катионов, мг/кг			Эквивалентное соотношение катионов	
Mg	K	Ca	Ca: Mg	K: Mg
2019 г. (поле № 2)				
53	315	1160	13,2	1,8
120	310	1032	5,2	0,8
165	335	935	3,6	0,6
240	320	860	2,2	0,4
2020 г. (поле № 1)				
45	310	1150	15,3	2,1
115	315	1057	5,5	0,8
160	345	955	3,6	0,6
230	325	840	2,2	0,4

Схема опыта предусматривала 9 вариантов удобрений на каждом из четырех уровней содержания обменного магния в почве:

1. Контроль (без удобрений);
2.  $N_{30}P_{60}$ ;
3.  $N_{30}P_{60}K_{120}$  – фон;
4.  $N_{30}P_{60}K_{180}$ ;
5. Фон +  $Mg_1$ ;
6. Фон +  $Mg_{1,5}$ ;
7. Фон +  $S_{36}$  (сульфат аммония);
8. Фон +  $S_{36}$  +  $Mg_1$ ;
9. Фон +  $S_{36}$  +  $Mg_{1,5}$ .

На каждом уровне содержания обменного магния в почве исследовали действие полной дозы удобрений, варианта с повышенной дозой калия, серы в дозе  $S_{36}$  и некорневых подкормок сульфатом магния в фазу бутонизации. Минеральные удобрения в виде карбамида, калия хлористого, аммонизированного суперфосфата и сульфата аммония вносили при предпосевной обработке почвы под горох – весной. Некорневые подкормки 4-х % раствором сульфата магния в дозах Mg 1 и 1,5 кг/га проводились в фазу бутонизации в закрытой почке растений гороха на фоне внесения минеральных удобрений NPK(S) до отбора растительных образцов. Агротехника возделывания культур – общепринятая для республики [14].

Опыт разбит согласно схеме вариантов удобрений в 4-кратной повторности. Возделывался горох посевной, сорт Белус. Размещение вариантов удобрений внутри блоков разного содержания магния в почве – рандомизированное. Общая площадь делянки – 15 м<sup>2</sup>, учетная – 10 м<sup>2</sup>.

Определение агрохимических показателей в образцах почвы проводили по общепринятым методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (0,4 н К<sub>2</sub>Сг<sub>2</sub>О<sub>7</sub> ГОСТ 26213-91); рН<sub>КСl</sub> – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85); обменные кальций и магний (1 М КСl) – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ГОСТ 26487-85); подвижные фосфор и калий (0,2 М НСl) – по Кирсанову с последующим определением фосфора на фотоэлектро-колориметре, калия – на пламенном фотометре (ГОСТ 26207-91), подвижную серу (ГОСТ 26951-86).

В растительных образцах определяли следующие показатели: общий азот, фосфор, калий, кальций, магний – из одной навески после мокрого озоления серной кислотой; азот – методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93), фосфор – на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26657-97), калий – на пламенном фотометре, кальций и магний на атомно-абсорбционном спектрометре, сера спектрометрическим методом. Содержание сырого белка рассчитывали умножением концентрации общего азота на коэффициент пересчета азота на белок – 6,25. Статистическая обработка результатов исследований выполнена по Б. А. Доспехову (1985) с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведённых опытов была установлена зависимость урожайности зерна гороха от обеспеченности почвы обменным магнием (табл. 2).

Таблица 2

**Урожайность зерна гороха в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и удобрений (в среднем за 2016–2020 гг.)**

Вариант	Урожайность зерна, ц/га				Прибавка зерна, ц/га, за счет повышения содержания Mg в почве		
	Уровни содержания Mg, мг/кг почвы						
	45–53	90–120	138–165	183–240	90–120	138–165	183–240
Контроль	26,8	31,0	32,9	30,6	4,2	6,1	3,8
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub>	30,3	35,4	35,7	32,5	5,1	5,4	2,2
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> (фон)	33,8	37,4	38,6	36,0	3,6	4,8	2,6
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	35,8	38,6	38,4	35,7	2,8	2,6	–0,1
Фон S <sub>36</sub>	38,8	41,4	40,1	35,8	2,6	1,3	–3,0
Фон + Mg <sub>1</sub>	39,1	41,4	40,4	34,7	2,3	1,3	–4,4
Фон + Mg <sub>1,5</sub>	39,6	41,9	40,7	34,8	2,3	1,1	–4,8
Фон + S <sub>36</sub> Mg <sub>1</sub>	41,5	43,7	40,8	35,9	2,2	–0,7	–5,6
Фон + S <sub>36</sub> Mg <sub>1,5</sub>	41,8	44,2	41,3	35,2	2,4	–0,5	–6,6
НСР <sub>05</sub> : варианты уровни	1,97 0,89						



По мере повышения обеспеченности почвы обменным магнием с 45–53 до 138–165 мг/кг почвы в контрольном варианте (без удобрений) урожайность зерна гороха возрастала. Дальнейшее повышение обеспеченности почвы обменным магнием до уровня 183–240 мг/кг почвы сопровождалось снижением урожайности зерна гороха на 7,0 %. Аналогичное варьирование урожайности наблюдалось и в фоновом варианте  $N_{30}P_{60}K_{120}$ . Наибольшая урожайность гороха 38,6 ц/га получена при содержании в почве обменного магния на уровне Mg 138–165 мг/кг почвы. В среднем за 2016–2020 гг. прибавка урожайности зерна за счёт повышения содержания в почве обменного магния с 45–53 до 138–165 мг/кг почвы составила в контрольном варианте 6,1 ц/га (23 %), а в варианте с базовой дозой удобрений  $N_{30}P_{60}K_{120}$  – 4,8 ц/га (14 %).

Рассчитанная по уравнению параболической кривой (рис. 1), наибольшая урожайность зерна получена при содержании обменного магния Mg 124 мг/кг (или MgO 206 мг/кг почвы). Дальнейшее повышение концентрации магния до уровня Mg 183–240 мг/кг почвы) и сужение эквивалентного соотношения катионов Ca: Mg до 2,2 приводило к снижению урожайности гороха на 6,7 %.

Таким образом, для получения высокой урожайности зерна гороха более 30 ц/га определён ориентировочный расчётный диапазон оптимального содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве – Mg 120–140 мг/кг (или MgO 200–230). Этот диапазон оптимума соответствует IV группе действующей в Беларуси градации обеспеченности почв магнием. При этом эквивалентное соотношение в почве катионов  $Ca^{2+}:Mg^{2+}$  составило в пределах 4–5, а соотношение  $K^{+}:Mg^{2+}$  около 0,6–0,7.

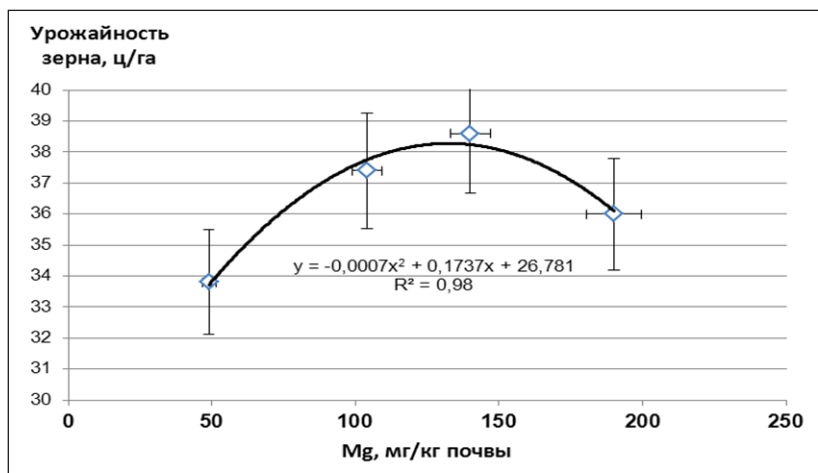


Рис. 1. Урожайность зерна гороха в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, вариант  $N_{30}P_{60}K_{120}$

Прибавки урожайности гороха от серосодержащих удобрений и магниевых подкормок можно вычислить из данных таблицы 2. Для наглядности они показаны на рисунке 2. Применение серы в дозе 36 кг/га в виде сульфата аммония сопровождалось повышением урожайности зерна гороха на I и II уровнях обеспеченности почвы обменным магнием. На I уровне прибавка урожайности зерна составила 5,0 ц/га, на II уровне – 4,0 ц/га. Повышение обеспеченности почвы обменным

магнием до III уровня 138–165 мг/кг и выше сопровождалось снижением прибавки ниже статистической достоверности, а на IV уровне наблюдалось снижение урожайности зерна гороха.

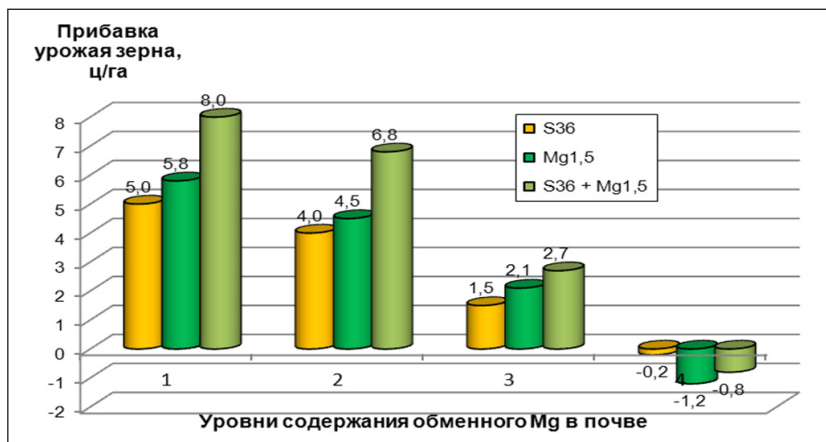


Рис. 2. Прибавки урожайности зерна гороха от внесения серы и некорневых подкормок сульфатом магния на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием (1 – Mg в почве 45–53 мг/кг, 2 – 90–120 мг/кг, 3 – 138–165 мг/кг, 4 – 183–240 мг/кг)

Сульфат аммония является самым технологичным и дешёвым источником серы для сельскохозяйственных культур. Аналогичные выводы были сделаны в серии полевых опытов по исследованию эффективности серосодержащих удобрений под гречиху, картофель, озимый и яровой рапс, проведенные в 2018–2019 гг. под руководством профессора Г. В. Пироговской [15].

Некорневые подкормки сульфатом магния также наиболее эффективны были на первых двух уровнях содержания обменного магния в почве, обеспечив получение прибавок урожайности 5,8 и 4,5 ц/га. При более высокой обеспеченности почвы магнием наблюдались недостоверные прибавки урожайности гороха, на IV уровне некорневые магниевые подкормки сопровождалось снижением урожайности. Раствор сульфата магния является источником питания двумя элементами, магнием и серой. Однако количество серы поступающей с некорневой подкормкой недостаточное для формирования высокой урожайности зерна гороха. Поэтому наиболее эффективным вариантом является сочетание внесения серы в почву в форме сульфата аммония с некорневой подкормкой раствором сульфата магния. В этом варианте прибавки урожайности зерна гороха повысились и составили на первых двух уровнях обеспеченности почвы обменным магнием, соответственно, 8,0 и 6,8 ц/га. По мере дальнейшего повышения обеспеченности почвы обменным магнием применение серо- и магниесодержащих удобрений становилось неэффективным и нецелесообразным (рис. 2).

Очевидно, что повышенная потребность растений в магии и сере может быть обусловлена недостаточным содержанием этих элементов в почве. Однако, очень высокое, избыточное содержание магния в почве может оказывать негативное влияние на общий режим питания растений, ограничивая целесообразность применения не только магниевых, но и серосодержащих удобрений.

Основным показателем качества зерна является содержание сырого белка, которое в пределах вариантов опыта варьировало в пределах 20,8–23,0 %. Повышение обеспеченности почвы обменным магнием с I до III уровня сопровождалось увеличением содержания белка в зерне гороха в варианте без удобрений на 0,6 %, в варианте  $N_{30}P_{60}K_{120}$  на 0,3 %, дальнейшее повышение концентрации магния в почве приводило к снижению содержания белка (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание и сбор сырого белка в зерне гороха в зависимости от обеспеченности обменным магнием дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (среднее 2019–2020 гг.)**

Вариант	Урожайность гороха, ц/га	Содержание белка, %	Прибавка к контролю, %	Сбор белка, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га
I уровень Mg 45–50 мг/кг почвы					
Контроль (б/у)	24,5	21,16	–	4,46	–
$N_{30}P_{60}K_{120}$ – фон	28,6	22,11	0,95	5,44	0,98
Фон + $S_{36}$	34,0	22,78	1,63	6,66	2,20
Фон + $S_{36}$ + $Mg_{1,5}$	35,0	22,63	1,47	6,81	2,35
II уровень Mg 115–120 мг/кг почвы					
Контроль (б/у)	25,8	21,58	–	4,77	–
$N_{30}P_{60}K_{120}$ – фон	30,8	22,25	0,67	5,89	1,12
Фон + $S_{36}$	36,0	22,89	1,31	7,09	2,32
Фон + $S_{36}$ + $Mg_{1,5}$	37,8	22,84	1,27	7,42	2,65
III уровень Mg 160–165 мг/кг почвы					
Контроль (б/у)	26,1	21,75	–	4,88	–
$N_{30}P_{60}K_{120}$ – фон	31,7	22,41	0,66	6,11	1,23
Фон + $S_{36}$	34,5	22,98	1,23	6,82	1,94
Фон + $S_{36}$ + $Mg_{1,5}$	35,6	23,03	1,28	7,05	2,17
IV уровень Mg 230–240 мг/кг почвы					
Контроль (б/у)	22,8	20,84	–	4,09	–
$N_{30}P_{60}K_{120}$ – фон	28,6	22,22	1,38	5,47	1,38
Фон + $S_{36}$	27,8	21,61	0,77	5,17	1,08
Фон + $S_{36}$ + $Mg_{1,5}$	27,8	21,50	0,66	5,14	1,05
НСП <sub>05</sub> : варианты уровни	2,16 1,30	0,15 0,11		–	

Минеральное питание гороха сказывалось на содержании сырого белка в зерне. Внесение полной дозы удобрений  $N_{30}P_{60}K_{120}$  обеспечило прибавку сырого белка к контролю на 0,66–1,38 %, а внесение серы  $N_{30}P_{60}K_{120}+S_{36}$  – на 0,77–1,63 %, проведение некорневой подкормки сульфатом магния в сочетании с серой на фоне удобрений  $N_{30}P_{60}K_{120} + S_{36} + Mg_{1,5}$  – на 0,66–1,47 %. Сбор сырого белка возрастал до II уровня содержания обменного магния в почве, на котором в удобренных вариантах составил 5,89–7,42 ц/га, постепенно снижаясь до 5,14–5,47 ц/га при повышении обеспеченности почвы магнием до IV уровня.

Содержание серы в зерне гороха повышалось при увеличении обеспеченности почвы обменным магнием до III уровня, при дальнейшем повышении в почве магния, содержание серы в зерне не изменялось. Так на I уровне обеспеченности почвы обменным магнием концентрация серы в зерне в среднем по вариантам составила 0,125 %, на II уровне – 0,145 %, на III уровне – 0,160 %, на IV уровне – 0,156 %. Соотношение N:S в зерне гороха заметно снижалось при повышении обеспеченности почвы обменным магнием с I до III уровня с 25,4 до 18,8. Повышение содержания обменного магния в почве до IV уровня не сопровождалось дальнейшим снижением соотношения N:S в зерне гороха.

**Растительная диагностика минерального питания гороха серой и магнием.** Об обеспеченности растений серой и магнием в течении вегетационного сезона трудно судить по внешним признакам растений гороха, которые могут существенно изменяться только при остром дефиците этих элементов [16–17]. Почвенную диагностику желательнее дополнить растительной, по содержанию серы и магния в растениях гороха.

Анализ химического состава растений гороха, отобранных в раннюю фазу развития (начало цветения) показал, что содержание элементов минерального питания заметно изменялось в зависимости от обеспеченности почвы обменным магнием и варианта удобрений (табл. 4).

Таблица 4

**Содержание элементов минерального питания в растениях гороха в фазе начало цветения (среднее 2019–2020 гг.)**

Вариант	Уровень содержания обменного Mg в почве			
	I	II	III	IV
K <sub>2</sub> O, %				
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	2,89	2,74	2,69	2,67
Фон + S <sub>36</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	3,01	2,94	2,76	2,66
НСР <sub>05</sub>	0,117			
Ca, %				
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	0,504	0,472	0,404	0,398
Фон + S <sub>36</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	0,529	0,520	0,426	0,404
НСР <sub>05</sub>	0,032			
Mg, %				
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	0,095	0,150	0,192	0,222
Фон + S <sub>36</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	0,111	0,155	0,198	0,188
НСР <sub>05</sub>	0,012			
S, %				
N <sub>30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	0,288	0,550	0,679	0,704
Фон + S <sub>36</sub> + Mg <sub>1,5</sub>	0,448	0,621	0,754	0,752
НСР <sub>05</sub>	0,052			

Проведение некорневых подкормок сульфатом магния на фоне 36 кг/га серы способствовало более эффективному использованию элементов питания из удобрений растениями, концентрация серы в растениях повышалась на всех уровнях обеспеченности почвы обменным магнием. По мере повышения обеспеченности

почвы обменным магнием содержание серы в растениях увеличивалось. На фоне базовой дозы удобрений  $N_{30}P_{60}K_{120}$  повышение обеспеченности почвы обменным магнием с I до IV уровня сопровождалось увеличением концентрации серы в растениях гороха в 2,4 раза, а на варианте внесении серы и проведении некорневой подкормки сульфатом магния (Фон +  $S_{36}$  +  $Mg_{1,5}$ ) – в 1,6 раза (рис. 3).

Содержание магния в растениях повышалось пропорционально увеличению содержания обменного магния в почве. Концентрация магния в растениях гороха при увеличении обеспеченности почвы обменным магнием с I до IV уровня возрастала при внесении полной дозы минеральных удобрений  $N_{30}P_{60}K_{120}$  с 0,288 % до 0,704 % в 2,4 раза. Проведение некорневой подкормки сульфатом магния способствовало небольшому повышению содержания магния в растениях гороха лишь при невысоком уровне содержания магния в почве. Дальнейшего достоверного повышения содержания магния в растениях от проведения некорневых подкормок сульфатом магния отмечено не было, на IV уровне наблюдалось снижение содержания магния в растениях.

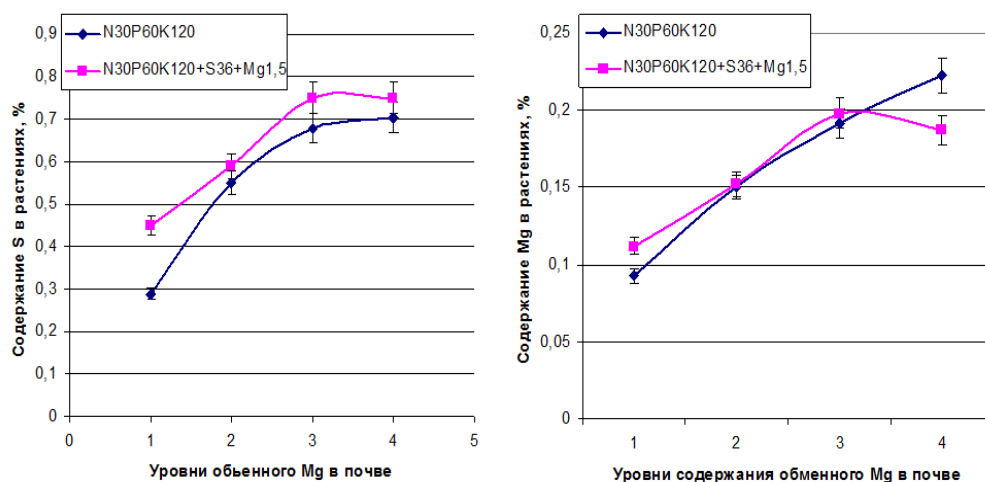


Рис. 3. Содержание серы и магния в растениях гороха (фаза начало цветения) на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы магнием (1 – Mg в почве 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230–240 мг/кг)

Химический анализ зеленой массы гороха показал, что с увеличением обеспеченности почвы обменным магнием с повышением содержания серы и магния в растениях наблюдается одновременное снижение содержания кальция с 0,504 % до 0,398 % в 1,3 раза и калия с 3,01 % до 2,66 % в 1,1 раза в варианте с полной дозой минеральных удобрений  $N_{30}P_{60}K_{120}$  (рис. 4).

Катион  $Mg^{2+}$  является одним из основных катионов, и его доступность напрямую зависит от катионообменной ёмкости почвы и влияния конкурирующих катионов  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ . Однако, следует заметить, что снижение концентрации катионов  $Ca^{2+}$  и  $K^+$  при увеличении содержания обменного магния в почве происходило с меньшей интенсивностью, чем повышение содержания  $Mg^{2+}$ .

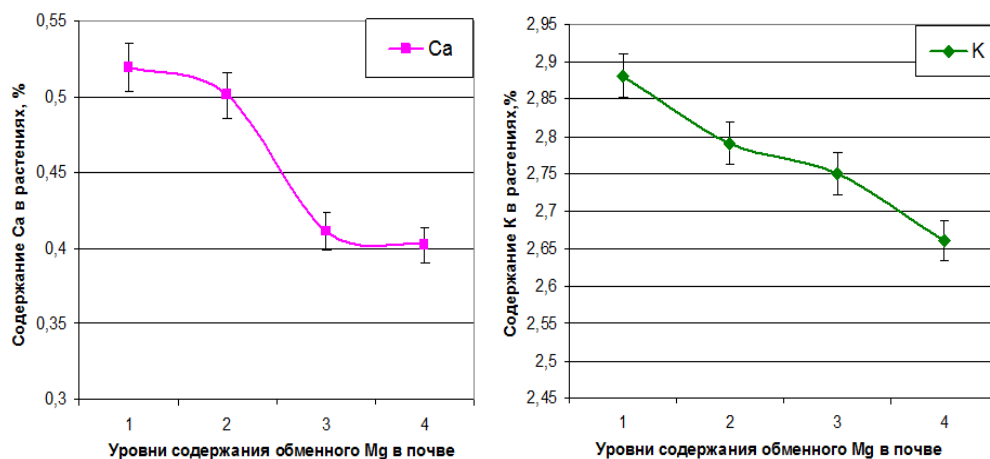


Рис. 4. Содержание Ca и K в растениях гороха (фаза начало цветения) на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы магнием (1 – Mg в почве 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230–240 мг/кг)

За критерий оптимальности для растительной диагностики нами принято содержание Mg в сухой массе растений гороха в фазе начало цветения в вариантах, где получена наибольшая урожайность зерна, поскольку данные опыты проведены в благоприятных условиях, когда остальные агрохимические свойства почв (рН, гумус,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  и др.) находились на относительно оптимальном уровне. Согласно расчетным данным опыта, наибольшей урожайности зерна гороха выше 30 ц/га соответствовало содержание магния в листьях равное 0,15–0,18 %.

Таким образом, оптимальным уровнем содержания магния в растениях гороха для урожайности зерна выше 30 ц/га можно считать 0,15–0,18 % (табл. 5). Содержание магния в растениях 0,11–0,15 % является низким, а ниже <0,11 % – недостаточным, и растения нуждаются в проведении некорневой подкормки сульфатом магния. Высоким является содержание магния выше 0,18 %.

Таблица 5

**Содержание магния в растениях гороха и потребность в подкормке сульфатом магния**

Содержание $Mg^{2+}$ в растениях гороха, %/сухое вещество	Уровень обеспеченности Mg	Доза магния для некорневой подкормки, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , кг Mg/га
<0,11	Очень низкий	1,5
0,11–0,15	Низкий	1,5
0,15–0,18	Оптимальный	–
>0,18	Высокий	–

Для растительной диагностики гороха серой за ориентировочный оптимум нами принято содержание S в растениях гороха в фазу начало цветения в вариантах с внесением полной дозы удобрений  $N_{30}P_{60}K_{120}$ , где получена высокая урожайность зерна при близких к оптимальным агрохимическим свойствам почвы. Таким образом, оптимальным диапазоном содержания S в растениях гороха

для получения высокой урожайности зерна гороха более 30 ц/га является 0,56–0,65 %. Содержание S в растениях гороха 0,31–0,55 % – низкое, менее 0,30 % – недостаточное, более 0,65 % – высокое (табл. 6).

Таблица 6

**Содержание серы в растениях гороха**

Содержание S в растениях гороха, %/сухое вещество	Уровень обеспеченности S
<0,30	Очень низкий
0,31–0,55	Низкий
0,56–0,65	Оптимальный
>0,65	Высокий

Диагностические параметры питания гороха, разработанные на основе полевых опытов, дают полную информацию об обеспеченности растений серой и магнием, позволяют определить поля и участки где имеется необходимость проведения некорневой подкормки сульфатом магния на ранней стадии развития растений (табл. 7).

Таблица 7

**Параметры дерново-подзолистых суглинистых почв для получения высокой урожайности и качества зерна гороха**

Показатель	Параметры показателей
Содержание обменного магния Mg, (MgO) мг/кг почвы	120–140 (или 200–230)
Содержание обменного кальция Ca, мг/кг почвы	950–1100
Содержание подвижных форм калия K <sub>2</sub> O, мг/кг почвы	300–350
Эквивалентное соотношение катионов Ca <sup>2+</sup> : Mg <sup>2+</sup>	4,0–5,0
Эквивалентное соотношение катионов K <sup>+</sup> : Mg <sup>2+</sup>	0,6–0,7
Содержание S в растениях (фаза начало цветения), % на сухую массу	0,56–0,65
Содержание Mg в растениях (фаза начало цветения), % на сухую массу	0,15–0,18
Потребность в некорневой подкормке сульфатом магния, при содержании обменного магния Mg, (MgO) мг/кг почвы	120 и менее (или 200 и менее)

**ВЫВОДЫ**

Установлено повышение урожайности зерна гороха на 14 % при увеличении содержания обменного магния в почве в широком диапазоне, от 45 до 165 мг/кг. Установлен ориентировочный расчетный диапазон содержания обменного магния для формирования урожайности зерна гороха более 30 ц/га на среднекультуренных суглинистых почвах: Mg 120–140 мг/кг, при эквивалентном соотношении в почве Ca<sup>2+</sup>:Mg<sup>2+</sup> в пределах 4–5 и соотношении K<sup>+</sup>:Mg<sup>2+</sup> = 0,6–0,7. Дальнейшее повышение содержания Mg до 240 мг/кг почвы, а также сужение соотношения Ca<sup>2+</sup>:Mg<sup>2+</sup> до ≤ 3, приводит к снижению урожайности зерна до 7 %.

Получены существенные прибавки урожайности зерна гороха 4,0–5,0 ц/га от внесения серы в форме сульфата аммония, а более высокие прибавки зерна 6,8–8,0 ц/га от сочетания некорневых подкормок растений сульфатом магния (Mg 1,5 кг/га) с серосодержащим удобрением сульфатом аммония при низком и среднем содержании обменного магния <120 мг/кг почвы.

Наибольшее содержание белка в зерне гороха и его сбор с единицы площади обеспечивались внесением полной дозы минеральных удобрений в сочетании с внесением серы и проведением некорневой подкормки сульфатом магния при содержании обменного Mg 115–165 мг/кг почвы.

Определены ориентировочные параметры растительной диагностики питания гороха серой и магнием по содержанию этих элементов в молодых растениях гороха в фазу начало цветения, которые будут использованы для подтверждения необходимости некорневой подкормки растений сульфатом магния. Установлено повышение содержания магния и серы и снижение содержания кальция и калия в растениях гороха по мере повышения концентрации обменного магния в почве, а также после проведения некорневых подкормок сульфатом магния.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристархов, А. Н.* Агрохимия серы / А. Н. Аристархов. – М.: ВНИИА, 2007. – 272 с.
2. *Маслова, И. Я.* Оптимизация питания яровой пшеницы серой / И. Я. Маслова // Земледелие. – 2010. – № 1. – С. 16–17.
3. *Аристархов, А. Н.* Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения / А. Н. Аристархов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2016. – № 5. – С. 39–47.
4. *Пироговская, Г. В.* Поступление, потери элементов питания в системе «атмосферные осадки–почва–удобрение–растение» / Г. В. Пироговская. – Минск: Беларус. навука, 2018. – 227 с.
5. *Магницкий, К. П.* Диагностика потребности в удобрениях / К. П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1972. – 271 с.
6. *Кулаковская, Т. Н.* Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск, 1978. – С. 227–232.
7. *Прокошев, В. В.* Магниево-удобрения в интенсивном земледелии. Обзорная информация / В. В. Прокошев [и др.]. – ВНИИТЭИагропром, 1987. – 51 с.
8. *Клебанович, Н. В.* Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Василюк. – Минск: БГУ, 2003. – 322 с.
9. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2013–2016 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 275 с.
10. Диагностика магниевого питания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах / И. М. Богдевич [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2016. – № 2. – С. 34–42.
11. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический сборник / Нац. стат. ком. РБ. – 2020. – 178 с.
12. Зернобобовые культуры / Д. Шпаар [и др.] – Минск: ФУ Аинформ, 2000. – 264 с.



13. *Кукреш, Л. В.* Оценка белка зернобобовых культур по аминокислотному составу / Л. В. Кукреш, И. В. Рышкель // Земляробства і ахова раслін. – 2008. – № 1. – С. 21–24.

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

15. Рекомендации по применению серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры / Г. В. Пироговская [и др.]; НАН Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 64 с.

16. *Церлинг, В. В.* Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур / В. В. Церлинг. – М.: Наука, 1978. – 215 с.

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

## **YIELD AND QUALITY OF PEA'S GRAIN IN RELATION TO THE MINERAL NUTRITION BY MAGNESIUM AND SULFUR ON PODZOLUVISOL LOAMY SOILS**

**I. M. Bogdevitch, I. S. Stanilevich, Yu. V. Putyatin,  
V. A. Dovnar, Ye. S. Tretiakov**

### **Summary**

In a stationary field experiment four levels of exchangeable magnesium content were prepared, reflecting the differences in arable soils of Belarus (Mg 45–240 mg/kg of soil). The optimal range of exchangeable Mg 120–140 mg/kg of soil was found for the formation of a high yield of peas with good grain quality. The equivalent ratio of cations in the soil should be  $Ca^{2+}:Mg^{2+} = 4-5$  and  $K^+:Mg^{2+} = 0,6-0,7$ . It was found the positive yield response to sulfur applied to soil and to foliar application of magnesium sulphate solution, that verified the deficit of S and Mg nutrition for pea plants at the range of exchangeable Mg content  $<120$  mg/kg of soil. The parameters of soil and plant diagnostics of pea nutrition with sulfur and magnesium have been developed.

*Поступила 12.05.21*

## **АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МИКРОУДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУКУРУЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ ВЫСОКОКУЛЬТУРЕННОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

**М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, Н. С. Гузова, Л. Н. Гук,  
В. А. Муковозчик, Ю. А. Артюх**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Оптимизация процесса питания микроэлементными соединениями сопровождается повышением их содержания в основной и побочной продукции, усиленным поступлением в растения азота удобрений и почв, снижением содержания нитратов в продукции, и в целом ростом урожайности культур при сохранении и увеличении хозяйственно важных веществ в них (белков, сахаров, витаминов и т. д.) [1, 2]. При адекватном подборе форм и концентраций хелаты микроэлементов являются более эффективными средствами регуляции продукционного процесса сельскохозяйственных культур, особенно при применении их наиболее экономичным способом – при проведении некорневых подкормок в период вегетации [3, 4]. При этом должное место занимают односторонние микроудобрения в водорастворимой форме в виде органических соединений. Эффективное применение микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур возможно лишь с учетом содержания соответствующих микроэлементов в почвах. Особенно это актуально для высоко окультуренных почв, которые отличаются оптимальной кислотностью, высоким содержанием гумуса, фосфора и калия. На таких почвах потребность растений в микроэлементах и роль сбалансированности минерального питания возрастает при интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Например, применение меди и бора улучшает поступление в растения азота. Цинк изменяет проницаемость мембран для калия и магния.

Цель исследований заключалась в определении влияния некорневых подкормок жидкими микроудобрениями МикроСтим на урожайность и качество кукурузы, возделываемой на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве в производственных условиях.

### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Производственный опыт с кукурузой Катарзис NEW (ФАО 210) проводился в ОАО «Городея» Несвижского района Минской области на дерново-подзолистой высоко окультуренной легкосуглинистой почве. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы производственного участка:  $pH_{KCl}$  6,07, гумус – 2,69 %,

$P_2O_5$  – 400 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 501, В – 0,66, Cu – 3,95, Zn – 5,51, Mn – 3,3 мг/кг почвы.

Схема производственного опыта с кукурузой включала варианты с цинковыми, борными и медными удобрениями на фоне внесения азотных, фосфорных и калийных удобрений:

- фон 1 – дробное внесение азотных удобрений в дозе  $N_{150(104+46)}$ ;
- фон 2 – внесение азотных удобрений в дозе  $N_{150(104+46)}$ , фосфорных –  $P_{35}$  и калийных –  $K_{70}$ .

Микроэлементы вносились в виде некорневой подкормки в форме жидких микроудобрений: МикроСтим-Цинк, МикроСтим-Бор, МикроСтим-Цинк,Бор и МикроСтим-Цинк,Медь в дозах 0,1 кг/га д.в. Некорневая подкормка кукурузы микроудобрениями МикроСтим проведена в фазе 6–8 листьев.

Площадь производственного опыта 100 га. Предшественник кукурузы – озимая пшеница. Норма высева кукурузы – 1 п.ед./га. Исследования с кукурузой проводили на двух фонах внесения минеральных удобрений в дозах  $N_{150(104+46)}$  и  $N_{150(104+46)}P_{35}K_{70}$ . Минеральные удобрения в виде суперфосфата аммонизированного и хлористого калия внесены в основное внесение под предпосевную культивацию. Азотное удобрение карбамид в дозе  $N_{104}$  внесено под предпосевную культивацию и  $N_{46}$  в подкормку кукурузы в фазе 4–6 листа (ДК 14–16). На посевах кукурузы применяли смесь гербицидов Дублон Супер (1,5 кг/га) и Эгида (0,3 л/га).

Рабочий раствор готовился непосредственно перед проведением некорневой подкормки растений путем разведения концентрата микроудобрения водой. Расход рабочего раствора 200 л/га. Закладка и проведение производственных опытов проводилась в соответствии с методикой полевых опытов. Статистическая обработка полученных результатов выполнена методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [5] с использованием соответствующих программ компьютера. Анализ почвенных и растительных образцов проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Экономическая эффективность применения микроудобрений рассчитывалась по методике, разработанной Институтом почвоведения и агрохимии [6].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При возделывании кукурузы на дерново-подзолистой высоко окультуренной легкосуглинистой почве в производственных условиях на фоне внесения только азотных удобрений в дозе  $N_{150}$  урожайность зеленой массы составила 406 ц/га, зерна – 82,7 ц/га. Применение минеральных удобрений под кукурузу в дозе  $N_{150}P_{35}K_{70}$  обеспечивало урожайность зеленой массы 414 ц/га, зерна – 90,7 ц/га (табл. 1). Внесение микроудобрений МикроСтим-Цинк,Бор и МикроСтим-Цинк,Медь в некорневую подкормку кукурузы на фоне азотных удобрений ( $N_{150}$ ) повышало урожайность зеленой массы на 48 и 44 ц/га соответственно. Применение этих микроудобрений на фоне внесения минеральных удобрений ( $N_{150}P_{35}K_{75}$ ) увеличивало урожайность зеленой массы на 52 и 50 ц/га соответственно.

При возделывании кукурузы в производственных условиях применение микроудобрений МикроСтим способствует повышению урожайности. При внесении

азотных удобрений в подкормку кукурузы в дозе  $N_{150}$  (фон 1) урожайность зеленой массы составила 406 ц/га, зерна – 82,7 ц/га (табл. 1). Применение минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{35}K_{70}$  (фон 2) обеспечило урожай зеленой массы 414 ц/га, зерна – 90,7 ц/га. Некорневая подкормка в фазе 6-8 листьев кукурузы различными марками микроудобрений МикроСтим способствовала повышению продуктивности зеленой массы и зерна соответственно до 436–454 и 89,4–92,2 ц/га (фон 1) и до 457–466 и 97,2–101,3 ц/га (фон 2). Более высокие прибавки урожая зеленой массы и зерна кукурузы отмечаются при внесении двухкомпонентных микроудобрений МикроСтим, содержащих цинк, медь или цинк, бор. Так, на фоне внесения азотных удобрений наибольшие прибавки зеленой массы и зерна получены от МикроСтим-Цинк,Бор (48 и 8,6 ц/га) и МикроСтим-Цинк,Медь (44 и 9,5 ц/га), на фоне минеральных удобрений  $N_{150}P_{35}K_{70}$  – 52 и 9,3 ц/га и 50 и 10,6 ц/га соответственно. Применение других однокомпонентных марок микроудобрений на фоне 1 способствовало получению прибавок урожая зеленой массы только 30–32 ц/га и зерна – 6,7–7,2 ц/га, на фоне 2 – 43–46 ц/га и 7,2–7,9 ц/га соответственно.

Таблица 1

**Влияние некорневой подкормки микроудобрениями МикроСтим на урожайность кукурузы, ц/га**

Вариант опыта	Зеленая масса		Зерно	
	урожайность	прибавка к фону	урожайность	прибавка к фону
1. $N_{150}$ – фон 1	406	–	82,7	–
2. Фон 1 + МикроСтим-Цинк	436	30	89,4	6,7
3. Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Бор	454	48	91,3	8,6
4. Фон 1 + МикроСтим-Бор	438	32	89,9	7,2
5. Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Медь	450	44	92,2	9,5
6. $N_{150}P_{35}K_{70}$ – фон 2	414	–	90,7	–
7. Фон 2 + МикроСтим-Цинк	460	46	97,9	7,2
8. Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Бор	466	52	100,0	9,3
9. Фон 2 + МикроСтим-Бор	457	43	98,6	7,9
10. Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Медь	464	50	101,3	10,6
$HCP_{05}$	29,4		5,7	

Проведенные исследования показали, что применение жидких микроудобрений МикроСтим на посевах кукурузы способствует повышению содержания сырого белка в зеленой массе на двух фонах минерального питания (табл. 2). Некорневая подкормка кукурузы исследуемыми микроудобрениями обеспечивала более высокое содержание сырого белка на фоне с внесением только азотных удобрений в дозе  $N_{150}$ . При этом наибольшее повышение содержание сырого белка отмечается на варианте с внесением микроудобрения МикроСтим-Цинк (на 2,1 %). Содержание нитратов в зеленой массе кукурузы по всем вариантам опыта на двух уровнях минерального питания не превышало предельно допустимую концентрацию 500 мг/кг. При возделывании кукурузы на зерно на двух фонах минерального питания применение микроудобрений МикроСтим в некорневую подкормку увеличивало содержание сырого белка на 0,6–1,6 % и выход сырого

белка на 1,1–1,8 ц/га в сравнении с фоновым вариантом. Следует отметить, что внесение микроудобрений не оказало существенного влияния на содержание крахмала и жира в зерне.

Таблица 2

**Влияние некорневой подкормки микроудобрениями МикроСтим на качество зеленой массы и зерна кукурузы**

Вариант опыта	Зеленая масса			Зерно			
	содержание		выход сырого белка, ц/га	содержание			выход сырого белка, ц/га
	нитраты, мг/кг	сырой белок, %		крахмал	жир	сырой белок, %	
				% сухой массы			
1. N <sub>150</sub> – фон 1	291	9,7	11,8	71,8	5,5	9,0	6,4
2. Фон 1 + МикроСтим-Цинк	476	11,8	15,4	73,1	5,5	10,1	7,7
3. Фон 1 + МикроСтим-Цинк, Бор	416	10,1	13,8	71,4	5,8	10,1	7,9
4. Фон 1 + МикроСтим-Бор	229	10,3	13,5	71,5	6,2	10,1	7,8
5. Фон 1 + МикроСтим-Цинк, Медь	291	10,5	14,2	72,6	5,9	9,6	7,6
6. N <sub>150</sub> P <sub>35</sub> K <sub>70</sub> – фон 2	425	8,1	10,1	70,1	5,0	6,8	5,3
7. Фон 2 + МикроСтим-Цинк	251	9,3	12,8	69,9	5,2	7,6	6,4
8. Фон 2 + МикроСтим-Цинк, Бор	431	8,7	12,1	69,7	4,9	7,9	6,8
9. Фон 2 + МикроСтим-Бор	441	9,2	12,6	70,0	4,9	8,4	7,1
10. Фон 2 + МикроСтим-Цинк, Медь	461	8,4	11,7	69,4	4,8	8,1	7,0

Внесение в некорневую подкормку кукурузы медных, цинковых и борных удобрений на фоне азотного питания N<sub>150(104+46)</sub> (фон 1) и минеральных удобрений N<sub>150</sub>P<sub>35</sub>K<sub>70</sub> (фон 2) способствовало повышению содержания цинка и меди в зеленой массе и зерне, но их концентрация не достигала нижней границы допустимого содержания их в кормах (табл. 3). В сравнении с фоновым вариантом содержание цинка в зеленой массе было выше на 0,7–3,2 мг/кг, зерне – на 3,8–4,8 мг/кг, меди – на 1,7–2,2 мг/кг и на 1,3 мг/кг сухой массы соответственно. Данные по содержанию цинка в зеленой массе и зерне показывают, что наибольшее его количество отмечено на фоне 1. Содержание меди в зеленой массе было выше на фоне азотного питания. При внесении жидких микроудобрений МикроСтим в некорневую подкормку кукурузы отмечается тенденция повышения содержания макроэлементов в урожае по сравнению с фоновым вариантом.

Таблица 3

**Влияние некорневой подкормки микроудобрениями МикроСтим на содержание макро- и микроэлементов в урожае кукурузы**

Вариант опыта	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn
	% сухой массы			мг/кг сухой массы	
Зеленая масса					
1. N <sub>150</sub> – фон 1	1,55	0,98	1,42	3,1	8,8
2. Фон 1 + МикроСтим-Цинк	1,89	1,03	2,04	–	9,9
3. Фон 1 + МикроСтим-Цинк, Бор	1,61	1,10	2,04	–	9,5

Вариант опыта	N <sub>общ</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn
	% сухой массы			мг/кг сухой массы	
4. Фон 1 + МикроСтим-Бор	1,64	1,07	1,57	–	–
5. Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Медь	1,68	0,94	1,70	5,3	12,0
6. N <sub>150</sub> P <sub>35</sub> K <sub>70</sub> – фон 2	1,29	0,61	1,72	2,2	8,2
7. Фон 2 + МикроСтим-Цинк	1,49	0,62	1,74	–	9,4
8. Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Бор	1,39	0,86	1,98	–	9,3
9. Фон 2 + МикроСтим-Бор	1,47	0,96	1,57	–	–
10. Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Медь	1,35	0,74	1,73	3,9	10,6
Зерно					
1. N <sub>150</sub> – фон 1	1,44	0,78	0,36	1,2	10,0
2. Фон 1 + МикроСтим-Цинк	1,61	1,06	0,59	–	14,8
3. Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Бор	1,61	1,09	0,60	–	9,8
4. Фон 1 + МикроСтим-Бор	1,61	0,91	0,46	–	–
5. Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Медь	1,54	0,92	0,48	1,3	14,3
6. N <sub>150</sub> P <sub>35</sub> K <sub>70</sub> – фон 2	1,09	0,95	0,35	1,1	7,1
7. Фон 2 + МикроСтим-Цинк	1,22	1,00	0,53	–	9,6
8. Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Бор	1,26	0,94	0,52	–	9,2
9. Фон 2 + МикроСтим-Бор	1,34	0,99	0,48	–	–
10. Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Медь	1,29	0,99	0,50	2,4	10,9

При возделывании кукурузы в производственном опыте некорневая подкормка микроудобрениями МикроСтим была экономически оправданным приемом на двух фонах минерального питания (табл. 4). Так, на фоне азотных удобрений N<sub>150</sub> более эффективно было применение в некорневую подкормку кукурузы на зеленую массу микроудобрения МикроСтим-Цинк,Бор, где получен чистый доход 43,8 USD/га при рентабельности 103 %, МикроСтим-Цинк,Медь – 38,4 USD/га и 94 % и МикроСтим-Цинк – 23,8 USD/га и 79 % соответственно. На фоне минеральных удобрений N<sub>150</sub>P<sub>35</sub>K<sub>70</sub> наибольший чистый доход обеспечивали: МикроСтим-Цинк,Бор – 48,4 USD/га при рентабельности 107 %, МикроСтим-Цинк – 42,5 USD/га и 10106 % и МикроСтим-Цинк,Медь – 45,4 USD/га и 102 % соответственно. При возделывании кукурузы на зерно эффективность этих микроудобрений была выше. На фоне внесения азотных удобрений в дозе N<sub>150</sub> некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим-Цинк,Медь обеспечила чистый доход 69,6 USD/га при рентабельности 158 %, МикроСтим-Цинк,Бор – 62,4 USD/га и 153 %, МикроСтим-Цинк – 47,0 USD/га и 141 % соответственно. На фоне внесения минеральных удобрений в дозе N<sub>150</sub>P<sub>35</sub>K<sub>70</sub> наибольший чистый доход обеспечивало применение в некорневую подкормку МикроСтим-Цинк,Бор – 68,5 USD/га (рентабельность 159 %), МикроСтим-Цинк – 51,3 USD/га (146 %) и МикроСтим-Цинк,Медь – 79,1 USD/га (164 %). Следует отметить, что более высокая экономическая эффективность получена при внесении в некорневую подкормку кукурузы микроудобрения МикроСтим-Бор на двух фонах минерального питания, чистый доход составил 59,1–81,8 USD/га (зеленая масса) и 74,9–82,9 USD/га (зерно) при рентабельности 216–238 % и 242–249 % соответственно.

Таблица 4

**Экономическая эффективность применения в некорневую подкормку  
микроудобрений МикроСтим при возделывании кукурузы  
в производственном опыте**

Вариант опыта	Прибавка урожая, ц/га	Стои- мость прибавки	Общие затраты*	Условно чистый доход	Рента- бель- ность, %
Зеленая масса					
1. N <sub>150</sub> – фон 1	–	–	–	–	–
2. Фон 1 + МикроСтим-Цинк	30	54,0	30,2	23,8	79
3. Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Бор	48	86,4	42,6	43,8	103
4. Фон 1 + МикроСтим-Бор	32	57,6	27,3	30,3	111
5. Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Медь	44	79,2	40,8	38,4	94
6. N <sub>150</sub> P <sub>35</sub> K <sub>70</sub> – фон 2	–	–	–	–	–
7. Фон 2 + МикроСтим-Цинк	46	82,8	40,3	42,5	106
8. Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Бор	52	93,6	45,2	48,4	107
9. Фон 2 + МикроСтим-Бор	43	77,4	34,3	43,1	126
10. Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Медь	50	90,0	44,6	45,4	102
Зерно					
1. N <sub>150</sub> – фон 1	–	–	–	–	–
2. Фон 1 + МикроСтим-Цинк	6,7	80,4	33,4	47,0	141
3. Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Бор	8,6	103,2	40,8	62,4	153
4. Фон 1 + МикроСтим-Бор	7,2	86,4	30,9	55,5	180
5. Фон 1 + МикроСтим-Цинк,Медь	9,5	114,0	44,4	69,6	158
6. N <sub>150</sub> P <sub>35</sub> K <sub>70</sub> – фон 2	–	–	–	–	–
7. Фон 2 + МикроСтим-Цинк	7,2	86,4	35,1	51,3	146
8. Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Бор	9,3	111,6	43,1	68,5	159
9. Фон 2 + МикроСтим-Бор	7,9	94,8	33,2	61,6	185
10. Фон 2 + МикроСтим-Цинк,Медь	10,6	127,2	48,1	79,1	164

\* **Общие затраты:** стоимость микроудобрений; затраты на внесение микроудобрений; затраты на уборку, доработку и реализацию прибавки урожая, полученного за счет применения микроудобрений.

## ВЫВОДЫ

На дерново-подзолистой высоко окультуренной легкосуглинистой почве некорневая подкормка кукурузы в фазе 6–8 листьев микроудобрениями МикроСтим-Цинк,Бор и МикроСтим-Цинк,Медь на фоне азотных удобрений (N<sub>150</sub>) повышает урожайность зеленой массы на 48 и 44 ц/га, зерна – на 8,6 и 9,5 ц/га при рентабельности 103 и 94 %, 153 и 158 % соответственно. На фоне минеральных удобрений (N<sub>150</sub>P<sub>35</sub>K<sub>70</sub>) внесение микроудобрений МикроСтим-Цинк,Бор и МикроСтим-Цинк,Медь в некорневую подкормку кукурузы увеличивает урожайность зеленой массы на 52 и 50 ц/га, зерна – на 9,3 и 10,6 ц/га при рентабельности 107 и 102 %, 159 и 164 % соответственно.

Некорневая подкормка кукурузы микроудобрениями МикроСтим способствовала повышению содержания цинка и меди в зеленой массе и зерне, но их концентрация не достигала нижней границы оптимального содержания в кормах. В сравнении с фоновым вариантом содержание цинка в зеленой массе было выше на 3,2–4,8 мг/кг, меди – на 1,7–2,2 мг/кг сухой массы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Школьник, М. Я. Микроэлементы в жизни растений / М. Я. Школьник. – М.: Наука, 1974. – 324 с.
2. Сычев, В. Г. Цинк в агроэкосистемах России. Миниторинг и эффективность применения / В. Г. Сычев, А. Н. Аристархов, Т. А. Яковлева. – М.: ВНИИА, 2015. – 204 с.
3. Душкин, А. Н. Комплексоны микроэлементов и регуляторы роста в интенсивных технологиях / А. Н. Душкин, Н. С. Беспалова // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 6. – С. 68–71.
4. Интенсификация продукционного процесса растений. Приемы управления / В. Г. Сычев [и др.]. – М.: ВНИИА, 2009. – 520 с.
5. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
6. 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.

## AGROECONOMIC EFFICIENCY OF MICROFERTILIZERS IN CULTIVATION OF CORN UNDER PRODUCTION CONDITIONS ON SODDY-PODZOLY HIGHLY CULTURED LIGHT-LAY SOIL

M. V. Rak, E. N. Pukalova, N. S. Guzova, L. N. Guk,  
V. A. Mukovozchik, Yu. A. Artyukh

### Summary

The article presents the results of studies on the effectiveness of the use of liquid micro-fertilizers MicroStim in the cultivation of corn under production conditions on sod-podzolic highly cultivated light loamy soil. It has been established that foliar feeding of corn with MicroStim micronutrient fertilizers in the phase of 6–8 leaves increases the yield of green mass by 48–52 c/he, grain – by 9,5–10,6 c/he, zinc content by 3,2–4,8 mg/he kg, copper – by 1,7–2,2 mg/kg dry weight.

*Поступила 12.05.21*



## АГРОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД МНОГОЛЕТНИЕ ЗЛАКОВЫЕ ТРАВЫ НА ТОРФЯНИСТО- ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ

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

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

<sup>2</sup>*Институт радиобиологии,  
г. Гомель, Беларусь*

<sup>3</sup>*Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка,  
г. Минск, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Беларуси 690,0 тыс. га осушенных торфяных почв используются в качестве сельскохозяйственных земель, из них 201,7 тыс. га (29 %) с мощностью торфяного слоя менее 0,5 м (торфянисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы) [1].

Торфяные почвы с мощностью торфяной залежи менее 1 м рекомендуется использовать под бобово-злаковыми и злаковыми травами длительного пользования [2]. Предпочтение отдается злаковым травам, которые длительный период сохраняются в травостое, не требуют частого перезалужения и наиболее полно используют минерализующийся азот [3].

Главным фактором, определяющим уровень продуктивности многолетних трав при благоприятном водном режиме, являются условия минерального питания. Вынос элементов питания с 1 т сена многолетних злаковых трав составляет: азот – 14,9 кг, фосфор – 4,5 кг, калий – 24,1 кг [4].

Важная задача в области использования минеральных удобрений – повышение эффективности их применения, в частности обеспечение окупаемости 1 кг НРК не менее 8 кг зерна, а всеми культурами на пашне – 10–12 к. ед. В республике среднее значение норматива окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая многолетних злаковых трав составляет 16,3 кг сена [4].

Цель настоящей работы – провести оценку агрономической и экономической эффективности применения разных доз минеральных удобрений под многолетние злаковые травы на торфянисто-глеевой почве.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 2016–2019 гг. в стационарных полевых опытах на территории землепользования СПК «Новое Полесье» Лунинецкого района Брестской области. Объектом исследования являлась торфянисто-глеевая низинная осушенная, развивающаяся на ростниково-осоковых торфах, подстилаемых с

глубины 0,26 м связными древнеаллювиальными песками, почва. Агрохимические показатели пахотного (0–25 см) слоя почвы следующие (средние значения): органическое вещество – 64,0 %,  $N_{\text{общ}}$  – 1,73 %,  $pH_{\text{KCl}}$  – 5,37; подвижные формы (в 0,2 М HCl)  $P_2O_5$  – 875 и  $K_2O$  – 805 мг/кг почвы.

Возделывали многолетнюю среднеспелую злаковую травосмесь, включающую тимофеевку луговую 2 кг/га, овсяницу луговую 5 кг/га, кострец безостый 6 кг/га. Схема опыта, дозы и сроки применения минеральных удобрений приведена в таблице 1.

Таблица 1

## Схема применения минеральных удобрений в опыте

Вариант опыта	Дозы удобрений под 1-й укос, кг/га д.в.			Дозы удобрений под 2-й укос, кг/га д.в.		
	N	P	K	N	P	K
1. Контроль (без удобрений)	–	–	–	–	–	–
2. $P_{90}K_{120}$	–	90	90	–	–	30
3. $P_{90}K_{150}$	–	90	90	–	–	60
4. $P_{90}K_{180}$	–	90	120	–	–	60
5. $N_{100}P_{90}K_{150}$	60	90	90	40	–	60
6. $N_{120}P_{90}K_{150}$	80	90	90	40	–	60
7. $N_{140}P_{90}K_{150}$	80	90	90	60	–	60
8. $N_{100}P_{90}K_{180}$	60	90	120	40	–	60
9. $N_{120}P_{90}K_{180}$	80	90	120	40	–	60
10. $N_{140}P_{90}K_{180}$	80	90	120	60	–	60
11. $N_{120}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$	80	90	90	40	–	60
12. $N_{140}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$	80	90	90	60	–	60

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

Агрохимические показатели почв определяли по методикам: органическое вещество – по Тюрину в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26212–91 [6];  $pH_{\text{KCl}}$  – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85 [7]; подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207–91 [8]; общий азот – по ГОСТ 26107–84 [9]. Полученные данные обрабатывали методами корреляционно-регрессионного и дисперсионного анализа [10] с использованием компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0, Statistic 7.0*).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За период исследований (2016–2019 гг.) метеорологические условия вегетационных периодов (апрель–август) существенно различались. По степени увлажнения 2016 г. характеризовался слабо засушливыми условиями с ГТК 1,28, 2017 год был влажным (ГТК – 2,24), 2018 г. – засушливым (ГТК – 0,97) и 2019 г. отличался оптимальными гидротермическими условиями (ГТК – 1,30).

В среднем за 4 года исследований продуктивность многолетних трав составила на контрольном варианте 48,6 ц/га сена, или 24,8 ц/га к. ед. В результате

применения фосфорных и калийных удобрений продуктивность возросла до 58,3–67,9 ц/га сена, или 29,7–34,6 ц/га к. ед. При внесении P<sub>90</sub>K<sub>120</sub> (K<sub>90</sub> – под первый укос и K<sub>30</sub> – под второй укос) в среднем за 4 года получена урожайность 58,3 ц/га сена, прибавка к контролю 9,7 ц/га, или 4,9 ц/га к. ед. При увеличении дозы калия до 150 кг/га (в вторую подкормку 60 кг/га) урожайность возросла до 62,5 ц/га, прибавка 13,6 ц/га сена, или 7,1 ц/га к. ед. Повышение дозы калийного удобрения до 180 кг/га (K<sub>120</sub> – под первый укос и K<sub>30</sub> – под второй укос) способствовало росту урожайности – прибавка к контролю составила 19,3 ц/га сена (9,8 ц/га к. ед.) и к варианту P<sub>90</sub>K<sub>150</sub> – 5,4 ц/га сена (табл. 2).

Таблица 2

**Продуктивность многолетних злаковых трав и окупаемость минеральных удобрений при внесении их в разных дозах**

Вариант опыта	Урожайность в среднем за 4 года, ц/га	Прибавка, ц/га		Окупаемость удобрений прибавкой, кг		
		к контролю	к РК	РК	N	НРК
Сено						
1. Контроль	48,6	–	–	–	–	–
2. P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	58,3	9,7	–	4,6	–	–
3. P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	62,5	13,9	–	5,8	–	–
4. P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	67,9	19,3	–	7,1	–	–
5. N <sub>100</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	92,9	44,3	30,4	–	30,4	13,0
6. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	103,1	54,5	40,6	–	<b>33,8</b>	15,1
7. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	105,9	57,3	43,4	–	31,0	15,1
8. N <sub>100</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	97,0	48,4	29,1	–	29,1	13,1
9. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	107,6	59,0	39,7	–	33,1	15,1
10. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	110,7	62,1	42,8	–	30,6	15,1
11. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> + Cu <sub>80</sub>	114,5	65,9	–	–	–	<b>18,3</b>
12. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> + Cu <sub>80</sub>	116,0	67,4	–	–	–	17,7
HCP <sub>0,5</sub>	4,72	–	–	–	–	–
Кормовые единицы						
1. Контроль	24,8	–	–	–	–	–
2. P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	29,7	4,9	–	2,3	–	–
3. P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	31,9	7,1	–	3,0	–	–
4. P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	34,6	9,8	–	3,6	–	–
5. N <sub>100</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	47,4	22,6	15,5	–	15,5	6,6
6. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	52,6	27,8	20,7	–	<b>17,3</b>	7,7
7. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	54,0	29,2	22,1	–	15,8	7,7
8. N <sub>100</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	49,5	24,7	14,9	–	14,9	6,7
9. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	54,9	30,1	20,3	–	16,9	7,7
10. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	56,5	31,7	21,9	–	15,6	7,7
11. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> + Cu <sub>80</sub>	58,4	33,6	–	–	–	<b>9,3</b>
12. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> + Cu <sub>80</sub>	59,2	34,4	–	–	–	9,0
HCP <sub>0,5</sub>	2,41	–	–	–	–	–

Азотные удобрения применяли под первый и второй укосы трав в общих дозах 100, 120 и 140 кг/га действующего вещества на двух фосфорно-калийных фонах –  $P_{90}K_{150}$  и  $P_{90}K_{180}$ . В среднем за 4 года исследований в вариантах с применением азотных удобрений в дозе  $N_{100}$  ( $N_{60}$  – под первый укос и  $N_{40}$  – под второй укос) продуктивность многолетних трав составила на фоне  $P_{90}K_{150}$  92,9 ц/га сена (47,4 ц/га к. ед.) и на фоне  $P_{90}K_{180}$  – 97,0 ц/га сена (49,5 ц/га к. ед.). Прибавки урожайности составили соответственно к контролю 44,3 и 48,4 ц/га сена, или 23,9 и 25,7 ц/га к. ед., к фосфорно-калийным фонам – 30,4 и 29,1 ц/га сена. Внесение под два укоса трав общей дозы азотных удобрений 120 кг/га ( $N_{80}$  – под первый укос и  $N_{40}$  – под второй укос) обеспечило достоверное повышение урожайности по отношению к фосфорно-калийным фонам. Прибавки сена составили соответственно 40,6 и 39,7 ц/га, которые были существенными и к варианту  $N_{100}$ . Увеличение дозы азота до  $N_{140}$  ( $N_{80}$  – под первый укос и  $N_{60}$  – под второй укос) не способствовало достоверному увеличению урожайности сена по отношению к варианту  $N_{120}$  как на фоне  $P_{90}K_{150}$ , так и на фоне  $P_{90}K_{180}$ .

В двух вариантах с минеральными удобрениями –  $N_{120}P_{90}K_{150}$  и  $N_{140}P_{90}K_{150}$  применяли также медьсодержащие удобрения в дозе 80 г/га меди ( $Cu_{80}$ ). Некорневая подкормка многолетних злаковых трав в начале их весеннего отрастания (начало фазы выхода в трубку) медным удобрением обеспечила достоверные прибавки сена, которые составили по отношению к варианту  $N_{120}P_{90}K_{150}$  11,4 ц/га, к варианту  $N_{140}P_{90}K_{150}$  – 10,1 ц/га. Максимальная продуктивность многолетних злаковых трав в среднем за 4 года исследований получена в варианте  $N_{140}P_{90}K_{150} + Cu_{80}$ , которая составила 116,0 ц/га сена, или 59,2 ц/га к. ед.

По результатам полевого опыта на торфянисто-глеевой почве проведена оценка окупаемости минеральных удобрений прибавкой сена многолетних злаковых трав. При высоком содержании в почве  $P_2O_5$  (875 мг/кг почвы) и повышенном содержании  $K_2O$  (805 мг/кг почвы) окупаемость 1 кг фосфорных и калийных удобрений, внесенных за два укоса трав в дозах  $P_{90}K_{120}$  и  $P_{90}K_{150}$ , составила 4,6 и 5,8 кг сена соответственно. При увеличении дозы калийных удобрений до 180 кг/га (вариант 4) этот показатель возрос до 7,1 кг сена, или 3,8 к. ед.

Наиболее высокая оплата прибавкой урожая азотных удобрений получена в вариантах, где вносили их в дозах 120 кг/га. На фоне  $P_{90}K_{150}$  она составила 33,8 кг сена, или 17,3 к. ед., на фоне  $P_{90}K_{180}$  – 33,1 кг сена, или 16,9 к. ед.

Максимальная окупаемость минеральных удобрений (NPK) прибавкой растениеводческой продукции получена в варианте  $N_{120}P_{90}K_{150}$  с совместным применением медных удобрений, составившая 18,3 кг сена, или 9,3 к. ед.

Основным принципом оценки экономической эффективности удобрений является сопоставление показателей прироста урожая с дополнительными затратами на его получение. Исходя из этого, на основе данных стоимости прибавки урожая, действующих закупочных цен на продукцию, производственных затрат на возделывание многолетних злаковых трав проведены расчеты экономической эффективности применения минеральных удобрений под злаковые травы [95].

При возделывании многолетних злаковых трав производственные затраты, включающие стоимость удобрений и затраты на их внесение, затраты на уборку, транспортировку и доработку дополнительной продукции (сена 2-х укосов трав), колебались по вариантам опыта в зависимости от доз применения минеральных

удобрений от 220,86 до 584,51 рублей на 1 га (от 90,88 до 240,54 долл. США). Затраты на приобретение и внесение минеральных удобрений изменялись в зависимости от их доз от 195,07 до 409,50 руб./га (от 80,27 до 168,52 долл. США/га) (табл. 3).

Таблица 3

**Затраты на приобретение и внесение удобрений, уборку и доработку дополнительной продукции (сена), в среднем за 4 года исследований**

Вариант опыта	Общие затраты, рублей на 1 га	В том числе, рублей на 1 га	
		затраты на приобретение и внесение удобрений	затраты на уборку и доработку дополнительной продукции
1. P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	220,86	195,07	25,79
2. P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	238,43	201,41	37,02
3. P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	259,41	207,75	51,66
4. N <sub>100</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	444,03	325,55	118,48
5. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	495,91	350,37	145,54
6. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	528,43	375,20	153,23
7. N <sub>100</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	461,26	331,89	129,37
8. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	514,28	356,71	157,57
9. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	547,40	381,54	165,86
10. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> + Cu <sub>80</sub>	548,86	384,67	164,19
11. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> + Cu <sub>80</sub>	584,51	409,50	175,01

*Примечание.* Среднегодовой курс доллара США по данным Национального банка РБ за 2020-й год составлял 2,43 рубля.

Выполненные расчеты показали, что экономическая эффективность минеральных удобрений на многолетних злаковых травах существенно зависит от их доз. Внесение только фосфорных и калийных удобрений было неэффективным. Так, в варианте с применением P<sub>90</sub>K<sub>120</sub> при стоимости полученной прибавки урожая 104,34 рублей на 1 га убыток составил –116,52 руб./га (–48,36 долл. США/га). При увеличении доз калийных удобрений стоимость продукции возрастала за счет роста прибавки урожая, однако внесение фосфорных и калийных удобрений также было убыточным (табл. 4).

Таблица 4

**Экономическая эффективность возделывания многолетних злаковых трав в зависимости от доз внесения минеральных удобрений**

Вариант опыта	Стоимость продукции	Общие затраты	Условный чистый доход (убыток)	Рентабельность (убыточность) применения удобрений, %
1. P <sub>90</sub> K <sub>120</sub>	104,34	220,86	–116,52	–52,8
2. P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	146,34	238,43	–92,09	–38,6
3. P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	202,27	259,41	–57,14	–22,0
4. N <sub>100</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	472,70	444,03	28,67	6,5

Вариант опыта	Стоимость продукции	Общие затраты	Условный чистый доход (убыток)	Рентабельность (убыточность) применения удобрений, %
	рублей на 1 га			
5. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	577,99	495,91	82,08	16,6
6. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub>	557,56	528,43	29,13	5,5
7. N <sub>100</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	506,60	461,26	45,34	9,8
8. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	573,37	514,28	59,09	11,5
9. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub>	637,22	547,40	89,82	16,4
10. N <sub>120</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> + Cu <sub>80</sub>	642,93	548,86	<b>94,07</b>	<b>17,1</b>
11. N <sub>140</sub> P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> + Cu <sub>80</sub>	659,46	584,51	74,95	12,8

Применение на фосфорно-калийных фонах азотных удобрений в дозах от 100 до 140 кг/га способствовало существенному повышению эффективности возделывания многолетних злаковых трав. Так, в варианте N<sub>100</sub>P<sub>90</sub>K<sub>150</sub> получен условный чистый доход 28,67 руб./га (11,80 долл. США/га) и рентабельность применения удобрений – 6,5 %. Внесение на этом же фоне 120 кг/га азота (80 кг кг/га под первый укос и 40 кг/га под второй укос) обеспечило повышение условного чистого дохода до 82,08 руб./га (33,78 долл. США) и уровня рентабельности – до 16,6 %. При применении более высокой дозы азота (N<sub>140</sub>) наблюдалось снижение эффективности удобрений – рентабельность уменьшилась до 5,5 %.

На фоне с более высокой дозой калийных удобрений (P<sub>90</sub>K<sub>180</sub>) эффективность минеральных удобрений возрастала. В варианте N<sub>100</sub>P<sub>90</sub>K<sub>180</sub> прибыль составила 45,34 руб./га (18,66 долл. США/га) и рентабельность производства – 9,8 %. Внесение на этом же фоне 140 кг/га азота (80 кг кг/га под первый укос и 60 кг/га под второй укос) обеспечило условный чистый доход 89,82 руб./га (36,96 долл. США), при уровне рентабельности 16,4 %.

Наиболее эффективным было применение минеральных и медных удобрений. Самый высокий условный чистый доход – 94,07 руб./га (38,7 долл. США/га) и рентабельность производства – 17,1 % получены в варианте с внесением N<sub>120</sub>P<sub>90</sub>K<sub>150</sub> и некорневой обработки трав медью в дозе 80 г/га.

## ВЫВОДЫ

На торфянисто-глеевой почве с запасом в ранневесенний период минерального азота 50–55 кг/га, высокой обеспеченностью подвижным фосфором (875 мг/кг), повышенной обеспеченностью подвижным калием (805 мг/кг) и средней обеспеченностью подвижной медью (7,15–7,99 мг/кг) наиболее эффективной системой удобрения многолетних среднеспелых злаковых трав является дробное применение N<sub>120</sub>(N<sub>80</sub> – под первый укос и N<sub>40</sub> – под второй укос) на фоне P<sub>90</sub>K<sub>150</sub> совместно с некорневой подкормкой медью (Cu<sub>80</sub>). Данная система удобрения обеспечивает условный чистый доход 94,07 руб./га (38,71 долл. США/га), рентабельность – 17,1 % и окупаемость удобрений – 18,3 кг сена, или 9,3 к. ед.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осушенные торфяные и дерготорфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: практическое пособие / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: ИВЦ Минфина, 2018. – 215 с.
2. *Мееровский, А. С.* Проблемы использования и сохранения торфяных почв / А. С. Мееровский, В. П. Трибис // *Новости науки и технологий.* – 2012. – № 4(23). – С. 3–9.
3. Эколого-экономическое обоснование мелиорации торфяно-болотных комплексов и технологии их рационального использования / под общ. ред. Ю. А. Мажайского. – Рязань: ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. – 302 с.
4. Справочник нормативных материалов для агрохимического окультуривания почв и эффективного использования удобрений / В. В. Лапа [и др.]. – Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2017. – 60 с.
5. Система применения удобрений: учебник / В. В. Лапа [и др.]; под ред. В. В. Лапы. – Минск: ИВЦ Минфина, 2016. – 440 с.
6. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
7. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.
8. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.
9. Почвы. Методы определения общего азота: ГОСТ 26107-84. – Введ. 07.01.85. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1985. – 6 с.
10. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

**AGRONOMIC AND ECONOMIC EFFICIENCY OF THE APPLICATION  
MINERAL FERTILIZERS FOR PERENNIAL GRASSES  
ON PEAT-GLEY SOIL**

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

**Summary**

On peaty-gley soil with content of mineral nitrogen in the early spring period of 50–55 kg/ha, a high supply of mobile phosphorus (875 mg/kg), an increased supply of mobile potassium (805 mg/kg) and an average supply of mobile copper (7,15–7,99 mg/kg), the most effective system for fertilizing perennial grasses is the use of  $N_{120}P_{90}K_{150}$  together with non-root fertilization with copper ( $Cu_{80}$ ). This fertilizer system provides a conditional net income of 94,07 rubles/ha (38,71 US dollars/ha), a profitability of – 17,1 % and a return on fertilizer of – 18,3 kg of hay, or 9,3 feed units.

*Поступила 13.04.21*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРА РОСТА ЭКОСИЛ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ**

**И. Р. Вильдфлуш, Н. Э. Хизанейшвили**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Некорневое питание растений заслуживает особого внимания, так как установлено, что при определенных условиях листья растений по усваивающей способности значительно превосходят корневую систему. Элементы питания после попадания на листовую поверхность способны поглощаться за несколько часов, в то время как при корневом питании этот процесс протекает значительно дольше (дни, недели). Листьями растений может потребляться более 90 % микроэлементов, нанесенных на их поверхность, а корневая система способна извлечь около 3 % доступных форм микроэлементов из почвы. Несмотря на низкие дозы, проведение некорневых подкормок микроудобрениями позволяет оперативно регулировать минеральное питание растений [1].

Исследованиями установлено, что обработка растений по листу микроэлементами в сочетании с регуляторами роста способствует активизации гормональной системы растений, повышается устойчивость к абиотическим факторам окружающей среды, раскрывается генетический потенциал сельскохозяйственных культур, улучшается фосфорный, углеводный обмен, повышается продуктивность фотосинтеза, что, в совокупности способствует повышению урожайности и качества продукции растениеводства [2].

Применение комплексных препаратов на основе микроэлементов и регуляторов роста, несомненно, представляет значительный научно-практический интерес [3]. Примером таких препаратов являются отечественные микроудобрения МикроСтим, разработанные в РУП «Институт почвоведения и агрохимии». Эффективность их применения на овощных культурах, в особенности на столовой свекле, недостаточно изучена. Поэтому цель исследований заключалась в изучении влияния некорневых подкормок микроудобрениями МикроСтим при возделывании столовой свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

### **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Полевые опыты с белорусским сортом столовой свеклы Гаспадыня проводились в 2018–2020 гг. на территории УНЦ «Опытные поля БГСХА» на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины около 1 м моренным суглинком.

В качестве минеральных удобрений для основного внесения применялись: карбамид (46 % N), суперфосфат аммонизированный (42 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 10 % N), калий



хлористый (60 %  $K_2O$ ). В качестве микроудобрений применяли МикроСтим-Бор (50 г/л N, 150 г/л B), МикроСтим-Бор,Медь (65 г/л N, 40 г/л Cu, 40 г/л B), МикроСтим-Медь (65 г/л N, 78 г/л Cu), которые разработаны в РУП «Институт почвоведения и агрохимии, Эколист Бор (150 г/л B) и регулятор роста Экосил (50 г/л тритерпеновых кислот).

Регулятор роста Экосил вносили в фазу 8–10 листьев в дозе 50 мл/га и повторно через 15 дней в такой же дозе; Микроудобрения МикроСтим и Эколист Бор – дважды (2 л/га в фазу начала образования корнеплода и 2 л/га через месяц после первой обработки).

Определение сухого вещества проводили методом высушивания до постоянной массы по ГОСТ 28561-90, содержание сахаров – по Бертрану ГОСТ 8756,13-87, нитратов – количественным ионометрическим методом по ГОСТ 29270-95. Площадь листьев определяли по методике Н. Ф. Коняева. Учет урожая корнеплодов проводился сплошным поделяночным методом путем взвешивания корнеплодов. Статистическую обработку полученных результатов опыта проводили по методике Б. А. Доспехова [4] и М. Ф. Дембицкого [5].

По агрохимическим показателям почва характеризовалась низким и средним содержанием гумуса (1,2–1,8 %), слабокислой и близкой к нейтральной реакцией почвенной среды ( $pH_{KCl} = 5,5–6,1$ ), повышенным содержанием подвижных форм фосфора (209,0–266 мг/кг почвы) и калия (294–295,0 мг/кг почвы), средним содержанием подвижных форм меди (1,54–1,71 мг/кг почвы), низким и средним содержанием подвижного цинка (1,53–3,75 мг/кг почвы).

Общая площадь делянки составляла 14,4 м<sup>2</sup>, учетная – 10,8 м<sup>2</sup>, повторность опыта четырехкратная. Предшественник – картофель. Посев проводили с шириной междурядий 45 см на ровной поверхности в 1 декаде мая. Весовая норма высева составляла 12 кг/га. Агротехника возделывания – общепринятая для Беларуси [6]. В период вегетации свеклы столовой также проводились мероприятия по химической защите посевов от вредителей, болезней и сорной растительности.

Метеорологические условия в 2018–2020 гг. были различными. Вегетационный период 2018 года характеризовался температурой выше климатической нормы в сочетании с дефицитом влаги в весенние месяцы и в середине лета. Вегетационный период 2019 года протекал с колебаниями погодных условий: в первой половине лета отмечался дефицит осадков и повышенная температура воздуха, во второй же половине лета наступила холодная погода и затяжные дожди. Вегетационный период 2020 года, наоборот, отличался температурой ниже климатической нормы с избыточным увлажнением. Тем не менее, несмотря на сложившиеся погодные условия, урожайность свеклы столовой была на достаточно высоком уровне.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В фазу 3–4 листьев площадь листовой поверхности у растений столовой свеклы была наименьшей в варианте без внесения удобрений – 51,9 см<sup>2</sup>, в то время как в других вариантах опыта этот показатель был более 65 см<sup>2</sup> без значительных изменений между вариантами (табл. 1). К фазе начала формирования корнеплода площадь листьев у растений столовой свеклы возрастала более чем в

10 раз. Наиболее существенные различия между вариантами опыта проявлялись в фазу технической спелости корнеплодов. Так, максимальная площадь листовой поверхности у свеклы столовой была в варианте  $N_{100}P_{90}K_{140}$  + МикроСтим-Бор, Медь – 1284,0 см<sup>2</sup>. На фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  двукратная обработка посевов свеклы микроудобрениями Эколист Бор и МикроСтим-Бор способствовала увеличению площади листьев на 146,3 и 150,4 см<sup>2</sup>, МикроСтим-Медь и МикроСтим-Бор, Медь – на 103,9 и 153,6 см<sup>2</sup> соответственно. От применения регулятора роста Экосил площадь листьев возрастала на 112,1 см<sup>2</sup>.

Таблица 1

**Влияние микроудобрений МикроСтим и регулятора роста Экосил на динамику площади листовой поверхности растений столовой свеклы, среднее за 2018–2020 гг.**

Вариант опыта	Площадь листовой поверхности одного растения, см <sup>2</sup>			
	3–4 листа	начало формирования корнеплода	техническая спелость	уборка
1. Контроль (без удобрений)	51,9	633,9	801,2	733,8
2. $N_{90}P_{80}K_{130}$ – фон	65,3	723,3	1079,4	1033,8
3. Фон + Эколист Бор	65,9	718,5	1225,7	1143,0
4. Фон + МикроСтим-Бор	65,4	723,4	1229,8	1107,1
5. Фон + МикроСтим-Медь	65,0	727,8	1183,3	1101,0
6. Фон + МикроСтим-Бор, Медь	65,1	728,1	1233,0	1104,0
7. Фон + Экосил	66,9	725,9	1191,5	1105,4
8. $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим-Бор, Медь	65,9	745,4	1284,0	1159,8
НСП <sub>05</sub>	3,29	26,36	51,36	42,08

За годы исследований средняя урожайность корнеплодов столовой свеклы в варианте без удобрений была наименьшей и составила 23,8 т/га (табл. 2). Применение минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{80}K_{130}$  обеспечивало прибавку урожайности корнеплодов 22,2 т/га. Окупаемость 1 кг NPK кг корнеплодов в этом варианте составила 74 кг.

Некорневая подкормка посевов свеклы микроудобрениями Эколист Бор и МикроСтим-Бор на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  повышала урожайность корнеплодов на 4,8 и 5,4 т/га при окупаемости 1 кг NPK 90 и 92 кг корнеплодов соответственно. Применение микроудобрения МикроСтим-Бор по влиянию на урожайность корнеплодов не уступало польскому микроудобрению Эколист Бор, и поэтому оно может быть использовано для импортозамещения, так как дешевле польского. Обработка посевов микроудобрением с регулятором роста МикроСтим-Медь на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  обеспечило прибавку урожая 4,1 т/га с окупаемостью 1 кг NPK 88 кг корнеплодов. Таким образом, на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  некорневые подкормки медными и борными микроудобрениями по действию на урожайность корнеплодов были равнозначными.

Максимальная урожайность корнеплодов достигалась внесением борно-медных микроудобрений – микроудобрение с регулятором роста МикроСтим-Бор, Медь

на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  и  $N_{100}P_{90}K_{140}$  обеспечивало урожайность на уровне 52,8 и 55,7 т/га соответственно с окупаемостью 1 кг NPK 97 кг корнеплодов.

Применение регулятора роста Экосил в посевах свеклы на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  повышало урожайность корнеплодов на 4,1 т/га, а окупаемость 1 кг NPK составила 88 кг корнеплодов.

Таблица 2

**Влияние микроудобрений МикроСтим и регулятора роста Экосил на урожайность столовой свеклы, среднее за 2018–2020 гг.**

Вариант опыта	Урожайность, т/га				Прибавка, т/га		Окупаемость 1 кг NPK, кг корнеплодов
	2018	2019	2020	среднее	к контролю	к фону	
1. Контроль (без удобрений)	17,4	23,3	30,7	23,8	–	–	–
2. $N_{90}P_{80}K_{130}$ – фон	42,6	46,9	48,5	46,0	22,2	–	74
3. Фон + Эколист Бор	49,6	50,7	52,3	50,8	27,0	4,8	90
4. Фон + МикроСтим-Бор	49,9	51,8	52,7	51,4	27,6	5,4	92
5. Фон + МикроСтим-Медь	45,9	53,9	50,5	50,1	26,3	4,1	88
6. Фон + МикроСтим-Бор,Медь	51,5	53,8	53,2	52,8	29,0	6,8	97
7. Фон + Экосил	46,2	52,5	51,8	50,1	26,3	4,1	88
8. $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим-Бор,Медь	53,6	56,0	57,6	55,7	31,9	–	97
НСР <sub>05</sub>	1,94	2,30	1,63	1,70	–	–	–

Применение макро- и микроудобрений значительно повышало выход товарных корнеплодов (табл. 3). В сравнении с вариантом без удобрений внесение  $N_{90}P_{80}K_{130}$  увеличивало товарность корнеплодов на 20 % с 68,6 % до 88,6 %.

Таблица 3

**Влияние микроудобрений МикроСтим и регулятора роста Экосил на качественные показатели корнеплодов столовой свеклы, среднее за 2018–2020 гг.**

Вариант опыта	Товарность, %	Средняя масса корнеплода, г	Сухое вещество, %	Сахара, %	Нитраты, мг/кг сырой массы		
					2018	2019	2020
1. Контроль (без удобрений)	68,6	107	14,0	10,4	882	645	101
2. $N_{90}P_{80}K_{130}$ – фон	88,6	195	14,7	11,8	1341	1025	339
3. Фон + Эколист Бор	92,6	240	16,1	13,2	1209	913	172
4. Фон + МикроСтим-Бор	94,1	249	15,9	13,2	1237	865	152
5. Фон + МикроСтим-Медь	90,5	226	15,7	12,8	1261	898	151
6. Фон + МикроСтим-Бор,Медь	93,2	241	17,2	14,4	1242	753	117
7. Фон + Экосил	90,4	215	15,3	12,8	1171	772	86
8. $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим-Бор,Медь	93,3	262	17,4	15,3	1354	923	276
НСР <sub>05</sub>	2,71	10,1	0,65	0,68	57,8	38,9	51,8

Микроудобрения Эколист Бор и МикроСтим-Бор на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  повышали товарность корнеплодов свеклы столовой на 4,0 и 5,5 % соответственно.

В вариантах с применением микроудобрения МикроСтим-Медь и регулятора роста Экосил на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  не было отмечено увеличение товарности корнеплодов столовой свеклы.

Обработка посевов свеклы микроудобрением МикроСтим-Бор,Медь на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  повышало товарность корнеплодов на 4,6 % с 88,6 до 93,2 %.

Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{80}K_{130}$  по сравнению с вариантом без удобрений способствовало увеличению средней массы корнеплода на 88 г (со 107 до 195 г). Все изучаемые микроудобрения, в том числе регулятор роста Экосил по сравнению с фоном оказывали положительное влияние на значение средней массы корнеплода. Наибольшей средняя масса корнеплода столовой свеклы была в варианте  $N_{100}P_{90}K_{140}$  + МикроСтим-Бор,Медь – 262 г.

В среднем за 2018–2020 гг. исследований содержание сухого вещества в корнеплодах столовой свеклы по вариантам опыта составляло от 14,0 до 17,4 %. В варианте без удобрений этот показатель находился на уровне 14,0 %. От применения минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{80}K_{130}$  процент сухого вещества возрастал на 0,7 % до 14,7 %.

На фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  обработка посевов микроудобрениями Эколист Бор, МикроСтим-Бор, МикроСтим-Медь, МикроСтим-Бор,Медь повышала содержание сухого вещества в корнеплодах столовой свеклы на 1,4, 1,2, 1,0 и 2,5 % соответственно.

Применение регулятора роста Экосил на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  не оказывало существенного влияния на содержание сухого вещества в корнеплодах.

Наибольшее содержание сухого вещества в корнеплодах столовой свеклы (17,4 %) было отмечено при применении микроудобрения МикроСтим-Бор,Медь на фоне  $N_{100}P_{90}K_{140}$ .

Минеральные удобрения оказывали положительное влияние на накопление сахаров растениями свеклы столовой. Внесение  $N_{90}P_{80}K_{130}$  по сравнению с вариантом без удобрений увеличивало содержание сахаров в корнеплодах на 1,4 % с 10,4 до 11,8 %.

Некорневая подкормка микроудобрениями Эколист Бор и МикроСтим-Бор на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  увеличивала содержание сахаров на 1,4 %.

Обработка посевов свеклы микроудобрениями МикроСтим-Медь и МикроСтим-Бор,Медь на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  повышала содержание сахаров в корнеплодах на 1,0 и 2,6 % соответственно.

Применение регулятора роста Экосил на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  повышало содержание сахаров на 1,0 %.

Наибольшее содержание сахаров в корнеплодах столовой свеклы было в варианте  $N_{100}P_{90}K_{140}$  + МикроСтим-Бор,Медь – 15,3 %.

За период исследований в 2018–2020 гг. уровень содержания нитратов в корнеплодах столовой свеклы не превышал ПДК, т. е. 1400 мг/кг сырой массы.

Установлено, что в ботве столовой свеклы содержание азота, фосфора, калия было большим, чем в корнеплодах (табл. 4). При внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{80}K_{130}$  по сравнению с вариантом без удобрений в ботве увеличивалось содержание азота на 0,83 %, а калия снижалось на 1,31 %, содержание фосфора не изменялось, при этом в ботве содержание азота увеличивалось на 0,34 %, а содержание фосфора и калия не изменялось.

Таблица 4

**Влияние микроудобрений МикроСтим и регулятора роста Экосил на содержание в ботве (в числителе) и корнеплодах (в знаменателе) столовой свеклы элементов питания и их вынос, среднее за 2018–2020 гг.**

Вариант опыта	Содержание макро- (%) и микроэлементов (мг/кг) на сухое вещество					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	Mn
1. Контроль (без удобрений)	<u>2,06</u>	<u>0,97</u>	<u>5,65</u>	<u>7,74</u>	<u>18,35</u>	<u>165,88</u>
	1,01	0,69	3,65	3,60	12,13	27,23
2. N <sub>90</sub> P <sub>80</sub> K <sub>130</sub> – фон	<u>2,89</u>	<u>0,99</u>	<u>4,34</u>	<u>8,27</u>	<u>21,82</u>	<u>179,03</u>
	1,35	0,65	3,71	4,73	12,96	30,34
3. Фон + Эколист Бор	<u>2,75</u>	<u>1,03</u>	<u>4,91</u>	<u>8,67</u>	<u>28,16</u>	<u>202,34</u>
	1,60	0,79	3,66	5,54	15,49	34,02
4. Фон + МикроСтим-Бор	<u>2,71</u>	<u>0,98</u>	<u>5,36</u>	<u>8,49</u>	<u>28,97</u>	<u>215,02</u>
	1,38	0,69	3,49	5,74	14,28	40,27
5. Фон + МикроСтим-Медь	<u>2,73</u>	<u>0,80</u>	<u>4,35</u>	<u>10,93</u>	<u>29,76</u>	<u>311,54</u>
	1,29	0,80	3,68	7,60	14,98	39,32
6. Фон + МикроСтим-Бор,Медь	<u>2,63</u>	<u>0,77</u>	<u>5,09</u>	<u>9,33</u>	<u>32,10</u>	<u>354,38</u>
	1,28	0,66	3,74	6,31	14,62	41,23
7. Фон +Экосил	<u>2,66</u>	<u>0,69</u>	<u>4,65</u>	<u>8,53</u>	<u>25,13</u>	<u>230,36</u>
	1,55	0,73	3,65	5,81	15,25	29,68
8. N <sub>100</sub> P <sub>90</sub> K <sub>140</sub> + МикроСтим-Бор,Медь	<u>2,65</u>	<u>0,88</u>	<u>4,46</u>	<u>9,23</u>	<u>31,62</u>	<u>326,69</u>
	1,55	0,70	3,90	6,90	16,61	40,86
НСР <sub>05</sub>	<u>0,118</u>	<u>0,072</u>	<u>0,242</u>	<u>0,491</u>	<u>1,250</u>	<u>17,154</u>
	0,075	0,060	0,237	0,255	0,789	1,770

Содержание азота в ботве свеклы столовой снижалось во всех вариантах с применением микроудобрений и регулятора роста на фоне N<sub>90</sub>P<sub>80</sub>K<sub>130</sub>, но наибольшее снижение отмечено в варианте N<sub>90</sub>P<sub>80</sub>K<sub>130</sub> + МикроСтим-Бор,Медь – на 0,26 %. В корнеплодах содержание азота существенно не изменялось, кроме вариантов с обработкой посевов микроудобрением Эколист Бор и регулятором роста Экосил на фоне N<sub>90</sub>P<sub>80</sub>K<sub>130</sub>, где этот показатель повышался на 0,25 и 0,2 % соответственно.

Содержание фосфора в ботве свеклы снижалось в вариантах, где применялись МикроСтим-Медь, МикроСтим-Бор,Медь и Экосил на фоне N<sub>90</sub>P<sub>80</sub>K<sub>130</sub> – на 0,19, 0,22 и 0,3 % соответственно. В корнеплодах же содержание фосфора повышалось в вариантах с применением Эколист Бор, МикроСтим-Медь и Экосил на фоне N<sub>90</sub>P<sub>80</sub>K<sub>130</sub> – на 0,14, 0,15, 0,08 % соответственно.

Содержание калия в корнеплодах в результате применения микроудобрений и регулятора роста Экосил существенно не изменялось. Однако обработка посевов свеклы микроудобрениями Эколист Бор, МикроСтим-Бор, МикроСтим-Бор,Медь и регулятором роста Экосил на фоне N<sub>90</sub>P<sub>80</sub>K<sub>130</sub> приводила к увеличению содержания калия в ботве на 0,57, 1,02, 0,75 и 0,31 % соответственно.

Очень важным показателем является содержание микроэлементов в продукции растениеводства, особенно в овощных культурах. По имеющимся данным, оптимальное содержание меди в растениеводческой продукции составляет 7–12 мг/кг сухой массы, цинка – 20–40 мг/кг, марганца – 40–70 мг/кг [7]. Отмечено,

что в ботве столовой свеклы меди, цинка накапливалось в среднем в 2, а марганца – более чем в 10 раз больше, чем в корнеплодах.

Содержание меди в корнеплодах свеклы столовой было наилучшим в варианте  $N_{90}P_{80}K_{130}$  + МикроСтим-Медь – 7,6 мг/кг сухой массы. Достаточного содержания цинка в корнеплодах не было отмечено ни в одном варианте опыта, за исключением варианта  $N_{100}P_{90}K_{140}$  + МикроСтим-Бор,Медь, где в корнеплодах накапливалось 16,61 мг/кг сухой массы цинка, что является наиболее близким к нижней границе оптимального значения. Высоким содержанием марганца отличались корнеплоды столовой свеклы, полученные в вариантах с обработкой посевов микроудобрениями МикроСтим-Бор и МикроСтим-Бор,Медь на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  – 40,27 и 41,23 мг/кг, а также в варианте  $N_{100}P_{90}K_{140}$  + МикроСтим-Бор,Медь – 40,86 мг/кг сухой массы.

Наибольшее содержание меди в ботве столовой свеклы было в варианте  $N_{90}P_{80}K_{130}$  + МикроСтим-Медь – 10,93 мг/кг, цинка и марганца – в варианте  $N_{90}P_{80}K_{130}$  + МикроСтим-Бор,Медь – 32,10 и 354,38 мг/кг сухой массы соответственно.

На величину значений общего выноса элементов питания влияли показатели урожайности свеклы столовой и содержание макро- и микроэлементов в корнеплодах и ботве (табл. 5).

Таблица 5

**Влияние микроудобрений МикроСтим и регулятора роста Экосил на общий (в числителе) и удельный (в знаменателе) вынос элементов питания растениями столовой свеклы, среднее за 2018–2020 гг.**

Вариант опыта	Вынос макро- (кг/га, кг/т) и микроэлементов (г/га, г/т)					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	Mn
1. Контроль (без удобрений)	<u>64</u> 2,7	<u>37</u> 1,6	<u>209</u> 8,8	<u>23.3</u> 1,0	<u>70.3</u> 2,8	<u>351.6</u> 13,8
2. $N_{90}P_{80}K_{130}$ – фон	<u>171</u> 3,7	<u>71</u> 1,6	<u>371</u> 8,1	<u>53.7</u> 1,2	<u>148.2</u> 3,2	<u>700.9</u> 15,2
3. Фон + Эколист Бор	<u>219</u> 4,3	<u>98</u> 1,9	<u>456</u> 9,0	<u>72.0</u> 1,4	<u>216.6</u> 4,3	<u>942.7</u> 18,5
4. Фон + МикроСтим-Бор	<u>200</u> 3,9	<u>88</u> 1,7	<u>461</u> 9,0	<u>72.9</u> 1,4	<u>210.7</u> 4,1	<u>1038.5</u> 20,1
5. Фон + МикроСтим-Медь	<u>184</u> 3,7	<u>87</u> 1,7	<u>423</u> 8,5	<u>91.1</u> 1,8	<u>209.9</u> 4,2	<u>1255.6</u> 25,0
6. Фон + МикроСтим-Бор,Медь	<u>208</u> 3,9	<u>87</u> 1,6	<u>518</u> 9,8	<u>87.9</u> 1,7	<u>244.7</u> 4,6	<u>1598.9</u> 30,2
7. Фон + Экосил	<u>200</u> 4,0	<u>77</u> 1,5	<u>424</u> 8,4	<u>69.4</u> 1,4	<u>196.8</u> 3,9	<u>980.0</u> 19,3
8. $N_{100}P_{90}K_{140}$ + МикроСтим-Бор,Медь	<u>245</u> 4,4	<u>99</u> 1,8	<u>544</u> 9,8	<u>98.1</u> 1,8	<u>277.2</u> 5,0	<u>1508.3</u> 27,3

Внесение под столовую свеклу  $N_{90}P_{80}K_{130}$  по сравнению с контролем способствовало увеличению общего выноса по азоту – на 107, по фосфору – на 34, по калию – на 162 кг/га. Удельный вынос на 1 т корнеплодов и соответствующее количество побочной продукции (ботвы) по азоту увеличивался на 1,0, по ка-

лию – уменьшался на 0,7 кг, а по фосфору не изменялся. Использование борных микроудобрений Эколист Бор и МикроСтим-Бор повышало общий вынос по азоту на 48 и 29, по фосфору – на 27 и 17, по калию – на 85 и 90 кг/га соответственно. При этом в варианте  $N_{90}P_{80}K_{130}$  + Эколист Бор удельный вынос по азоту и калию увеличивался на 0,6 и 0,9 кг/т, а по фосфору практически не изменялся. Обработка посевов свеклы МикроСтим-Медь на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  повышала значения общего выноса по азоту на 13, по фосфору – на 16, по калию – на 52 кг/га, а значения удельного выноса практически не изменялись.

В варианте  $N_{100}P_{90}K_{140}$  + МикроСтим-Бор,Медь были наибольшими значения общего выноса (кг/га) азота (245), фосфора (99) и калия (544), а также значения удельного выноса (кг/т): азота – 4,4, фосфора – 1,8, калия – 9,8. В этом же варианте опыта были наибольшие значения общего и удельного выноса микроэлементов. Общий вынос меди составил 98,1, цинка – 277,2, марганца – 1508,3 г/га, а удельный – 1,8, 5,0 и 27,3 г/т соответственно.

## ВЫВОДЫ

1. К моменту уборки наибольшая площадь листовой поверхности у растений свеклы была в варианте  $N_{100}P_{90}K_{140}$  + МикроСтим-Бор,Медь – 1159,8 см<sup>2</sup> (в пересчете на одно растение), что в итоге и способствовало получению наибольшей урожайности в этом варианте опыта.

2. Обработка посевов свеклы микроудобрением МикроСтим-Бор,Медь на фоне  $N_{90}P_{80}K_{130}$  и  $N_{100}P_{90}K_{140}$  способствовала накоплению в корнеплодах наибольшего количества сухого вещества (17,2 и 17,4 %) и сахаров (14,4 и 15,3 %). В этих же вариантах опыта получена наибольшая урожайность корнеплодов свеклы столовой – 52,8 и 55,7 т/га соответственно, а окупаемость 1 кг NPK составила 97 кг корнеплодов.

3. Изучаемые системы удобрения столовой свеклы с применением микроудобрений и регулятора роста для некорневых подкормок за годы исследований не вызывали увеличения содержания нитратов в корнеплодах свыше ПДК.

4. Некорневые подкормки микроудобрениями и регулятором роста Экосил повышали продуктивность свеклы столовой что, в свою очередь, способствовало возрастанию выноса макро- и микроэлементов растениями. При этом значительных изменений удельного выноса элементов питания по вариантам опыта отмечено не было.

5. В удобряемых вариантах опыта величина удельного выноса макроэлементов составляла: по азоту – 3,7–4,4, по фосфору – 1,6–1,9, по калию – 8,1–9,8 кг/т; микроэлементов: по меди – 1,2–1,8, по цинку – 3,2–5,0, по марганцу – 15,2–30,2 г/т.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плескачев, Ю. Н. Повышение продуктивности овощных культур за счет правильного применения листовых подкормок / Ю. Н. Плескачев, Е. А. Лукьяненко // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 5(371). – С. 22–26.

2. Некорневые подкормки микроудобрениями – важный резерв повышения продуктивности сахарной свеклы / А. В. Малышко [и др.] // Сахар. – 2020. – № 6. – С. 47–49.

3. Оптимизация системы удобрения сельскохозяйственных культур при комплексном применении макро-, микроудобрений, регуляторов роста и бактериальных препаратов: рекомендации / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: БГСХА, 2017. – 34 с.

4. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М., 1985. – 235 с.

5. Дзямбіцкі, М. Ф. Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // Вес. Нац. акад. аграрных навук Беларусі. – 1994. – № 3. – С. 60–64.

6. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала: сборник отраслевых регламентов / Национальная академия наук Беларуси, Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 518 с.

7. Эффективность применения микроудобрений и регуляторов роста при возделывании сельскохозяйственных культур / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 293 с.

## **EFFICIENCY OF THE USE OF MICROFERTILIZERS AND EKOSIL GROWTH REGULATOR WHEN CULTIVATION OF TABLE BEET ON SOD-PODZOLIC LIGHT-LOAMY SOIL**

**I. R. Vildflush, N. E. Hizaneyshvili**

### **Summary**

The article presents the results of studies of the use of complex micronutrient fertilizers MicroStim and the growth regulator Ecosil in the cultivation of beets on sod-podzolic light loamy soil. The influence of the studied fertilizers on the yield of root crops, their marketability, quality and removal of nutrients has been established. Double treatment of table beet crops with micro-fertilizer MicroStim-Bor, Copper against the background of application of mineral fertilizers in doses of  $N_{90}P_{80}K_{130}$  and  $N_{100}P_{90}K_{140}$  ensured maximum productivity – 52,8 and 55,7 t/ha. In root crops, the dry matter content was 17,2 and 17,4 %, sugars 14,4 and 15,3 %, respectively.

*Поступила 01.04.21*



## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЬНОГО И СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ *A. BRASILENSE*, *B. CIRCULANS* И *T. LONGIBRACHIATUM* НА ПОСЕВАХ ТРИТИКАЛЕ ОЗИМОГО НА ЭРОДИРОВАННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ

Н. А. Михайловская<sup>1</sup>, Д. В. Войтка<sup>2</sup>, А. В. Юхновец<sup>1</sup>,  
Т. Б. Барашенко<sup>1</sup>, С. В. Дюсова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Институт защиты растений,  
г. Минск, Беларусь

### ВВЕДЕНИЕ

Биологизация технологий возделывания сельскохозяйственных культур предполагает применение микробных препаратов разной специализации, чтобы эффективно использовать широкий спектр приспособительных свойств полезных микроорганизмов. Вопросы биологизации технологий возделывания зерновых культур на эродированных почвах актуальны для республики, так как такие почвы составляют 9,4 % от общей площади пашни [10]. На эродированных почвах растения подвержены стрессу в результате поверхностного смыва, вызывающего потери элементов минерального питания, органического вещества, микробной биомассы и абиотических почвенных ферментов [11, 12, 13]. Ухудшение агрофизических, агрохимических и биологических свойств эродированных почв приводит к снижению урожайности и качества продукции зерновых культур.

Применение микробных препаратов может значительно повышать адаптивные возможности растений за счет действия таких факторов как гормональный эффект, фиксация атмосферного азота, мобилизация калия из труднодоступных почвенных форм, увеличение подвижности трудно растворимых почвенных фосфатов, биологический контроль фитопатогенов. Гормональное действие – наиболее часто регистрируемый эффект от инокуляции. Возможно, он является и наиболее значимым для повышения урожайности сельскохозяйственных культур на эродированных почвах, так как более развитая корневая система обеспечивает увеличение поглощающей поверхности корней и потребления элементов минерального питания и воды.

Активными стимуляторами роста являются ассоциативные diaзотрофы *Azospirillum brasilense* [1–5] и калиймобилизующие слизистые бациллы *Bacillus circulans* [5–8]. Наряду с гормональным действием, бактерии *Azospirillum brasilense* при дефиците азота в почве активно усваивают его из атмосферы [4]. *Bacillus circulans* способны повышать подвижность труднодоступных почвенных форм калия [6]. Обе ризобактерии, как *A. brasilense* так и *B. circulans*, проявляют активность в отношении растворения трехзамещенных фосфатов при недостатке подвижного фосфора в почве [6]. Ризобактерии *A. brasilense* и *B. circulans* представляют

интерес как перспективные компоненты микробных удобрений, которые могут способствовать адаптации зерновых культур на эродированных почвах.

Актуальной проблемой при возделывании озимых зерновых культур на эродированных почвах является защита растений от (болезней) поражения фитопатогенами. Озимые зерновые подвержены заболеваниям в осенний, зимний и ранневесенний периоды и нуждаются в защите от корневых инфекций. Грибы-антагонисты *Trichoderma longibrachiatum* способны обеспечить эффективную биологическую защиту зерновых культур от корневых инфекций. Они проявляют высокую антагонистическую активность по отношению к основным возбудителям фузариозной гнили – родов *Fuzarium*, *Alternaria*, *Sclerotinia* и других корневых инфекций зерновых культур [9]. Способность контролировать болезни растений, вызываемые грибковыми или бактериальными патогенами, также может быть фактором положительного влияния интродуцированных микроорганизмов на урожайность озимых зерновых культур на эродированных почвах [11].

Представляет интерес сравнить эффективность отдельного и совместного применения *Azospirillum brasilense*, *Bacillus circulans* и *Trichoderma longibrachiatum* на посевах озимой зерновой культуры на эродированных почвах. Совместное применение микроорганизмов с разными полезными свойствами – один из приемов повышения эффективности микробных препаратов. Создание микробных композиций экологически обосновано и экономически целесообразно.

Тритикале озимое в структуре посевных площадей зерновых и зернобобовых культур в Республике Беларусь занимает 18 %. Эта озимая культура отличается зимостойкостью и менее требовательна к условиям произрастания по сравнению с озимой пшеницей. В связи с этим тритикале озимое предпочтительнее при возделывании на эродированных почвах.

Цель исследований – сравнительная оценка влияния отдельного и совместного применения ассоциативных diaзотрофов *A. brasilense*, калиймобилизующих бактерий *Bacillus circulans* и гриба-антагониста *T. longibrachiatum* на продукционный процесс, поражаемость корневыми инфекциями, урожайность и качество продукции тритикале озимого при возделывании на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Полевой стационар «Стоковые площадки».** Сравнительная эффективность отдельного и совместного применения ассоциативных diaзотрофов *A. brasilense*, калиймобилизующих бактерий *Bacillus circulans* и гриба-антагониста *T. longibrachiatum* изучена в полевом стационаре «Стоковые площадки, заложенном по геоморфологическому профилю (катене) от водораздела до подножья склона на дерново-подзолистых почвах на мощных лессовидных суглинках. Агрохимические свойства пахотного слоя почвы и условия вегетации представлены в таблице 1.

В полевом стационаре возделывали тритикале озимое (*Triticosekale*) сорта Динаро (2019–2020 гг.). Фон минеральных удобрений –  $N_{90}+30P_{50}K_{100}$ . Фосфорные (аммофос) и калийные (хлористый калий) удобрения применяли для основного внесения, азотные (карбамид) – для основного внесения и подкормки. Повторность в стационарном опыте трехкратная. Общая площадь делянки 22 м<sup>2</sup> (2,2 × 10), учетная – 20 м<sup>2</sup> (2,0 × 10).

Таблица 1

**Характеристика почвы полевого стационара и гидротермических условий периода исследований (СПК «Щомыслица», Минский р-н)**

Годы исследований	Гумус, % (ГОСТ 26213-91)	рН <sub>KCl</sub> (ГОСТ 26483-85)	(ГОСТ 26207-91), мг/кг		ГТК (по Се- лянинову)
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
2019 (стоковая площадка 7)	2,1–2,2	5,2–5,3	359–434	248–321	1,49
2020 (стоковая площадка 8)	1,8–2,0	5,3–5,5	366–415	231–357	1,95

Объектами исследования служили азотфиксирующие ризобактерии *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg & Dцbereiner 2(в)3, калиймобилизующие ризобактерии *Bacillus circulans* Jordan K-81 и гриб-антагонист *Trichoderma longibrachiatum* L-7 из коллекционных фондов Института почвоведения и агрохимии и Института защиты растений НАН Беларуси.

Способ применения микробных инокулянтов – обработка посевов весной в фазе кущения озимого тритикале. Титры микробных компонентов: *A. brasilense* –  $1,0–2,0 \cdot 10^9$  КОЕ/мл, *B. circulans* –  $1,0–2,0 \cdot 10^9$  КОЕ/мл, *T. longibrachiatum* –  $1,1 \cdot 10^9$  спор/мл. При использовании бинарных композиций рабочую жидкость готовили непосредственно перед применением при соотношении компонентов 1:1.

Показатели продукционного процесса оценивали в фазе восковой спелости тритикале озимого сорта Динаро в 2019 и 2020 гг.

**Оценка фитопатологического состояния посевов.** Растительные образцы для учета распространенности и развития корневой гнили в посевах тритикале озимого в 2019 г. отбирали в стадиях 32–33 (выход в трубку), 47–49 (набухание колосьев) и 61–65 (цветение) в соответствии с ВВСН, в 2020 г. – в фазах выхода в трубку, начала колошения и цветения (2020 г.). Распространенность болезни (Р % пораженных растений) рассчитывали по формуле:

$$P = (n \cdot 100) : N,$$

где n – количество больных растений в пробах (экз.); N – общее количество растений в пробах (экз.).

Развитие болезни (R, %) рассчитывали по формуле:

$$R = (\sum ab \cdot 100) : (N \cdot k),$$

где ab – произведение числа растений (a) на соответствующий балл поражения; (b, N – количество взятых для учета растений (экз.); k – наивысший балл шкалы оценки поражения корневой системы в варианте опыта.

Биологическую эффективность (БЭ %) рассчитывали по показателю развития болезни или степени поражения по формуле:

$$БЭ = (П_k - П_0) \cdot 100 : П_k,$$

где П<sub>k</sub> – процент развития или степень поражения растений в контроле; П<sub>0</sub> – процент развития или степень поражения в варианте опыта [10].

Балльная шкала оценки степени пораженности корневой системы растений: отсутствие поражения – 0, поражение до 1/3 корневой системы – 1, поражение от 1/3 до 2/3 корневой системы – 2, поражение более 2/3 корневой системы – 3.

Учет урожайности зерновых культур производили поделаячно. Содержа-ние элементов питания в зерне определяли методом ИК-спектрометрии (NIR Systems 4500). Для статистической обработки результатов применяли дисперсионный анализ и MS Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Влияние микробных инокулянтов на показатели продукционного процесса тритикале озимого Динаро.** Установлена зависимость показателей продукционного процесса тритикале озимого от свойств моноинокулянтов и состава микробных композиций, использованных для обработки посевов. По средним данным за 2019–2020 гг. наибольшее влияние на число продуктивных стеблей тритикале озимого оказывали бинарные композиции *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* (553–573 шт./м<sup>2</sup>), *A. brasilense* + *B. circulans* (536–545 шт./м<sup>2</sup>). Из моноинокулянтов наибольший положительный эффект отмечен при использовании калиймобилизующих бактерий *B. circulans* (560–570 шт./м<sup>2</sup>) и гриба-антагониста *T. longibrachiatum* (525–561 шт./м<sup>2</sup>).

Применение бинарных композиций микроорганизмов оказывало более значимое воздействие и на число зерен в колосе тритикале озимого по сравнению с применением моноинокулянтов. Наиболее высокие показатели отмечены при использовании *B. circulans* + *T. longibrachiatum* (34,6–36,2 шт.) и *A. brasilense* + *B. circulans* (33,8–35,3 шт.). Среди моноинокулянтов наибольшее влияние на число зерен в колосе оказывали азотфиксирующие бактерии *A. brasilense* (34,6–36,3 шт.).

Микробные инокулянты оказывали положительное действие на массу колоса тритикале озимого. Наиболее значимый эффект давало применение двухкомпонентных микробных композиций: *B. circulans* + *T. longibrachiatum* (1,21–1,30 г) и *A. brasilense* + *B. circulans* (1,20–1,29 г). Результаты исследований показали, что среди протестированных моноинокулянтов наиболее эффективны были диазо-рофные ризобактерии *A. brasilense* (1,21–1,30 г) (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние микробных инокулянтов на показатели продукционного процесса тритикале озимого Динаро (2019–2020 гг.)**

Вариант опыта	Число продукт. стеблей, шт./м <sup>2</sup>			Число зерен в колосе, шт.			Масса зерна 1 колоса, г			Масса 1000 семян, г		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Контроль	554	538	511	33,8	33,9	33,4	1,21	1,19	1,16	35,6	35,0	34,3
<i>A. brasilense</i>	538	513	516	35,7	36,3	34,6	1,30	1,30	1,21	36,2	35,7	34,7
<i>B. circulans</i>	567	570	560	33,5	34,0	33,9	1,21	1,19	1,16	36,0	34,9	34,3
<i>T. longibrachiatum</i>	561	547	525	33,6	34,3	34,7	1,23	1,22	1,19	36,7	35,7	34,3
<i>A. bras.</i> + <i>T. longibrach.</i>	573	553	557	34,2	33,8	33,5	1,25	1,23	1,19	36,7	36,3	35,6
<i>B. circ.</i> + <i>T. longibrach.</i>	537	523	525	35,8	36,2	34,6	1,30	1,28	1,21	36,4	35,4	35,1
<i>A. bras.</i> + <i>B. circulans</i>	545	536	536	35,3	35,3	33,8	1,29	1,27	1,20	36,8	36,0	35,5
НСП <sub>05</sub> :												
А (почва)	14,6			0,45			0,04			0,36		
В (инокуляция)	18,7			0,62			0,05			0,58		

Примечание. 1 – незеродированная; 2 – слабоэродированная; 3 – среднеэродированная почва.

**Влияние микробных инокулянтов на фитопатологическое состояние посевов озимого тритикале Динаро.** Учеты пораженности растений корневой гнилью проведены в стадиях 32–33 (выход в трубку), 47–49 (набухание колосьев) и 61–65 (цветение). В фазах 32–33 и 47–49 развитие болезни за счет применения гриба-антагониста *T. longibrachiatum* снижалось в 2,0–2,3 раза по почвенно-эрозийной катене. Распространенность корневой гнили на незеродированной почве была ниже контроля: на незеродированной почве на 8,7–10,1 %, на слабо- и средне эродированной почвах – на 12,5–15,0 % и 12,5–14,0 %.

Развитие болезни за счет применения бинарного инокулянта *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* снижалось в 1,7–2,6 раза, распространенность корневой гнили была ниже контроля на 7,5–16,3 % по катене, за счет применения *B. circulans* + *T. longibrachiatum* – в 1,5–2,8 раза и за счет применения *A. brasilense* + *B. circulans* на 5,0–16,3 % соответственно. Биологическая эффективность бинарных инокулянтов в фазу выхода в трубку составила 23,9–52,3 %, в фазу набухания колосьев – 35,3–64,6 % (табл. 3)

Таблица 3

**Влияние микробных инокулянтов на развитие корневой гнили тритикале озимого Динаро на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах («Стоковые площадки», 2019 г.)**

Вариант опыта	Стадия 32–33 (выход в трубку)			Стадия 47–49 (набухание колосьев)			Стадия 61–65 (цветение)		
	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ	P, %	R, %	БЭ
Незеродированная почва									
Контроль	15,0	5,0	–	20,0	8,8	–	35,0	18,1	–
<i>A. brasilense</i>	8,8	3,1	38,0	10,0	4,4	49,7	25,0	12,8	29,3
<i>B. circulans</i>	11,3	3,8	24,0	15,0	4,7	46,3	28,8	14,7	18,8
<i>T. longibrachiatum</i>	6,3	2,2	56,0	9,9	4,3	50,9	19,8	10,5	42,0
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrach.</i>	7,5	2,5	50,0	8,8	3,4	61,1	18,8	9,7	46,4
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrach.</i>	10,0	2,8	44,0	11,3	3,1	64,6	21,3	10,0	44,8
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	10,0	3,4	32,0	12,5	4,1	53,1	23,3	11,6	35,9
Слабозеродированная почва									
Контроль	23,8	7,9	–	28,8	16,7	–	43,8	21,9	–
<i>A. brasilense</i>	13,8	4,6	37,5	15,0	7,9	52,7	30,0	15,3	30,1
<i>B. circulans</i>	15,0	5,0	33,0	17,5	10,0	40,1	32,5	16,9	22,8
<i>T. longibrachiatum</i>	11,3	3,8	46,6	13,8	7,5	55,1	23,8	11,9	45,7
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrach.</i>	10,0	3,3	52,3	12,5	7,1	57,5	23,8	12,2	44,3
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrach.</i>	12,5	4,2	42,0	12,5	6,7	59,9	22,5	11,3	48,4
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	17,5	5,8	23,9	20,0	11,7	42,7	30,0	15,0	31,5
Среднеэродированная почва									
Контроль	26,3	8,8	–	27,5	16,7	–	42,5	21,9	–
<i>A. brasilense</i>	20,0	6,7	23,9	22,5	12,9	22,8	32,5	15,9	27,4
<i>B. circulans</i>	16,3	5,4	38,6	18,8	10,4	37,7	33,8	17,2	21,5
<i>T. longibrachiatum</i>	12,3	4,1	53,4	15,0	8,3	50,3	25,0	12,5	42,9
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrach.</i>	15,0	5,0	43,2	17,5	9,6	42,5	26,3	12,2	44,3
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrach.</i>	17,3	5,8	34,1	20,0	10,8	35,3	28,8	13,1	40,2
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	18,8	6,3	28,4	21,3	12,1	38,0	31,3	15,3	30,1

*Примечание.* P – распространенность болезни, R – развитие болезни, БЭ – биологическая эффективность.

Установлено, что в стадии 61–65 (фаза цветения по ВВСН) за счет применения гриба *T. longibrachiatum* распространенность корневой гнили на незеродированной почве снижалась на 15,2 %, на слабо- и среднеэродированной – на 20,0 % и 17,5 %. Биологическая эффективность грибного компонента составила 42,0 %, 45,7 % и 42,9 % соответственно.

При использовании бинарной композиции *A. brasilense* + *Trichoderma* sp. L-7 распространенность болезни снижалась на 16,2 %, 20,0 % и 16,2 % на незеродированной, слабо- и среднеэродированной почвах. Биологическая эффективность – 46,4 %, 44,3 % и 44,3 % соответственно. Обработка посевов бинарным инокулянтом *B. circulans* + *T. longibrachiatum* способствовала снижению распространенности болезни на 13,7 %, 21,3 % и 13,7 % на незеродированной, слабо- и среднеэродированной почвах. Биологическая эффективность – 44,8 %, 48,4 % и 40,2 % соответственно. Бинарная композиция *A. brasilense* + *B. circulans*, обеспечивала биологическую эффективность 35,9 %, 31,5 % и 30,1 % на незеродированной, слабо- и среднеэродированной почвах (табл. 3).

В 2020 г. учет пораженности тритикале озимого корневой гнилью проведен в фазах 30–31 (выход в трубку), 49–51 (начало колошения) и 61–65 (цветение). Установлено, что максимальное число зараженных растений, 22,5 %, в фазе выхода в трубку отмечено на контроле на среднеэродированной почве – развитие болезни достигало 5,6 %, максимальный балл поражения – 1. При учете в стадии начала колошения распространение болезни на слабоэродированной и среднеэродированной почвах – на уровне 38,8 и 32,5 %, показатели развития болезни – 15,6 и 12,5 % соответственно (табл. 4).

Применение для обработки посевов гриба-антагониста *T. longibrachiatum* L-7 обеспечивало снижение распространенности корневой гнили на 5,0–14,0 % на водоразделе, на 6,2–18,8 % на слабоэродированной и на 10,2–20,0 % на среднеэродированной почвах. Биологическая эффективность составила 29,5–57,6 %, 32,0–51,9 % и 44,6–62,4 % соответственно по фазам выхода в трубку и начала колошения.

При использовании для инокуляции посевов бинарной композиции *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* L-7 распространенность болезни была ниже контроля на 6,2–13,7 %, на 10,0–21,3 % и на 11,2–20,0 % по почвенно-эрозийной катене. Биологическая эффективность составила 36,4–57,6 %, 50,0–57,7 % и 50,0–60,0 % соответственно по фазам выхода в трубку и начала колошения.

Применение двухкомпонентной микробной композиции *B. circulans* + *T. longibrachiatum* L-7 снижало распространенность корневой гнили на 7,5–13,7 %, 7,5–20,0 % и 8,9–18,7 % на водоразделе слабо- и среднеэродированных почвах; биологическая эффективность составила 43,2–55,2 %, 38,0–53,8 % и 39,3–55,2 % соответственно по фазам выхода в трубку и начала колошения.

При использовании двухкомпонентного инокулянта *A. brasilense* + *B. circulans* биологическая эффективность варьировала на незеродированной почве в пределах 29,5–52,8 %, на слабоэродированной – 24,0–47,2 %, на среднеэродированной – 44,6–52,8 % соответственно фазам учета.

В фазе цветения максимальное число зараженных растений отмечено на контроле (61,3 %) на среднеэродированной почве, развитие болезни достигало 25,3 %. Максимальный уровень поражения растений соответствовал 3 баллам. Биологическая эффективность применения гриба-антагониста *Trichoderma* sp.

L-7 составила 51,8–55,3 %, раздельного применения бактериальных инокулянтов *A. brasilense* и *B. circulans* – 35,6–50,0 % и 32,0–54,6 % соответственно. Использование двухкомпонентных микробных композиций, содержащих в составе гриб-антагонист *Trichoderma* sp. L-7, обеспечило биологическую эффективность в диапазоне 50,0–56,7 %. Биологическая эффективность обработки посевов бинарной бактериальной композицией *A. brasilense* + *B. circulans* варьировала в пределах – 39,5–48,4 % (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние микробных инокулянтов на развитие корневой гнили тритикале озимого Динаро на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах («Стоковые площадки», 2020 г.)**

Вариант опыта	Стадия 30–31 выход в трубку			Стадия 49–51 начало колошения			Стадия 61–65 цветение		
	P %	R %	БЭ	P %	R %	БЭ	P %	R %	БЭ
Неэродированная почва									
Контроль	17,5	4,4	–	30,0	12,5	–	42,5	18,8	–
<i>A. brasilense</i>	12,5	3,1	29,5	16,3	8,1	35,2	25,0	9,4	50,0
<i>B. circulans</i>	13,8	3,4	22,7	17,5	7,2	42,4	23,8	10,0	46,8
<i>T. longibrachiatum</i>	12,5	3,1	29,5	16,0	5,3	57,6	21,0	8,4	55,3
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	11,3	2,8	36,4	16,3	5,3	57,6	21,3	8,8	53,2
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	10,0	2,5	43,2	16,3	5,6	55,2	22,5	9,4	50,0
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	12,5	3,1	29,5	16,3	5,9	52,8	22,5	9,7	48,4
Слабозэродированная почва									
Контроль	20,0	5,0	–	38,8	15,6	–	42,5	19,4	–
<i>A. brasilense</i>	11,3	2,8	44,0	17,5	6,3	59,6	32,5	12,5	35,6
<i>B. circulans</i>	15,0	3,8	24,0	22,5	8,4	46,2	23,8	8,8	54,6
<i>T. longibrachiatum</i>	13,8	3,4	32,0	20,0	7,5	51,9	22,5	9,1	53,1
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	10,0	2,5	50,0	17,5	6,6	57,7	21,3	8,4	56,7
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	12,5	3,1	38,0	18,8	7,2	53,8	21,3	8,8	54,6
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	15,0	3,8	24,0	25,0	10,6	47,2	28,8	11,3	41,8
Среднеэродированная почва									
Контроль	22,5	5,6	–	32,5	12,5	–	61,3	25,3	–
<i>A. brasilense</i>	15,0	3,8	32,1	16,3	6,9	44,8	35,0	16,3	35,6
<i>B. circulans</i>	13,8	3,4	39,3	12,5	5,3	57,6	36,3	17,2	32,0
<i>T. longibrachiatum</i>	12,3	3,1	44,6	12,5	4,7	62,4	28,8	12,2	51,8
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	11,3	2,8	50,0	12,5	5,0	60,0	27,5	11,9	53,0
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	13,6	3,4	39,3	13,8	5,6	55,2	30,0	12,2	51,8
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	12,5	3,1	44,6	13,8	5,9	52,8	32,5	15,3	39,5

Примечание. P – распространенность болезни, R – развитие болезни, БЭ – биологическая эффективность.

**Влияние микробных инокулянтов на урожайность тритикале озимого Динаро.** По результатам лабораторных исследований установлено, что микробные инокулянты *A. brasilense*, *B. circulans* и *Trichoderma* sp. L-7 способны стимулировать рост и повышать адаптивные возможности растений. Результаты полевых исследований свидетельствуют об эффективном действии *A. brasilense*, *B. circulans* и *Trichoderma* sp. L-7 на показатели продукционного процесса и по-

раженность растений корневой гнилью, то есть в качестве биофунгицидов. Перечисленные факторы способствовали повышению урожайности тритикале озимого. Наиболее высокая эффективность обработки посевов отмечена при использовании бинарных микробных композиций *A. brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. circulans* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans*, которая составила 4,3–5,8 % на незэродированной, 5,5–6,6 % на слабоэродированной и 6,4–7,0 % на среднеэродированной почвах. Эффективность применения моноинокулянтов *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* варьировала в пределах 4,0–5,9 %, 1,9–5,5 % и 3,6–5,0 % по почвенно-эрозионной катене. Прослеживается тенденция повышения эффективности бинарных композиций микроорганизмов и моноинокулянтов на эродированных почвах, что указывает на их антистрессовое действие (табл. 5).

Таблица 5

**Влияние микробных инокулянтов на урожайность тритикале озимого Динаро (2019–2020 гг.)**

Вариант опыта	Урожайность, ц/га			Прибавка					
	1	2	3	1		2		3	
				ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Контроль	66,7	63,5	59,7	–	–	–	–	–	–
<i>A. brasilense</i>	69,4	66,7	63,2	2,7	4,0	3,2	5,0	3,5	5,9
<i>B. circulans</i>	68,0	66,6	63,0	1,3	1,9	3,1	4,9	3,3	5,5
<i>T. longibrachiatum</i>	69,2	65,8	62,7	2,5	3,7	2,3	3,6	3,0	5,0
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	70,6	67,7	63,9	3,9	5,8	4,2	6,6	4,2	7,0
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	69,6	67,0	63,9	2,9	4,3	3,5	5,5	4,2	7,0
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	70,3	67,7	63,5	3,6	5,4	4,2	6,6	3,8	6,4
НСР <sub>05</sub> фактор А (почва) –1,41; фактор В (инокуляция) – 2,31									

Примечание. 1 – незэродированная; 2 – слабоэродированная; 3 – среднеэродированная почва.

**Влияние микробных инокулянтов на качество зерна тритикале озимого Динаро.** Внесение микробных инокулянтов влияет на метаболизм растений, повышает их адаптацию в стрессовых условиях, что проявляется в повышении качества зерна по содержанию сырого протеина и в увеличении сбора белка. В среднем за два года наилучшие показатели по содержанию сырого белка в зерне тритикале озимого обеспечивали: бинарные композиции *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* (11,1–12,8 %), *A. brasilense* + *B. circulans* (11,6–12,7 %), и моноинокулянт *A. brasilense* (11,8–12,8 %) на незэродированных, слабо- и среднеэродированных почвах по сравнению с 10,3–11,6 % на контроле без инокуляции (табл. 6).

Таблица 6

**Влияние микробных инокулянтов и степени эродированности почвы на содержание протеина в зерне тритикале озимого Динаро (2019–2020 гг.)**

Вариант опыта	Сырой белок, %			Сбор сырого белка, ц/га		
	1	2	3	1	2	3
Контроль	11,6	10,8	10,3	6,7	5,9	5,3
<i>A. brasilense</i>	12,8	12,3	11,8	7,6	7,1	6,4
<i>B. circulans</i>	11,9	11,4	11,0	7,0	6,5	6,0



Вариант опыта	Сырой белок, %			Сбор сырого белка, ц/га		
	1	2	3	1	2	3
<i>T. longibrachiatum</i> .	12,5	11,6	10,2	7,4	6,6	5,5
<i>A. brasilense</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	12,8	12,1	11,1	7,8	7,0	6,1
<i>B. circulans</i> + <i>T. longibrachiatum</i>	12,4	11,8	10,9	7,4	6,8	6,0
<i>A. brasilense</i> + <i>B. circulans</i>	12,7	11,7	11,6	7,7	6,8	6,3
НСП <sub>05</sub> :						
фактор А (почва)	0,38			0,31		
фактор В (инокуляция)	0,56			0,56		

## ВЫВОДЫ

В полевых исследованиях на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах получены количественные показатели влияния микробных инокулянтов (обработка посевов) на продукционный процесс тритикале озимого по увеличению числа продуктивных стеблей, числа и массы семян в колосе. Установлено эффективное действие отдельного и совместного применения *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* в качестве биофунгицидов. Применение микробных инокулянтов способствовало повышению урожайности тритикале озимого Динаро. Наиболее эффективны бинарные композиции *A. brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. circulans* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans*, прибавки урожайности составили: 4,3–5,8 % на незэродированной, 5,5–6,6 % на слабоэродированной и 6,4–7,0 % на среднеэродированной почвах. Эффективность моноинокулянтов *A. brasilense*, *B. circulans* и *T. longibrachiatum* варьировала в пределах 4,0–5,9 %, 1,9–5,5 % и 3,6–5,0 % по почвенно-эрозионной катене. Повышение эффекта от микробных инокулянтов, отмеченного на эродированных почвах, свидетельствует об их антистрессовом действии. Применение бинарных композиций *A. brasilense* + *T. longibrachiatum* и *A. brasilense* + *B. circulans* и моноинокулянта *A. brasilense* обеспечивало повышение содержания сырого белка в зерне тритикале озимого на 11,1–12,8 %, 11,6–12,7 % и 11,8–12,8 % на незэродированных, слабо- и среднеэродированных почвах по сравнению с 10,3–11,6 % на контроле.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bashan, Y. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture / Y. Bashan, H. Levanony // Can. J. Microbiol. – 1990. – Vol. 36. – P. 591–608.
2. Okon, Y. Agronomic application of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation / Y. Okon, C. A. Labandera-Gonzalez // Soil Biol. Biochem. – 1994. – Vol. 26. – P. 1591–1601.
3. Изучение способности штамма *A. brasilense* к мобилизации ортофосфатов кальция / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвенные исследования и применение удобрений. – 2003. – Вып. 27. – С. 325–332.
4. Эффективность бактериализации разных видов трав *Azospirillum brasilense* / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2006. – № 1(36). – С. 202–207.

5. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н. А. Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.

6. Михайловская, Н. А. Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи / Н. А. Михайловская // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2006. – № 3. – С. 41–46.

7. Лапа, В. В. Эффективность бактериального удобрения Калиплант на дерново-подзолистой супесчаной почве с разной обеспеченностью подвижным калием / В. В. Лапа, Н. А. Михайловская, Т. Б. Барашенко // Агрохимия. – 2016. – № 6. – С. 29–38.

8. Эффективность бактериального удобрения Калиплант на посевах яровой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках / А. Ф. Черныш [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2013. – № 1. – С. 51–57.

9. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / НПЦ НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений; ред. Ф. Буга. – Несвиж: Несвижская укрупн. типогр. им. С. Будного, 2007. – 508 с.

10. Цыбулько, Н. Н. Обработка почвы в эрозионных и загрязненных радионуклидами агроландшафтах / Н. Н. Цыбулько, А. Ф. Черныш. – Минск: ИВЦ Минфина, 2014. – 423 с.

## **EFFICIENCY OF SEPARATE AND COMBINE APPLICATION OF *A. BRASILENSE*, *B. CIRCULANS* AND *T. LONGIBRACHIATUM* FOR THE TREATMENT OF WINTER TRITICALE SOWING ON ERODED LUVISOL SANDY LOAM SOILS**

**N. A. Mikhailouskaya, D. V. Voitka, A. V. Yukhnovets,  
T. B. Barashenko, C. V. Dyusova**

### **Summary**

Separate and combine application of *A. brasilense*, *B. circulans* and *T. longibrachiatum* in laboratory and field experiments showed their capability of plant growth stimulation, improvement of plant adaptation and productive process parameters of winter triticale. It was found the essential fungi static effect of separate and combine microbial inoculants on root rot development. Application of binary compositions *A. brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. circulans* + *T. longibrachiatum* and *A. brasilense* + *B. circulans* resulted in grain yield responses in diapason of 4,3–7,0 %. Yield responses from monoinoculants varied as follows: 1,9–5,9 % according soil erosion catena.

*Поступила 27.04.21*

## ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И НАКОПЛЕНИЕ НИТРАТОВ В ПЛОДАХ КАБАЧКА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ОКУЛЬТУРЕННОСТИ

Т. М. Серая<sup>1</sup>, Е. н. Богатырева<sup>1</sup>, Ю. А. Белявская<sup>1</sup>, Т. М. Кирдун<sup>1</sup>,  
О. М. Бирюкова<sup>1</sup>, М. М. Торчило<sup>1</sup>, Н. Ю. Жабровская<sup>1</sup>,  
И. Н. Путьрский<sup>2</sup>, Г. А. Демина<sup>2</sup>, Е. Н. Олешук<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Беларусь

### ВВЕДЕНИЕ

Тыква и кабачок являются ценнейшими пищевыми и диетическими продуктами питания [1, 2, 3]. Исходя из рациональных норм потребления пищевых продуктов, подготовленных с учетом рекомендаций отечественных и зарубежных специалистов, а также экспертов ВОЗ по здоровому питанию, рекомендуется употреблять на 1 человека в год 7 кг кабачка и тыквы. Это означает, что для удовлетворения своих внутренних потребностей без учета экспорта в Беларуси необходимо производить около 70 тыс. т данных видов овощей. Несмотря на то, что культуры являются традиционными и хорошо произрастают в почвенно-климатических условиях страны, потребность в них не удовлетворяется как для потребления в свежем виде, так и для перерабатывающих предприятий.

Основной проблемой, не позволяющей удовлетворить внутреннюю потребность в кабачке, является особенность данной культуры накапливать нитратный азот в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (400 мг/кг) для питания человека. Перерабатывающие предприятия республики для производства детского питания принимают кабачок с содержанием нитратов до 150 мг/кг.

Проблемы, связанные с накоплением нитратов, определили необходимость систематического контроля содержания этих токсикантов в продукции. Содержание нитратов в овощах зависит от многих факторов [4, 5, 6, 7]. Получение высококачественной продукции возможно только при сбалансированном удовлетворении потребности растений в макро-, микроэлементах и других необходимых для роста и развития веществах, так как недостаток или избыток хотя бы одного компонента угнетает растение, а, следовательно, снижает урожайность и качество продукции [8–12].

Для решения проблемы, касающейся выращивания кабачка высокого качества с низким содержанием нитратов, требуется установление оптимальных доз внесения азотных удобрений в зависимости от содержания гумуса и подвижных форм фосфора в почве, обеспечение оптимального соотношения N:P:K при расчете доз удобрений, подбор и применение удобрений для некорневых обработок.

Цель исследований – разработать оптимальные системы удобрения кабачка, обеспечивающие стабильную урожайность плодов с высокой степенью безопасности для человека на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые технологические опыты проведены на опытных полях Института почвоведения и агрохимии: в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района на среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком, почве. Почва характеризуется содержанием гумуса в пределах 1,89–2,63 %, подвижных форм  $P_2O_5$  – 176–247 мг/кг,  $K_2O$  – 146–183 мг/кг,  $pH_{KCl}$  5,87–6,10; и в ОАО «Гастелловское» Минского района на высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве с содержанием гумуса в пределах 2,48–3,10%, подвижных форм  $P_2O_5$  – 531–755 мг/кг,  $K_2O$  – 323–401 мг/кг,  $pH_{KCl}$  6,34–6,64.



Рис. 1. Гибрид кабачка, испытываемый в опытах

Возделывали кабачок гибрид Каризма (рис. 1). Предшественник – озимая пшеница. Опыт заложен в 4-кратной повторности. Площадь делянки – 15 м<sup>2</sup>. Схемы опытов представлены в таблицах 1, 2.

Подстилочный навоз крупного рогатого скота вносили осенью под вспашку, минеральные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) – весной под культивацию. В период вегетации согласно схеме опыта проведены подкормки посевов кабачка микроудобрением с биостимулятором МикроСтим-Цинк, Бор (N – 93 г/л; В – 30 г/л; Zn – 46 г/л; гуминовые вещества – 6,0 г/л) в дозе 1,6 л/га в фазу 2–3 настоящих листьев и через 7–10 дней после 1-й обработки; комплексным удобрением Адоб Профит 4+12+38 в дозе 2 кг/га в фазу 3–4 настоящих листьев и в фазу бутонизации – начало цветения; комплексное удоб-

рение Салюкат Плюс в дозе по 1 кг/га в фазу начала формирования плодов и через 10–15 дней после первой.

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

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: органический углерод (ГОСТ 27980-88),

общий азот (ГОСТ 26715-85), фосфор (ГОСТ 26717-85), калий (ГОСТ 26718-85), кальций (ГОСТ 26570-95), магний (ГОСТ 30502-97).

Содержание нитратов в плодах кабачка определяли ионометрическим методом (ГОСТ 13496.19-93).

Статистическую обработку результатов осуществляли согласно методике полевого опыта Б. А. Доспехова [13] с использованием MS Excel 2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении исследований существенное влияние на урожайность кабачка оказали погодные условия вегетационного периода. В засушливом 2018 г. (ГТК 1,1) урожайность кабачка на средне окультуренной дерново-подзолистой супесчаной почве в среднем по опыту была на 20 % ниже, чем на высокоокультуренной суглинистой почве (табл. 1, 2), в то время как в 2019 г. при ГТК 1,5 разница в урожае кабачка в зависимости от гранулометрического состава почвы практически отсутствовала, а в 2020 г. (ГТК 1,4) на супесчаной почве была на 10 % ниже. При этом в погодных условиях 2020 г. в среднем по удобренным вариантам урожайность кабачка на высоко окультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве была на 13 % выше, чем на среднеокультуренной супесчаной, в то время как на контроле – на 32 %.

Установлено, что от погодных условий вегетационного периода зависела эффективность применяемых удобрений. В условиях недостаточного увлажнения (2018 г.) высокую прибавку оказал подстилочный навоз КРС, при достаточном увлажнении почвы высокая урожайность получена за счет плодородия почвы. При жаркой сухой погоде некорневые подкормки не только не способствовали повышению урожая, но и привели к его снижению.

Так, в засушливом 2018 г. (ГТК 1,1) урожайность кабачка за счет плодородия среднеокультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы составила 56,4 т/га плодов (табл. 1). Внесение  $N_{60}P_{60}K_{120}$  обеспечило прибавку урожая на 28,9 т/га, или 51 % к контролю. Окупаемость 1 кг NPK составила 120 кг плодов кабачка. Увеличение доз минеральных удобрений до  $N_{90}P_{60}K_{180}$  обеспечило рост урожайности на 8,9 т/га, на дополнительно внесенный 1 кг NPK получено 99 кг плодов. Аналогичную урожайность обеспечило внесение под кабачок 60 т/а подстилочного навоза крупного рогатого скота. Максимальная урожайность получена при внесении на фоне 60 т/га подстилочного навоза крупного рогатого скота  $N_{30}P_{30}K_{90}$  – 100,1 т/га. В вариантах с некорневыми подкормками удобрениями в погодных условиях вегетационного периода 2018 г. отмечено снижение урожайности относительно фона на 7,2–7,4 т/га.

Таблица 1

### Влияние удобрений на урожайность кабачка Каризма на дерново-подзолистой супесчаной почве в ПРУП «Э/б им. Котовского»

Вариант опыта	Урожайность, т/га				Прибавка, т/га
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	
Без удобрений (контроль)	56,4	80,6	81,3	<b>72,8</b>	–
$N_{60}P_{60}K_{120}$ – фон	85,3	90,7	97,0	<b>91,0</b>	18,2

Вариант опыта	Урожайность, т/га				Прибавка, т/га
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	сред- нее	
$N_{90}P_{60}K_{180}$	94,2	98,5	108,9	<b>100,5</b>	27,7
Подстилочный навоз крупного рогатого скота, 60 т/га	95,2	107,0	113,5	<b>105,2</b>	32,4
Подстилочный навоз крупного рогатого скота, 60 т/га + $N_{30}P_{30}K_{90}$	100,1	120,9	129,8	<b>116,9</b>	44,1
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор, (1,6+1,6) л/га	78,0	109,4	108,3	<b>98,6</b>	25,8
Фон + Адоб Профит 4+12+38, (2+2) кг/га	77,9	114,2	111,0	<b>101,0</b>	28,2
Фон + Солюкат Плюс 0-16-34, (1+1) кг/га	78,1	107,4	115,6	<b>100,4</b>	27,6
$НСР_{05}$	4,4	5,3	5,2		5,0

В 2019 г. (ГТК 1,5) урожайность в неудобренном варианте составила 80,6 ц/га, что в 1,4 раза выше, чем в 2018 г., в то время как на удобренных вариантах – в 1,2 раза выше. Внесение  $N_{60}P_{60}K_{120}$  обеспечило прибавку урожайности на 10,2 т/га, или 13 % к контролю (табл. 1). Окупаемость 1 кг NPK составила 42,5 кг плодов кабачка. Увеличение доз минеральных удобрений до  $N_{90}P_{60}K_{180}$  обеспечило рост урожайности на 18,0 т/га по сравнению с неудобренным вариантом. В результате на 1 кг NPK получено 54,5 кг плодов, что на 12 кг больше, чем при более низкой дозе минеральных удобрений. Внесение подстилочного навоза крупного рогатого скота в дозе 60 т/га обеспечило сбор плодов кабачка на уровне 107,0 т/га, что на 26,5 т/га выше, чем на контроле. Таким образом, на 1 т навоза получено 442 кг кабачка. Внесение на фоне подстилочного навоза КРС  $N_{30}P_{30}K_{90}$  способствовало дополнительному росту урожайности плодов на 13,8 т/га или 92 кг на 1 кг NPK. Некорневые обработки растений микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор обеспечили рост урожайности на 18,7 т/га, Адоб Профит – на 23,5 т/га, удобрением Солюкат Плюс – на 16,7 т/га.

В 2020 г. (ГТК 1,4) урожайность кабачка Каризма за счет плодородия среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы составила 81,3 т/га плодов. Внесение  $N_{60}P_{60}K_{120}$  обеспечило прибавку урожайности на 15,7 т/га, или 19 % к контролю. Окупаемость 1 кг NPK составила 65,4 кг плодов кабачка. Увеличение доз минеральных удобрений до  $N_{90}P_{60}K_{180}$  обеспечило рост урожайности на 27,1 т/га по сравнению с неудобренным вариантом. В результате на 1 кг NPK получено 83,6 кг плодов, что на 18,2 кг больше, чем при более низкой дозе минеральных удобрений. Внесение подстилочного навоза крупного рогатого скота в дозе 60 т/га обеспечило сбор плодов кабачка на уровне 113,5 т/га, что на 32,2 т/га выше, чем на контроле. Таким образом, на 1 т навоза получено 537 кг кабачка. Внесение на фоне подстилочного навоза КРС  $N_{30}P_{30}K_{90}$  способствовало дополнительному росту урожайности плодов на 16,3 т/га, или 109 кг на 1 кг NPK. Некорневые обработки растений микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор на фоне  $N_{60}P_{60}K_{120}$  обеспечили рост урожайности кабачка на 11,3 т/га, Адоб Профит – на 14,0 т/га, органоминеральным удобрением Салюкат Плюс – на 18,6 т/га.

Таким образом, в среднем за 3 года за счет плодородия среднекультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы получено 72,8 т/га плодов кабачка.

Внесение  $N_{60}P_{60}K_{120}$  обеспечило прибавку урожая на 18,2 т/га, или 25 % к контролю. Окупаемость 1 кг NPK составила 76 кг плодов кабачка. Увеличение доз минеральных удобрений до  $N_{90}P_{60}K_{180}$  обеспечило рост урожайности на 9,5 т/га, т. е. на дополнительно внесенный 1 кг NPK получено 105 кг плодов. Близкую урожайность обеспечило внесение под кабачок 60 т/а подстильного навоза крупного рогатого скота. Максимальная урожайность получена при внесении на фоне 60 т/га подстильного навоза KPC +  $N_{30}P_{30}K_{90}$  – 116,9 т/га. В вариантах с некорневыми подкормками удобрениями отмечено повышение урожайности относительно фона на 7,6–10 т/га, что составило 8–11%.

За счет плодородия высококультуренной дерново-подзолистой суглинистой почвы в погодных условиях 2018 г. получено 66,2 т/га плодов кабачка, что на 9,8 т/га, или 17% больше по сравнению со среднекультуренной супесчаной почвой, в среднем по удобренным вариантам разница в урожае составила 20 % (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние удобрений на урожайность кабачка Каризма на дерново-подзолистой суглинистой почве в ОАО «Гастелловское»**

Вариант опыта	Урожайность, т/га				Прибавка, т/га
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	
Без удобрений (контроль)	66,2	77,3	107,4	<b>83,6</b>	
$N_{60}P_{30}K_{90}$ – фон	101,1	95,2	123,5	<b>106,6</b>	23,0
$N_{90}P_{30}K_{150}$	105,2	102,0	134,5	<b>113,9</b>	30,3
Подстильный навоз крупного рогатого скота, 60 т/га	110,9	108,9	119,8	<b>113,2</b>	29,6
Подстильный навоз крупного рогатого скота, 60 т/га + $N_{30}P_{30}K_{90}$	115,1	107,6	136,0	<b>119,6</b>	36,0
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор, (1,6+1,6) л/га	99,6	110,2	124,0	<b>111,3</b>	27,7
Фон + Адоб Профит 4+12+38, (2+2) кг/га	96,4	108,3	125,5	<b>110,1</b>	26,5
Фон + Солюкат Плюс 0-16-34, (1+1) кг/га	100,2	104,8	124,5	<b>109,8</b>	26,2
$HCP_{05}$	5,2	5,1	5,4	5,2	

Внесение минеральных удобрений в дозах  $N_{60}P_{30}K_{90}$  (фон) способствовало росту урожайности на 34,9 т/га, или на 53 %, в то время как на супесчаной почве – на 12 %, что связано с лучшей влагообеспеченностью суглинистой почвы в засушливых погодных условиях 2018 г. (ГТК 1,1). В результате на 1 кг NPK получено 194 кг плодов. Увеличение доз удобрений до  $N_{90}P_{30}K_{150}$  обеспечило только тенденцию к росту урожайности по сравнению с фоном. Некорневые обработки микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор, комплексными удобрениями Адоб Профит 4+12+38 и Солюкат Плюс 0-16-34 к значимым изменениям урожайности кабачка не привели.

В 2019 г. в неудобренном варианте получено 77,3 т/га плодов кабачка, что на уровне урожайности на среднекультуренной супесчаной почве. Внесение минеральных удобрений в дозах  $N_{60}P_{30}K_{90}$  (фон) способствовало росту урожайности на 17,9 т/га, или на 23 %. В результате на 1 кг NPK получено 99 кг плодов. Увеличение доз удобрений до  $N_{90}P_{30}K_{150}$  обеспечило рост урожайности по сравнению с фо-

ном на 6,8 т/га, но при этом окупаемость 1 кг NPK снизилась до 91 кг. В погодных условиях текущего года агрономически эффективным приемом было внесение подстилочного навоза крупного рогатого скота как на среднеокультуренной, так и на высокоокультуренной почвах. Прибавка урожая на высокоокультуренной почве за счет внесения 60 т/га ПН крупного рогатого скота составила 31,6 т/га, т. е. на 1 т навоза получено 527 кг плодов кабачка. Дополнительное внесение  $N_{30}P_{30}K_{90}$  на фоне 60 т/га ПН КРС не оказало существенного влияния на урожайность. Высокоэффективными в текущем году были некорневые обработки растений кабачка микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор (прибавка к фону – 15,1 т/га), удобрений Адоб Профит 4+12+38 (прибавка к фону – 13,1 т/га) и Солюкат Плюс 0-16-34 (прибавка к фону – 9,6 т/га).

В 2020 г. за счет плодородия высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почвы получено 107,4 т/га плодов кабачка (табл. 2), что на 26,1 т/га выше (+32 %), чем на среднеокультуренной супесчаной почве (табл. 1). Внесение минеральных удобрений в дозах  $N_{60}P_{30}K_{90}$  (фон) способствовало росту урожайности на 16,1 т/га, или на 15 %. В результате на 1 кг NPK получено 89 кг плодов. Увеличение доз удобрений до  $N_{90}P_{30}K_{150}$  обеспечило рост урожайности по сравнению с фоном на 11,0 т/га. Прибавка урожайности на высокоокультуренной почве за счет внесения 60 т/га ПН крупного рогатого скота составила 12,4 т/га, т. е. на 1 т навоза получено 206 кг плодов кабачка. Дополнительное внесение  $N_{30}P_{30}K_{90}$  на фоне 60 т/га ПН крупного рогатого скота увеличило урожайность на 16,2 т/га. В погодных условиях 2020 г. некорневые подкормки растений кабачка изучаемыми удобрениями на высокоокультуренной почве не оказали существенного влияния на урожайность плодов.

В результате на высокоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве в среднем за 3 года за счет ее плодородия получено 83,6 т/га плодов кабачка. Внесение  $N_{60}P_{30}K_{90}$  обеспечило прибавку урожая на 23 т/га, или 28 % к контролю (табл. 5). Окупаемость 1 кг NPK составила 128 кг плодов кабачка. Увеличение доз минеральных удобрений до  $N_{90}P_{30}K_{150}$  обеспечило рост урожайности на 7,3 т/га по сравнению с фоном при окупаемости дополнительно внесенного 1 кг NPK 81 кг плодов. Внесение подстилочного навоза КРС в дозе 60 т/га обеспечило сбор плодов кабачка на уровне 113,2 т/га, что на 29,6 т/га выше, чем на контроле, обеспечив на 1 т навоза 493 кг кабачка. Внесение  $N_{30}P_{30}K_{90}$  по фону подстилочного навоза КРС способствовало дополнительному росту урожайности плодов на 6,4 т/га, или 43 кг на 1 кг NPK. Некорневые подкормки растений микроудобрением МикроСтим-Цинк, Бор обеспечили рост урожайности на 4,7 т/га, Адоб Профит – на 3,5 т/га, удобрением Солюкат Плюс – на 3,2 т/га, что на 3–4 % выше фона.

Анализ содержания нитратов показал, что в основном в плодах каждого последующего сбора накапливалось нитратов меньше, чем в предыдущем. Ко времени уборки урожая содержание сухого вещества в кабачках составило 7–8 %, что показывает их пригодность для переработки. При существующих ПДК нитратов для переработки кабачка на пищевые цели (400 мг/кг) и на детское питание (200 мг/кг) в течение трех лет исследования кабачок первого сбора по содержанию нитратов не проходил для переработки на детское питание.

Установлено, что накопление нитратов зависело от погодных условий, особенно в период формирования урожая. 2018 год характеризовался наиболее высоки-



ми температурами и количеством солнечных дней в период созревания кабачка (июль-август). Так, сухая солнечная погода в июле-августе 2018 г. была самой благоприятной для получения плодов кабачка с низким содержанием нитратов: кабачок второго и третьего сборов на высококультуренной почве и третьего сбора на среднекультуренной почве во всех вариантах был пригоден для переработки на детское питание (табл. 3). В среднем по опыту на высококультуренной почве в плодах кабачка накопление нитратов составило 198 мг/кг, на среднекультуренной – 245 мг/кг.

В 2018 г. в среднем по вариантам в плодах первого сбора содержание нитратов на высококультуренной почве составило 391 мг/кг, на среднекультуренной – 363 мг/кг, во втором сборе – 112 мг/кг и 231 мг/кг и в третьем сборе – 92 мг/кг и 141 мг/кг соответственно. В 2020 г. в первом сборе в плодах в среднем содержалось 414 мг/кг на высококультуренной почве и 540 мг/кг – на среднекультуренной почве, во втором сборе – 434 и 425 мг/кг и в третьем – 184 и 160 мг/кг соответственно (табл. 3).

Самым неблагоприятным для получения плодов кабачка с низким содержанием нитратов был вегетационный период 2019 г., при большом количестве пасмурных дней ГТК в августе составил 1,88 (ГТК в 2018 г. – 0,78, в 2020 г. – 1,14). В результате, независимо от срока уборки, содержание нитратов было достаточно высоким – около 400 мг/кг и выше (табл. 3).

На дерново-подзолистой высококультуренной почве в условиях 2018 г. наблюдалась четкая зависимость накопления нитратов от системы удобрения: некорневые подкормки микроудобрением МикроСтим-Цинк,Бор, комплексным удобрением Адоб Профит 4+12+38 и удобрением Солюкат Плюс 0-16-34 способствовали снижению накопления нитратов в среднем за сезон на 24–33 %, в то время как на среднекультуренной на 9–12 %, в 2019 г. – на обеих почвах, благодаря некорневым подкормкам, нитратов накапливалось на 19–24 % ниже фона, в 2020 г. – на высококультуренной почве – на 13–26 % ниже фона, на среднекультуренной – на 7–14 % (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние удобрений на накопление нитратов в плодах кабачка Каризма на дерново-подзолистых почвах, 2018-2020 гг.**

Вариант опыта	Содержание нитратов, мгNO <sub>3</sub> -/кг			
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее
<i>Дерново-подзолистая супесчаная почва</i>				
Без удобрений (контроль)	234	405	362	334
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub> – фон	246	452	371	356
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>180</sub>	266	466	429	387
Подстилочный навоз крупного рогатого скота, 60 т/га	264	476	395	378
Подстилочный навоз крупного рогатого скота, 60 т/га + N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	289	585	443	439
Фон + МикроСтим-Цинк,Бор, (1,6+1,6) л/га	224	355	344	308
Фон + Адоб Профит 4+12+38, (2+2) кг/га	218	359	341	306
Фон + Солюкат Плюс 0-16-34, (1+1) кг/га	217	354	317	296
НСР <sub>05</sub>	21	38	31	31

Вариант опыта	Содержание нитратов, мгNO <sub>3</sub> -/кг			
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее
<i>Дерново-подзолистая суглинистая почва</i>				
Без удобрений (контроль)	211	403	375	330
N <sub>60</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub> – фон	228	478	343	350
N <sub>90</sub> P <sub>30</sub> K <sub>150</sub>	233	420	410	354
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га	206	426	360	331
Подстилочный навоз КРС, 60 т/га + N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>90</sub>	221	575	415	404
Фон + МикроСтим-Цинк, Бор, (1,6+1,6) л/га	154	371	300	275
Фон + Адоб Профит 4+12+38, (2+2) кг/га	162	362	293	272
Фон + Солюкат Плюс 0-16-34, (1+1) кг/га	173	385	254	271
НСР <sub>05</sub>	19	37	29	29

В результате определения содержания нитратов в различных ярусах кабачка (рис. 2) установлено, что наибольшее количество нитратов содержится в первом, нижнем ярусе (в возрастной категории самые старые плоды) и в верхнем ярусе (самые молодые плоды). У плодов центрального яруса (обычно плоды 2, 3 яруса) содержание нитратов ниже. По мере вызревания плодов на кусте содержание нитратов уменьшается, в то время как у срезанных плодов, при хранении на складе или в междурядьях, количество нитратов не уменьшается или уменьшается незначительно. При превышении норм по содержанию нитратов в кабачке, плоды нижнего яруса целесообразно использовать, например, для кормления животных.



Рис. 2. Содержание нитратов в различных ярусах плодов кабачка, мг/кг сырой массы

Установлено, что содержание нитратов в различных частях кабачка не одинаково (рис. 3). Наибольшая концентрация нитратов находится в нижней час-

ти плода, месте крепления плети и экзокарпия. Меньшее содержание нитратов в эндокарпии. Мезокарпий (основная часть плода) содержит среднее значение между экзокарпием и эндокарпием, и определяет основное содержание нитратов в плоде.

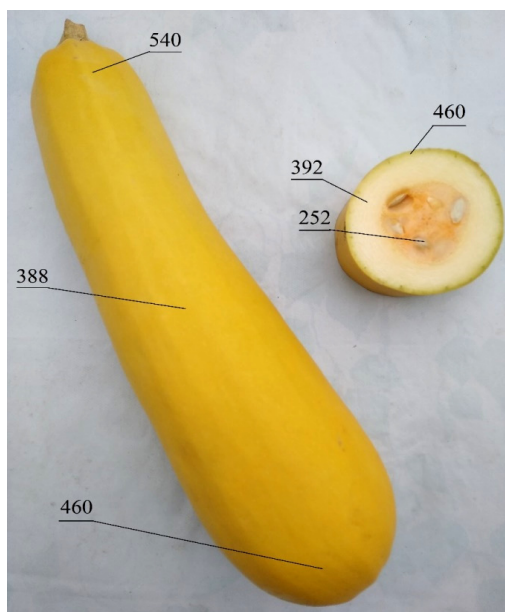


Рис. 3. Содержание нитратов в отдельных частях кабачка, мг/кг сырой массы

В результате сравнительного анализа содержания нитратов в сортах кабачка (табл. 4) установлено, что наиболее низким их накоплением отличались сорта Черный красавец и Цукеша.

Таблица 4

**Сортовая специфичность относительно накопления нитратов кабачком**

Сорт	Сроки созревания	Содержание нитратов, мг/кг	% к контролю
Грибовский 37	Среднеспелый	350	100
Цукеша	Раннеспелый	321	92
Ананасный	Раннеспелый	393	112
Каризма F <sub>1</sub>	Раннеспелый	386	110
Аэронавт	Раннеспелый	329	94
Черный красавец	Раннеспелый	310	88
Находка F <sub>1</sub>	Раннеспелый	376	107

**ВЫВОДЫ**

Разработаны оптимальные системы удобрения кабачка, возделываемого на дерново-подзолистых почвах, обеспечивающие стабильную урожайность с высоким качеством плодов. Некорневые подкормки посевов кабачка одним

из удобрений: МикроСтим-Цинк, Бор, (1,6+1,6) л/га, Адоб Профит 4+12+38, (2+2) кг/га или Солюкат Плюс 0-16-34, (1+1) кг/га на фоне  $N_{60}P_{60}K_{120}$  (для среднекультуренной супесчаной почвы) и  $N_{60}P_{30}K_{90}$  (для высококультуренной суглинистой почвы) обеспечивают урожайность плодов на уровне 98,6–101,0 т/га, или на 8–11 % выше фона при снижении содержания нитратов в среднем на 13–17 % на среднекультуренной почве и 109,8–111,3 ц/га, или на 3–4 % выше фона при снижении содержания нитратов в среднем на 21–23 % на высококультуренной почве.

Выявлены сорта и гибриды кабачка, которые в меньшей степени накапливают нитратный азот в конкретных почвенно-климатических условиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В мире экологизированного и органического овощеводства / А. А. Аутко [и др.]. – Гродно: ООО «ЮрСаПринт», 2018. – 220 с.
2. Велик, В. Ф. Овощные культуры и технология их возделывания / В. Ф. Велик, В. Е. Советкина. – М.: Агропромиздат. – 1991. – 480 с.
3. Литвинов, С. С. Выращивание овощей для детского и диетического питания / С. С. Литвинов, В. А. Борисов. – М., 1998. – 68 с.
4. Глунцев, Н. М. Как снизить содержание нитратов в продукции / Н. М. Глунцев, Л. В. Дмитриева, С. О. Макарова // Картофель и овощи. – 1990. – № 1. – С. 24–28.
5. Покровская, С. Ф. Пути снижения содержания нитратов в овощах / С. Ф. Покровская. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1988. – 59 с.
6. Алексеев, В. Н. Влияние системы удобрения кабачка на содержание нитратов в продукции / В. Н. Алексеев, П. В. Бородин, Я. В. Тевель // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XX Междун. науч.-практ. конф. – Гродно, 2007. – С. 85–86.
7. Обуховская, Л. В. Влияние различных норм азотных удобрений и ингибиторов нитрификации на накопление нитратов в овощных культурах: автореф. дис ... канд. биол. наук: 06.01.04 / Л. В. Обуховская; ТСХА. – М., 1981. – 18 с.
8. Переднев, В. П. Удобрение овощных культур / В. П. Переднев. – Минск: Ураджай, 1987. – 144 с.
9. Переднев, В. П. Урожай и качество овощей при длительном внесении удобрений / В. П. Переднев, П. Я. Пивень // Качество овощей и бахчевых культур. – М.: Колос, 1981. – С. 172.
10. Бадьина, В. М. Действие и последствие органических удобрений на урожайность, качество овощных культур и плодородие почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В. М. Бадьина; БСХА. – Горки, 1989. – 18 с.
11. Дерюгин, И. П. Питание и удобрение овощных культур / И. П. Дерюгин, А. Н. Кулюкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МСХА, 1998. – 326 с.
12. Борисов, В. А. Оптимизация питания овощных культур / В. А. Борисов // Картофель и овощи. – 1997. – № 1. – С. 21–23.
13. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

**INFLUENCE OF FERTILIZERS ON YIELD AND ACCUMULATION  
OF NITRATES IN THE FRUITS OF ZUCHININ SOD-PODZOLIC SOILS  
OF DIFFERENT DEGREES OF FERTILITY**

**T. M. Seraya, E. N. Bahatyrova, Y. A. Belyavskaya, T. M. Kirdun,  
O. M. Biryukova, M. M. Torchilo, N. Yu. Zhabrovskaya, I. N. Putyrsky,  
G. A. Demina, E. N. Oleshuk**

**Summary**

On the basis of new experimental data obtained in field technological experiments, optimal systems for fertilizing zucchini cultivated on sod-podzolic soils of different degrees of fertility have been developed, providing stable yields with high fruit quality.

Varieties and hybrids of zucchini that accumulate nitrate to a lesser extent in specific soil and climatic conditions are identified.

*Поступила 03.03.21*

УДК 541.726:631.589:631.811

**ПИТАТЕЛЬНЫЙ СУБСТРАТ ДЛЯ РАСТЕНИЙ  
НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТОВ**

**В. С. Солдатов, А. П. Езубец, В. В. Сапрыкин,  
Е. Г. Косандрович, Л. Н. Шаченкова**

*Институт физико-органической химии  
Национальной академии наук Беларуси,  
г. Минск, Беларусь*

**ВВЕДЕНИЕ**

Возможность использования цеолитов в качестве носителей катионных питательных элементов для растений непосредственно следует из их химической природы и физического строения. Наиболее подходящие для этой цели природные цеолиты имеют обменную емкость до 100 м-экв/100 г и водопоглощение около 20 %. В природе они находятся в виде осадочных или вулканических туфов с содержанием основного компонента до 70 %. Известно, что внесение в питательные среды природных цеолитовых туфов (обычно упоминаемых как *цеолиты*) оказывает положительное действие на рост растений. Это может быть связано с тем, что они содержат некоторое количество подвижного калия, примеси карбонатов кальция и магния, микроэлементы. Кроме того, считается, что они улучшают агрофизические свойства почв, содействуя их разрыхлению и водоудерживающей способности. Обширная библиография по этому вопросу содержится в книге [1]. Запасы разведанных месторождений на Земле исчисляются несколькими миллиардами тонн, а их добыча составляла в 2016 г. 1,6 млн т. Они применяются преимущественно в качестве сорбентов и катализаторов в промышленности и быту. Природные цеолиты непригодны для выращивания растений, так как не

содержат всех питательных веществ, необходимых для их роста. Цеолиты разных месторождений могут сильно различаться по составу, содержанию подвижных ионов (обычно это натрий и кальций), микроэлементов и макроскопических примесей. Немодифицированные природные цеолиты не нашли широкого применения в сельскохозяйственном растениеводстве. Цеолиты, насыщенные элементами питания растений, обычно калием и/или аммонием, добавленные в питательные среды для растений, существенно улучшали рост растений. Исследования в этом направлении описаны в работах [2–10]. В статьях [11–13] сообщается о попытках получить полноценный питательный субстрат для растений из цеолитов. Недавно разработан полноценный питательный субстрат [14], присутствующий на рынке под торговой маркой ЦИОН®. Он производится в Беларуси в опытно-промышленных объемах и доступен в виде нескольких модификаций, различающихся соотношением азота и калия и рН субстратного раствора. Свойства этого субстрата исследованы недостаточно и перспективы его использования в сельском хозяйстве не ясны. Проведенные нами эксперименты [15–16] свидетельствуют о перспективности цеолитных субстратов и необходимости их систематического исследования. Настоящая статья представляет собой краткий обзор работ в этом направлении и имеет цель описать основные свойства цеолитных субстратов, чтобы привлечь внимание исследователей почвоведов и агрохимиков к новым возможностям, которые открываются при их использовании в растениеводческой практике.

### Состав цеолитных субстратов

Сырьем для получения субстрата, описываемого в настоящей статье, служит ионообменный минерал группы цеолитов – клиноптилолит Холинского месторождения (Забайкальская группа, Россия). Большие месторождения подобных минералов имеются в Российской Федерации, Украине, на Кавказе и Восточно-Европейских странах. Цеолитные субстраты на 98 % состоят из химически модифицированного клиноптилолита и содержат 2 % корректирующих добавок – природных фосфатных минералов. Цеолит насыщен ионами  $K^+$  и  $NH_4^+$ , молярное соотношение которых (N/K) может варьировать в пределах  $N/K = 0,5–4$ . Процесс химической модификации цеолита состоит в замене подвижных ионов  $Na^+$  и  $Ca^{2+}$ , преимущественно присутствующих в природном туфе, на  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $H^+$  и катионы микроэлементов (рис. 1). Величина рН контактирующей с субстратом воды также может быть задана в процессе производства ( $pH = 4,5–7,5$ ). Эти параметры могут меняться в соответствии с требованиями потребителя. При его истощении первый дефицит наступает по азоту и калию. Истощенный субстрат может быть регенерирован. Субстрат состоит из частиц с размером 0,7–4 мм. Частицы легко смачиваются и поглощают до 0,2 г воды на грамм сухого субстрата. Содержание основных питательных элементов в субстрате зависит от заданного значения рН контактирующей с ним поливной воды. Например, в субстрате «ЦИОН классик» ( $pH = 6,5$ ,  $N/K = 3$ ) содержание (д. в.) подвижных азота, фосфора и калия существенно больше, чем в других питательных средах, и составляет 6200, 2500 и 5700 мг элемента/кг соответственно. Весь азот в субстрате находится в аммонийной форме. В кислотных и буферных экстрактах из субстрата обнаруживаются все необходимые растению микроэлементы. Они могут переходить в воду

только за счет гидролиза ионных форм цеолита ( $K^+$ ,  $NH_4^+$ ), ионного обмена на ионы, присутствующие в воде, контактирующей с субстратом, и ограниченной растворимости солей остальных компонентов. Концентрация и пропорции ионов в растворе соответствуют потребностям растений.

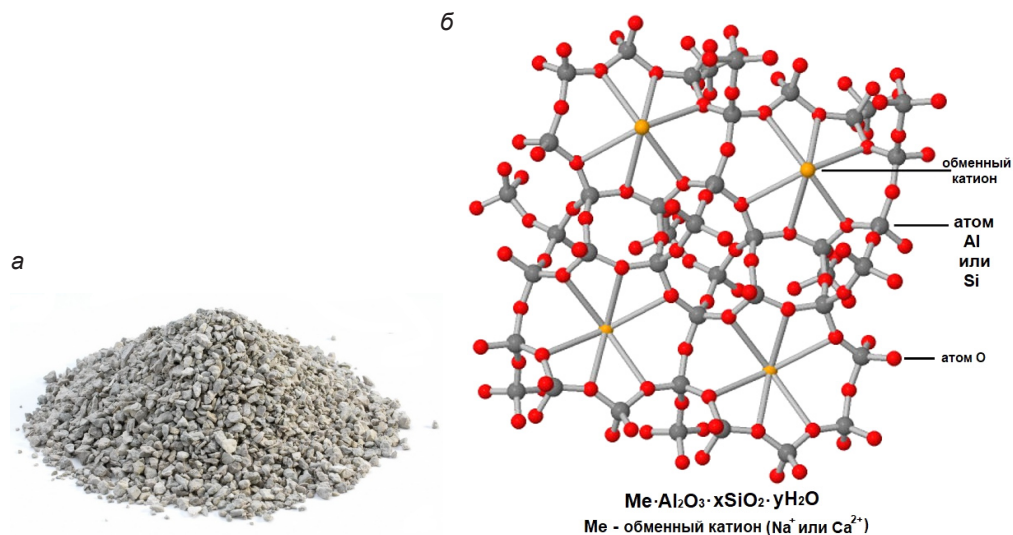


Рис. 1. Вид образца цеолита (а) и его строение (б)

### Особенности цеолитных субстратов Цион

Благодаря большому аккумулированному запасу питательных веществ растения могут расти на чистом цеолитном субстрате без добавки удобрений в течение длительного времени. Считая, что ресурс автономной работы субстрата, как источника минерального питания, лимитируется содержанием азота, один килограмм субстрата в чистом виде или в смеси с различными бесплодными или питательными средами обеспечивает получение 1–5 кг общей сырой (до 1 кг сухой) биомассы в зависимости от культуры растения.

При добавке субстрата в почвы его передозировка невозможна, так как концентрация ионов в субстратном растворе постоянна и не зависит от количества субстрата, находящегося с ним в контакте. После истощения цеолита относительно ионов  $K^+$  и  $NH_4^+$  их запас может быть пополнен путем добавки в почву калийного и аммонийного удобрений. Эти ионы будут поглощены цеолитом, который пополнит обменный комплекс почвы и останется в ней до его физического удаления из пахотного слоя, если это явление будет иметь место. Цеолиты не являются твердыми минералами (твердость по минералогической шкале 3–5 баллов) и при интенсивном механическом воздействии в водных средах распадаются на микроскопические частицы (вплоть до полной пептизации). Известно [5, 7, 10], что положительное действие природных не модифицированных цеолитов на свойства почв наблюдается в течение 7–10 лет после его однократного внесения. Однако влияние добавки цеолитов на свойства почв не сводится только к увеличению ее поглотительного комплекса и изучено недостаточно.

Химический состав ионитных субстратов точно известен, полностью контролируем, воспроизводим и может быть целенаправленно изменен для удовлетворения требований специфических растений.

Цеолитные субстраты практически стерильны и легко могут стерилизоваться в процессе эксплуатации. Они не содержат в своем составе фитогормоны, ускорители роста, гербициды или другие химикаты, потенциально опасные для человека. Могут использоваться «как есть» или в качестве добавок в природные почвы, питательные или бесплодные грунты. При внесении в почву достаточной дозы не требуется дополнительного внесения удобрений на протяжении всего периода использования в одной или нескольких вегетациях.

Цеолиты и другие компоненты описываемых субстратов разрешены государственными санитарными службами к внесению в естественную почву. Это открывает возможности использования таких субстратов в любых отраслях растениеводства. Их применение ограничивается только экономической целесообразностью. Ограничений по наличию сырьевой базы для их производства нет. Основными потребителями субстрата в настоящее время являются индивидуальные растениеводы-любители, дачники и испытатели растениеводческих хозяйств. Для выяснения реальных возможностей, областей и масштабов использования цеолитных субстратов необходимы экспериментальные исследования разных уровней по выращиванию различных культур растений при различных вариантах использования этого субстрата. Поскольку работы по его получению и применению начаты недавно, в настоящее время не накоплено достаточного систематического доказательного материала, позволяющего однозначно рекомендовать способы его использования для различных конкретных целей.

В настоящем сообщении будет суммирован опыт, накопленный в лабораторных исследованиях при выращивании различных культур растений на различных питательных средах, содержащих цеолитный субстрат. Он может найти применение в интенсивном растениеводстве всех видов растений в особенности: улучшение свойств природных почв и искусственных грунтов для растений; выращивание рассады, адаптация черенков, при вегетационном размножении растений; комнатное и садовое растениеводство; клонирование растений в клеточных и тканевых культурах; инициация процесса почвообразования на бесплодных грунтах.

### **Примеры выращивания растений с использованием цеолитного субстрата**

К настоящему времени в Институте физико-органической химии НАН Беларуси проведены лабораторные эксперименты по выращиванию нескольких культур растений с различными вариантами его использования. Испытания этого субстрата проведены также в сторонних организациях. Мы исследовали выращивание в лабораторных сосудных экспериментах следующих культур: салаты листовые; райграс; томаты; огурец; картофель из семени; земляника садовая; кабачок; перец сладкий; арабидопсис; бархатцы; горох. Условия проведения экспериментов: освещение – светодиодные лампы ДНБО1-4х9-001 У4.1 Светодар с отношением интенсивности излучения в красной и синей областях 4:1; фотопериод 18 часов (6:00–24:00); освещенность 5000–10 000 Лк в зависимости от культуры; температура 20–22 °С; полив водопроводной водой (г. Минск). Другие условия экспериментов сообщаются при рассмотрении конкретных примеров.



В качестве основной тест-культуры для выяснения влияния различных факторов на рост растений использовался листовой салат сорта Афицион (*Lactuca sativa*, Aficion). На этом примере было изучено влияние следующих факторов на рост растений на питательных средах, содержащих цеолитный субстрат: гранулометрический состава субстрата; влияние содержания субстрата в смесях с различными бесплодными и питательными грунтами; pH воды, контактирующей с субстратом; соотношение подвижных азота и калия в субстрате.

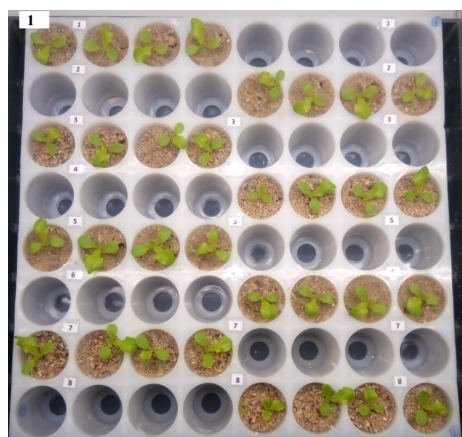
Влияние объемного процента субстрата (5–100 %) в смесях с песком или питательными коммерческими торфогрунтами, pH и соотношения N/K на урожай изучалось в стандартных кассетах с 64 ячейками для растений по 50 мл. В эксперименте использовалось 6 кассет. В каждой кассете экспериментальным грунтом заполнялось 32 ячейки, расположенные четвертками в шахматном порядке, во избежание чрезмерной загущенности растений после периода вегетации, как показано на рис. 2. В каждой ячейке четверки выращивалось одно растение на субстрате с одинаковыми pH и N/K. Кассеты помещались в поддон, разделенный герметичными перегородками на 16 частей, каждая из которых вмещает 4 ячейки. Эксперимент проводился в период с 24 ноября по 26 декабря 2017 года. Номинальный показатель pH исходных субстратов в питательных смесях фиксировался на трех уровнях pH = 7, 6, 5. На каждом уровне pH варьировалось соотношение N/K = 1–6. Растения выращивались в течение 32 суток. Их качество характеризовалось средней зеленой и сухой биомассой одного растения в каждой группе из четырех растений, содержанием хлорофилла *a* и нитратов в листьях.



Рис. 2. Вид заполненных экспериментальным грунтом кассет и поддона для поливной воды

В начальный период роста (~15 дней) растения несколько лучше росли на 5 % смеси, чем на средах с более высоким содержанием процента цеолитного субстрата, возможно из-за лучшей водоудерживающей способности такой смеси.

На рисунке 3 в качестве примера представлены фотографии одной из кассет с растениями в различные дни вегетации. В таблице 1 приведены параметры состава питательной среды в ячейках, расположенных в каждом ряду, номер которого представлен на левой верхней фотографии рисунка, и средняя масса растения на 32-й день при окончании выращивания.



10-е сутки



17-е сутки



24-е сутки



31-е сутки

Рис. 3. Кассета № 1 (песок + цеолитный субстрат(Ц); pH 7): внешний вид растений в ходе эксперимента

Таблица 1

**Сырая масса растений салата в зависимости от процента цеолитного субстрата (Ц) в смеси с песком при различных соотношениях N/K**

№ ряда на рис. 3	1	2	3	4	5	6	7	8
Ц, %	5	10	50	100	5	10	50	100
N/K	3	3	3	3	2	2	2	2
Масса растений, г/сосуд	4,7	4,1	6,1	8,5	4,0	4,4	7,0	7,9

В условиях малого объема сосудов в нашем эксперименте (50 см<sup>3</sup>) количество питания, доступного для растений, строго ограничено. При 5 % добавке на растение приходится 2,5 г субстрата. При его полном использовании по азоту, максимально возможная расчетная биомасса с сосуда ~ 8–10 г, т. е. ~ 4 г биомассы/1 г субстрата. В реальном эксперименте получено 4,7 г/сосуд (табл. 1), степень истощения по азоту составила ~ 60 %. При небольших добавках субстра-

та урожай практически одинаков при рН 7 и 6 и несколько ниже (на ~15 %) при рН 5. Существенно больше урожай был получен при рН 7 для 50 % и 100 % смеси. Соотношение N/K также мало влияет на урожай при рН 6–7.

Добавление цеолитного субстрата к коммерческому питательному торфогрунту Гаспадар дает резкое увеличение урожая уже при 2 % добавки. При оптимальных рН и N/K урожаи почти вдвое выше на смесях 10 % субстрата с торфогрунтом, чем с песком. Кроме этого грунта исследовались также грунты Флорабел и Двина. Во всех случаях рост растений сильно ускорялся при добавлении к ним 5–10 % цеолитного субстрата, но получить воспроизводимые количественные результаты было невозможно из-за неконтролируемости различий в свойствах образцов этих грунтов с одинаковыми декларируемыми характеристиками.

Неожиданные результаты получились при выращивании салата в другом эксперименте (сосуды 250 мл) на смесях цеолитного субстрата с нейтрализованным верховым торфом Двина (табл. 2, рис. 4). Наилучшей питательной средой для растений оказалась смесь 90 % субстрата и 10 % торфа. Десятипроцентная добавка торфа привела к увеличению сырой массы надземной части растения в 6 раз, а сухой – в 3 раза. Содержание нитратов в листьях также увеличилось, но осталось в допустимых пределах. Масса растений, выращенных на смеси 90 % торфа и 10 % Циона оказалась несколько ниже, чем в первом случае, но значительно выше, чем на чистом цеолитном субстрате или торфе. Вероятно, сильное влияние малых добавок торфа связано с улучшением условий переноса ионов питательных веществ из кристаллов цеолита к поверхности корня растения за счет образования ион-проводящих мостиков между ними.

Таблица 2

**Параметры растений, выросших на цеолитном субстрате и его смесях с неудобренным верховым торфом (внешний вид растений представлен на рис. 4)**

Среда для выращивания	Масса листьев (сырая), г	Масса листьев (сухая), г	Масса корней (сырая), г	Масса корней (сухая), г	Хлорофилл, мг/кг сырой биомассы	NO <sub>3</sub> , мг/кг сырой биомассы
№ 1: Торф (Т)	2,56	1,48	0,20	0,13	2142	266
№ 2: Цеолитный субстрат (Ц)	11,13	1,90	1,02	0,17	3210	291
№ 3: Ц+10 %Т	69,00	6,39	5,08	0,52	2040	930
№ 4: Ц+90 %Т	46,80	5,07	3,72	0,94	1725	1302

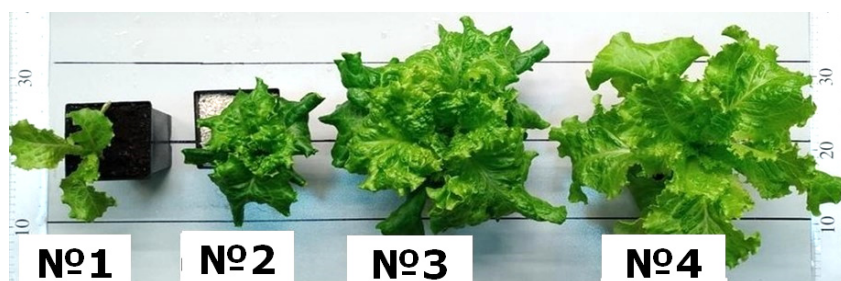


Рис. 4. Внешний вид растений, выросших на цеолитном субстрате и его смесях с не удобрённым верховым торфом (номера на рисунке соответствуют номерам в таблице 2)

Довольно резкое возрастание содержания нитратов в растениях, выросших на смесях цеолитного субстрата и торфа по сравнению с растениями на этих компонентах питательной среды, взятых по отдельности, находится в согласии с известными фактами ускорения роста нитрифицирующих бактерий при внесении цеолитов в природные среды [18, 19].

В отдельном предварительном эксперименте изучалось влияние малых добавок цеолитного субстрата к различным не удобренным и удобренным (АЗФК марки N16P16K16 из расчета 1180 кг/га) основным грунтам – песку, верховому торфу и природному суглинку. В нем использовались сосуды емкостью 2 л, глубиной 19,5 см с посевной площадью 144 см<sup>2</sup>. Количество добавленного в основной грунт цеолитного субстрата было 1, 2 и 5 г на растение, что соответствует 0,25, 0,5 и 1,25 объемных процентов в питательной среде (3,5; 7 и 17,5 т на гектар соответственно).

Субстрат вносился в посадочную лунку каждого растения и перемешивался с небольшим объемом основного грунта. Посев производился не пророщенными семенами. После появления на растениях первых настоящих листьев, лишние растения удаляли и оставляли пять растений, расположенных на максимальных расстояниях друг от друга. В качестве основного грунта использовались нейтрализованный верховой торф Двина, крупный песок (частицы 0,5–3 мм) и природная дерново-подзолистая среднесуглинистая почва. Как видно из рис. 5, во всех случаях наблюдалось увеличение урожая растений в размере от 1 до 3 г сырой надземной массы на грамм внесенного в сосуд цеолитного субстрата как в удобренный, так и в не удобренный грунт независимо от его типа.

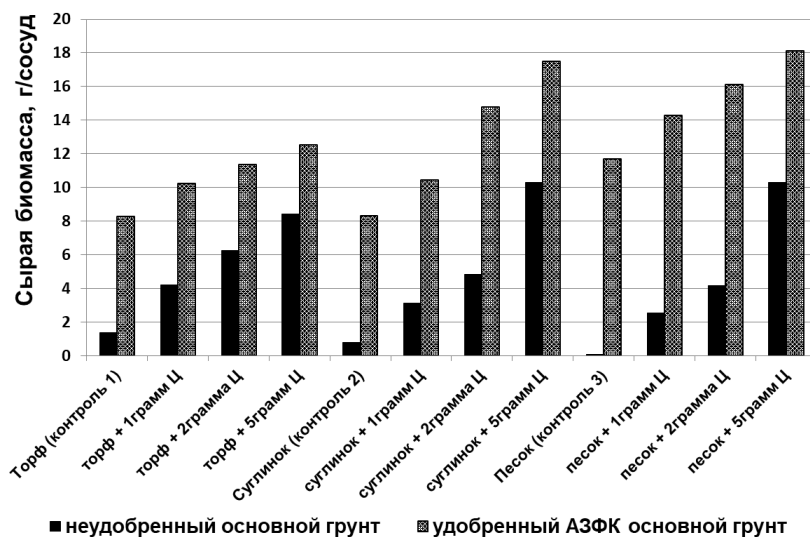


Рис. 5. Сырая биомасса растений салата при разных дозах цеолитного субстрата (Ц) и типа основного грунта

При выращивании других растений, перечисленных выше, наблюдались закономерности, сходные с таковыми для салата. Примеры выращивания некоторых растений на смесях верхового нейтрализованного торфа с цеолитным субстратом приводятся на рис. 6, 7. В процессе роста растений подкормка растений не производилась. Возможность внесения большого количества минерального питания

в питательную среду без риска «корневого ожога» растения составляет одно из основных преимуществ цеолитных субстратов перед обычными химическими удобрениями. Это уменьшает трудоемкость процесса выращивания и исключает ошибки при внесении химических удобрений, что особенно важно для любительского и непрофессионального растениеводства.



Рис. 6. Внешний вид растений, выросших в смеси цеолитного субстрата с верховым торфом: растение – земляника садовая, сорт Красная шапочка, 87 дней после посадки семенами. Питательная среда для растений (сосуды указаны слева направо: 1 – верховой торф Двина, нейтрализованный доломитом с добавкой удобрения АЗФК марки N16P16K16; 2 – верховой торф Двина, нейтрализованный доломитом; 3, 4 – верховой торф Двина, нейтрализованный доломитом (90 %) + 10 % об. цеолитного субстрата). Емкость сосудов – 2 л

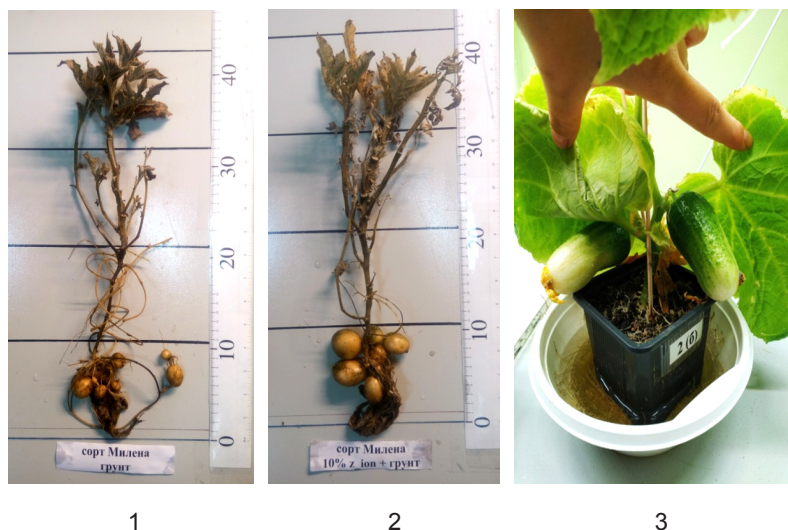


Рис. 7. Внешний вид растений, выросших в смеси цеолитного субстрата с верховым торфом: 1, 2 – растение картофеля, сорт Милена, 120 дней после посадки семенами; питательная среда для растений: 1 – коммерческий торфогрунт Гаспадар; 2 – торфогрунт Гаспадар (90 %) + 10 % об. цеолитного субстрата. Емкость сосудов – 0,5 л; 3 – растение огурца, сорт Деревенская ярмарка, 47 дней после посадки семенами; питательная среда для растений: верховой торф Двина, нейтрализованный доломитом 60 % + вермикулит 30 % + цеолитный субстрат 10 %

## **Возможные области использования цеолитных субстратов**

В настоящее время, насколько нам известно, субстрат ЦИОН является единственным коммерчески доступным представителем цеолитных субстратов. Он прошел довольно широкое опробование в комнатном любительском растениеводстве и дачной практике. Но систематических испытаний этих субстратов профильными почвоведческими, агрохимическими, сельскохозяйственными, экологическими и другими институтами, для которых такие субстраты могут представить практический интерес, не проводилось. Одной из причин этого является очень малое количество научных публикаций о его свойствах, ссылки на которые приводятся в настоящей статье. Значительно больше публикаций имеется по композитным субстратам, представляющим собой смеси цеолитов с полимерными ионитными субстратами типа БИОНА [20–22], которые хорошо зарекомендовали себя в различных областях растениеводства. Однако их широкомасштабное применение проблематично из-за неизбежно высокой стоимости полимерной составляющей таких субстратов и санитарных ограничений на внесение синтетических полимеров в естественные почвы. Оба эти ограничения отсутствуют для цеолитных субстратов. Поэтому вопрос об их применении в растениеводстве открытого грунта может обсуждаться предметно совместно с организацией крупномасштабного производства цеолитных субстратов.

Внесение цеолитного субстрата в почву приводит к увеличению содержания в ней невымываемых водой элементов питания в легкодоступной для растений форме. Их количество может быть в несколько раз больше, чем требуется растению в одном биологическом цикле, что создает возможность более редкого сезонного внесения удобрений и подкормок в процессе вегетации. Поскольку такие субстраты представляют собой комбинацию расходующего действующего вещества и их перманентного носителя, поглощательная емкость почвы увеличится и после истощения субстрата. Последний сорбирует ионы калия, аммония и катионных микроэлементов из стандартных минеральных удобрений, что способствует уменьшению их вымываемости из почв и сокращению загрязнения поверхностных вод. Важным побочным эффектом присутствия цеолитов почве является интенсификация развития нитрифицирующей микрофлоры, способствующей увеличению плодородия почв. Эти соображения находят подтверждение в лабораторных экспериментах, но требуют проверки в полевых условиях.

Особенно высок эффект от добавок цеолитного субстрата в бедные, деградированные почвы и бесплодные грунты (например, на местах шахтных выработок [23], песчаных карьеров или природных бесплодных песчаников). Цеолитный субстрат, внесенный в достаточных количествах, обеспечивает рост растений на таких средах на протяжении нескольких лет, после чего возможно эффективное применение стандартных минеральных удобрений. Цеолит не деградирует в результате ветровой и водной эрозии; его внесение в почву приводит к увеличению ее обменной емкости и может быть использовано для повышения категории бедных почв [10] и восстановления плодородия деградированных почв и ускорения процесса почвообразования на бесплодных грунтах. Они могут использоваться при микроклональном размножении растений и как твердый субстрат многоразового применения в гидропонной технологии.

Другой областью использования цеолитных субстратов является его применение в малых оранжереях в поселениях, насчитывающих несколько (или несколько десятков) человек, таких как в удаленных районах Севера, Арктики, контейнерных и крышных оранжерей. В таких случаях важнейшим свойством субстрата является его высокая обменная емкость, обеспечивающая возможность его длительной эксплуатации без внесения удобрений.

## ВЫВОДЫ

Все испытанные растения могут расти на 100-процентном цеолитном субстрате и положительно отзываются на добавку такого субстрата к удобренным и не удобренным грунтам.

Добавка сравнительно небольшого количества неудобренного нейтрализованного верхового торфа к цеолитному субстрату резко улучшает рост растений. Растения, выросшие на таких смесях, содержат на порядок меньше нитратов в биомассе, чем на питательных грунтах, удобренных нитратами при сравнимых урожаях биомассы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кипящие камни (Цеолиты): список литературы [Электронный ресурс] / сост. Н. В. Кусова. – Режим доступа: <http://www.buninlib.orel.ru/Eko/izdaniya/PDF/24.pdf>. – Дата доступа: 04.05.2021.
2. Романова, Г. А. Цеолиты: эффективность и применение в сельском хозяйстве / Г. А. Романова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. – Ч. 1. – 296 с.
3. Титова, В. И. Сравнительное изучение влияния цеолита и минеральных удобрений на продуктивность зерновых культур и агрохимическую характеристику светло-серой лесной легкосуглинистой почвы / В. И. Титова, Н. В. Забегалов // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – Т. 52, № 1. – С. 190–198.
4. Evaluation of zeolite as a component in organic growing substrates for tomato transplant production / C. Lafreniere [et al.] // Acta Horticulturae. – 2011. – Vol. 893. – P. 1215–1222.
5. Кузнецов, А. Ю. Влияние природного цеолита и удобрений на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур / А. Ю. Кузнецов, Е. Н. Кузин // Плодородие. – 2009. – № 3. – С. 12–13.
6. Андришашвили, Т. Г. Влияние использования природных цеолитов в качестве удобрений на химические и физико-химические свойства подзолистых и карбонатных почв влажных субтропиков Грузии / Т. Г. Андришашвили, М. К. Гамисония, М. А. Кардава // Annals of Agrarian Science. – 2006. – Т. 4, № 1. – С. 9–14.
7. Рязанова, О. А. Ресурсосберегающие технологии выращивания овощей с применением природных цеолитов / О. А. Рязанова // Международный с/х журнал. – 2002. – № 2. – С. 52–54.
8. Газданов, А. У. Восстановление деградированных горных кормовых угодий / А. У. Газданов, М. А. Юлдашев, И. Э. Солдатова // Земледелие. – 2008. – № 3. – С. 20–21.
9. Лобода, Б. П. Применение цеолитсодержащего минерального сырья в растениеводстве / Б. П. Лобода // Агрохимия. – 2000. – № 6. – С. 78–91.

10. Середина, В. П. Агроэкологические аспекты использования цеолитов как почвоулучшителей сорбционного типа и источника калия для растений / В. П. Середина // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, № 3. – С 56–60.

11. Jordanian Zeolitic Tuff as a Raw Material for the Preparation of Substrates Used for Plant Growth / I. Manolov [et al.] // J. Central Europ. Agr. – 2005. – Vol. 4, № 6. – P. 485–494.

12. Plant growth experiments in zeolitic substrates: applications for advanced life support systems [Electronic resource] / D. W. Ming [et al.]. – Mode of access: <http://zeolitavida.eu/wp-content/uploads/2014/06/zeoponics1.pdf>. – Date of access: 04.05.2021.

13. Ming, D. W. Zeoionic Substrates for Space Applications: Advances in the Use of Natural Zeolites for Plant Growth / D. W. Ming, E. R. Allen // Natural Microporous Materials in Environmental Technology. NATO Science Series (Series E: Applied Sciences), P. Misaelides [et al.] (Eds.). – 1999. – Vol. 362. – P. 157–176.

14. Питательный субстрат для выращивания растений [Электронный ресурс]: патент RU 2 662 772 C1 / Д. А. Ефремов [и др.]. – Дата публ. 30.07.2018. – Режим доступа: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2662772C1\\_20180730?utm\\_referrer=7dach.ru](https://yandex.ru/patents/doc/RU2662772C1_20180730?utm_referrer=7dach.ru). – Дата доступа: 04.05.2021.

15. Безнитратный питательный субстрат для растений на основе клиноптилолита / В. С. Солдатов [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 1 – С. 55–60.

16. Выращивание салата листового (*Lactuca sativa* L.) сорта «Афицион» на безнитратном цеолитном субстрате / В. С. Солдатов [и др.] // Агрохимия. – 2020. – № 3. – С. 31–36.

17. Влияние различных доз химически модифицированного цеолита на микробиологическую активность нефтезагрязненной почвы / У. Р. Идрисова [и др.] // Вестник Каз.НУ: серия биологическая. – 2013. – Т. 59, № 3/1. – С. 103–107.

18. Stimulation of Soil Microbiological Activity by Clinoptilolite: The Effect on Plant Growth / V. Karlicic [et al.] // V. Ratar. Povtr. – 2017. – Vol. 54, N 3. – P. 117–123.

19. Weatherley, L. R. The enhancement of ammonium ion removal onto columns of clinoptilolite in the presence of nitrifying bacteria / L. R. Weatherley, R. J. McVeigh // Ion exchange at the millennium, L. A. Greig (Ed.). – UK: Imperial College Press, 2000. – 141 p.

20. Солдатов, В. С. Ионитные почвы / В. С. Солдатов, Н. Г. Перышкина, Р. П. Хорошко. – Минск: Наука и техника, 1978. – 271 с.

21. Федюнькин, Д. В. Эффективность замены в искусственной почве ИС-2 синтетического катионита КУ-2 природным ионообменником / Д. В. Федюнькин, Л. Л. Кошелева // Докл. АН БССР. – 1985. – Т. 29, № 4. – С. 367–370.

22. Мытько, Л. В. Использование ионообменных субстратов в длительной культуре овощных растений / Л. В. Мытько, Л. И. Дукашевич, И. Ф. Хирсанова // Агрохимия. – 1989. – № 6. – С. 51–58.

23. Chomczynska, M. The effect of Z-ion Zeolite substrate on growth of *Zea Mays* L. as energy crop growing on marginal soil / M. Chomczynska, M. Zdeb // J. of Ecological Engineering. – 2019. – Vol. 20, № 9. – P. 253–260.



**NUTRIENT SUBSTRATE FOR PLANTS ON THE BASE OF ZEOLITES**

**V. S. Soldatov, A. P. Ezubets, V. V. Saprykin,  
E. G. Kosandrovich, L. N. Shachenkova**

**Summary**

Studied zeolite substrates consist of chemically modified clinoptilolite of the Kholinsky deposit (Transbaikal group, Russia) and contain correcting additives – natural phosphate minerals. Zeolite is saturated with  $K^+$  and  $NH_4^+$  ions, the molar ratio of which (N/K) can vary in the range of  $N/K = 0,5-4$ . The pH value of the water in contact with the substrate can also be set during the production process ( $pH = 4,5-7,5$ ). We studied the cultivation of the following crops in laboratory pot experiments: leaf lettuce; ryegrass; tomatoes; cucumber; seed potatoes; garden strawberries; zucchini; sweet pepper; arabidopsis; marigold; peas. As the main test culture for elucidating the influence of various factors on plant growth, we used leaf lettuce cultivar Aficion (*Lactuca sativa*, Aficion). Using this example, the influence of the following factors on plant growth on nutrient media containing a zeolite substrate was studied: granulometric composition of the substrate; the influence of the content of the substrate in mixtures with various sterile and nutritious soils; pH of water in contact with the substrate; the ratio of mobile nitrogen and potassium in the substrate. All tested plants can grow on 100 % zeolite substrate and respond positively to the addition of such a substrate to fertilized and non-fertilized soils. The addition of a relatively small amount of non-fertilized neutralized high-moor peat to the zeolite substrate dramatically improves plant growth. Plants grown on such mixtures contain an order of magnitude less nitrates in biomass than on nutrient soils fertilized with nitrates with comparable biomass yields.

*Поступила 03.05.21*

УДК 635.64:631.589:631.811

**ДИНАМИКА РОСТА РАСТЕНИЙ ТОМАТА НА СМЕСЯХ  
ЦЕОЛИТНОГО СУБСТРАТА И ВЕРХОВОГО ТОРФА**

**В. С. Солдатов, А. П. Езубец**

*Институт физико-органической химии Национальной  
академии наук Беларуси,  
г. Минск, Беларусь*

**ВВЕДЕНИЕ**

Недавно разработанный питательный ионообменный цеолитный субстрат [1] предназначен для выращивания растений по технологии ионитопоника без внесения подкормок на протяжении всего цикла развития растения. Он содержит полный комплект ионов питательных элементов, связанных электростатическими силами с неорганическими, нерастворимыми в воде, носителями. Эти ионы

не могут спонтанно переходить в раствор и доступны растению за счет эквивалентного обмена на ионные метаболиты растения и ионы, присутствующие в поливной воде. Субстрат допускает прямой контакт с корнями растения и может применяться в виде добавок в почву или в чистом виде. В научной литературе он почти не описан, что препятствует его широкому применению в практике растениеводства различного уровня. В имеющихся публикациях [2, 3] описывается влияние различных факторов на рост двух культур растений – салата листового сорта Афицион и райграса лугового в лабораторных условиях на этом субстрате и его смесях с другими грунтами. Первостепенной задачей на пути исследования возможности широкого применения питательных цеолитных субстратов в практику является накопление экспериментальных данных о выращивании различных растений на этих субстратах. Одной из областей возможного применения является их использование для растениеводства в комнатных условиях или в витаминных мини оранжереях малых изолированных поселений, рассчитанных на длительное автономное существование. Можно полагать, что цеолитные субстраты по комплексу свойств могут наилучшим образом соответствовать питательным средам для выращивания растений в таких условиях. Важнейшими из них являются следующие.

Питательный цеолитный субстрат имеет большой запас сбалансированных по пропорциям питательных элементов, позволяющий без подкормок выращивать растения на протяжении нескольких вегетаций на небольшом количестве субстрата. Единственной операцией по уходу за растениями после посева является их полив водой питьевого качества, что позволяет выращивать растения без профессионального обслуживания. Субстрат стерилен по способу получения и стерилизуем после использования, срок его хранения не ограничен. Ранее он был успешно испытан на растениях салата [2, 3], имеющих короткий вегетационный период и не требующих больших объемов вегетационных сосудов.

В научной литературе имеется большое количество публикаций о выращивании томатов на различных питательных средах, в состав которых входят природные цеолиты [4–11]. Химически модифицированный цеолит, на основе которого изготавливается описываемый субстрат, содержит питательные вещества для растений в концентрациях более чем на порядок превышающие таковые для питательных растворов или лучших почв, что создает предпосылки для его использования в малых вегетационных сосудах при выращивании относительно больших растений. В настоящей статье приводятся данные о выращивании штамбовых детерминантных томатов на чистом субстрате и его смесях с нейтрализованным верховым торфом в вегетационных сосудах с объемом питательной среды 0,45 дм<sup>3</sup> без подкормок на протяжении всего цикла развития растений от посева семенами до получения плодов. При использовании других питательных сред рекомендуемый объем вегетационного сосуда составляет не менее 3 дм<sup>3</sup> при нескольких периодических подкормках. Экономия площади является одним из критически важных условий для обеспечения возможности выращивания растений в малых замкнутых системах.

## МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Описание выращиваемых растений.** Питательные среды получались путем механического смешивания цеолитного субстрата, полученного в лаборатории из компонентов, изготовленных на опытном производстве ООО «Экохимпром» (РБ), и коммерческого нейтрализованного доломитом верхового торфа Двина. Образцы субстрата, использовавшегося в экспериментах, имели разное соотношение азота и калия (табл.1) при постоянном содержании остальных основных питательных элементов:  $Mg^{2+}$  – 1,8,  $Ca^{2+}$  29 мэкв/100 г; P – 7,6 ммоль/100 г (по данным изготовителя).

Таблица 1

### Номинальное содержание и мольное соотношение N:K в экспериментальных образцах субстрата

№ образца	N : K	$NH_4^+$ мэкв/100 г	$K^+$ мэкв/100 г
1	0,5 : 1	16,5	33
2	1 : 1	25	25
3	2 : 1	33	16,5
4	3 : 1	37,5	12,5

В таблице 2 приводится ионный состав исходной и приведенной в равновесие с экспериментальными образцами субстрата поливной воды, в качестве которой использовалась артезианская вода минской водопроводной системы.

Таблица 2

### Равновесный состав растворов, образующихся при контакте образцов субстрата с водопроводной водой

№ суб-страта	Концентрация, ммоль/л								
	$NH_4^+$	$K^+$	$Na^+$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	$Cl^-$	$SO_4^{2-}$	$NO_3^-$	$H_2PO_4 + HPO_4^{2-}$
1	2,51	3,13	3,27	1,03	2,12	5,72	0,54	0,19	3,80
2	3,19	2,19	2,41	0,57	1,15	2,04	0,57	0,16	3,58
3	4,23	1,98	2,39	0,57	1,10	2,26	0,58	0,17	4,26
4	4,60	1,68	2,29	0,57	1,07	2,01	0,56	0,17	3,91
Вода	0	0	0,50	1,34	3,19	0,76	0,54	0,18	0
Торф	0,15	0,07	0,47	3,58	1,98	0,63	0,85	0	0

Для полива растений использовалась водопроводная вода, состав которой приводится в таблице 2 вместе с составами водных вытяжек из экспериментальных цеолитных субстратов и торфа.

Для выращивания растений использовались черные пластиковые вегетационные сосуды объемом 500 мл, которые заполнялись на 450 мл питательной средой.

Состав смесей цеолитного субстрата с нейтрализованным верховым торфом Двина представлен в таблице 3.

Полив осуществлялся с помощью автоматической системы порциями по 40 мл не менее трех раз в сутки и корректировался в соответствии с размером растений. Для освещения использовались лампы ДНБО1-4х9-001 У4.1 «Светодар»

с соотношением красной и синей областей спектра 4 : 1 и уровнем освещенности 5000 Лк при длительности светового периода 18 ч. Температура поддерживалась на уровне 20–22 °С днем и 18–20 °С ночью.

Таблица 3

**Объем цеолитного субстрата (Ц) в смеси с торфом (Т) и масса абсолютно сухого торфа в экспериментальных питательных средах**

Показатель	Ц %								
	0	3	5	10	50	90	95	97	100
Масса Ц, г	0	13,5	22,5	45	225	405	427,5	436,5	450
Масса Т, г	150	145,5	142,5	135	75	15	7,5	4,5	0

**Водоудерживающая способность.** Водоудерживающие свойства цеолитного субстрата различного фракционного состава характеризовались вертикальным распределением воды по слою субстрата. Предварительно определялось количество воды, поглощаемое кристаллической решеткой цеолита. Проба цеолита, выдержанного в воде центрифугировалась в пробирке с пористым дном в течение 10 мин при 4000 об/мин. Из разницы весов влажного и сухого образца рассчитывался процент поглощенной цеолитом воды. Для нашего образца цеолиты он оказался равным 14,2 %. Для определения количества капиллярной воды в цеолитном субстрате на разных уровнях от зеркала воды сосуд с сухим субстратом помещался в воду так, чтобы субстрат на 1 см был погружен в воду. По прошествии времени, необходимого для наступления гидродинамического равновесия (24 часа), отбирались пробы грунта 2–3 г на высоте от уровня воды 8,5, 4,5 и 1 см и в них определялось общее количество воды как описано выше. Из полученных величин вычиталось количество воды, поглощенное кристаллической решеткой цеолита. Таким образом было установлено, что на выбранных уровнях содержание капиллярной воды в субстрате составляло 4, 14 и 23 % соответственно.

Для того, чтобы имитировать состояние поверхностного слоя грунта после обильного полива было проведено прямое определение влагосодержания в этом слое в следующем эксперименте. Сосуды с субстратом и с его смесью с 10% торфа полностью затоплялись водой и выдерживались в этом состоянии в течение двух часов. Затем они извлекались из воды и вода, содержащаяся в сосуде, свободно вытекала из него. Через час после прекращения вытекания из верхних слоев глубиной 2–3 см отбирались пробы питательной среды и в них определялось общее количество задержанной воды и рассчитывалось количество капиллярной воды как описано выше. Оно оказалось равным для смеси субстрата с 10 % добавки торфа – 32,0 %.

**Количественная оценка объема кроны растений.** Универсального метода строгого измерения объема или массы тела растущего растения не существует. Среди известных из литературы методов определения размера кроны растений [12–14] метода, полностью подходящего для нашего случая по простоте, трудоемкости и стоимости требуемого оборудования нет. Предлагаемый ниже метод наиболее близкий по смыслу к описанному в работе [15], основан на анализе фотографий растений в нескольких ракурсах.

В процессе выращивания в наших экспериментах проводились фенологические наблюдения, измерение высоты и средней ширины кроны растений, из кото-

рых рассчитывался объем, занимаемый кроной, который принимался в качестве основного параметра мониторинга. Методика измерений поясняется рис. 1.

Анализируя архитектурные модели кроны растений, приведенные в исчерпывающем обзоре [14], растения наших экспериментальных томатов наилучшим образом соответствуют архитектурному типу Barthelemy [16]. Хотя они могут иметь сложную и нерегулярную форму, их объем с приемлемой точностью может быть аппроксимирован эллипсоидом вращения. На рисунке 1 представлены упрощенные схематические проекции растения в двух ракурсах, которые могут быть использованы для определения длины оси вращения и максимальной ширины аппроксимирующего эллипсоида, как показано на рисунке.

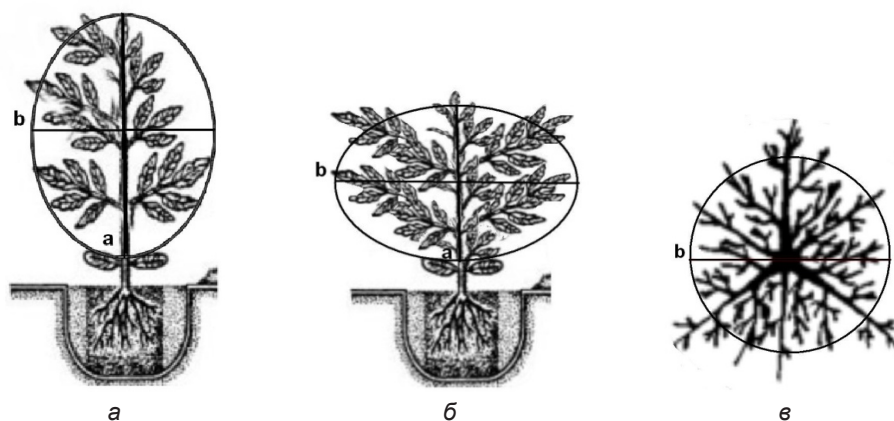


Рис. 1. Аппроксимация проекций схематического растения вытянутым (а) и сплюснутым (б) эллипсами; в – вид растения и проекции эллипса сверху; а и b – полуоси аппроксимирующего эллипсоида вращения

Объем эллипсоида рассчитывается по формуле:

$$V = (4\pi/3)ab^2.$$

Значения длины полуосей эллипсоида, а и b, находились путем прямого измерения этих параметров для каждого экспериментального растения. Длина оси вращения а находилась как расстояние между местом семядольных листьев на стебле и вершиной растения, определяемой как место верхней точки аппроксимирующего эллипса боковой проекции растения. Радиус вращения b находился как половина среднего из измерений трех расстояний между противоположными точками на вертикальной проекции растения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние состава смеси субстрат – торф проводилась с образцом субстрата, имеющим N : K = 2 : 1. Посадка растений проводилась не проросшими семенами на глубину 1 см по 4 семени на сосуд. Всходы появились на 10–15-й день. Оценка всхожести проходила на 20 день после посадки в грунт и после этого в сосуде оставляли одно растение лучшего качества. Они были дружными на торфе и

слабыми на чистом субстрате и на средах с 10 и менее процентами торфа. Как видно из рисунка 2, растения томатов практически не развивались на чистом торфе и его смеси с малой добавкой цеолитного субстрата (3 и 5 %) и начинали удовлетворительно развиваться, начиная со смеси с 10 % субстрата. Медленно развивались в первый период и растения на чистом цеолитном субстрате, однако их рост со временем ускорялся и к 37-му дню они догнали растения, росшие на смесях с торфом и дали полноценные плоды. Добавка 5 % торфа привела к резкому ускорению их роста.

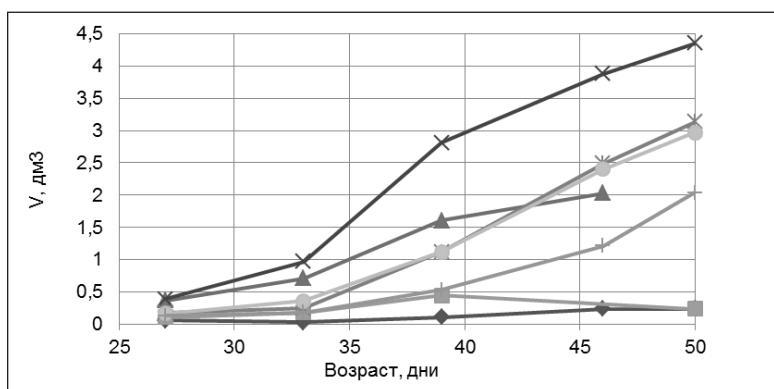


Рис. 2. Зависимость объема кроны растений от содержания цеолитного субстрата с N: K=2:1 от времени выращивания (дни): ◆ – 0, ■ – 5, ▲ – 10, Ч – 50, \* – 90, ● – 95, + – 100 % при различном содержании цеолитного субстрата в смеси с торфом

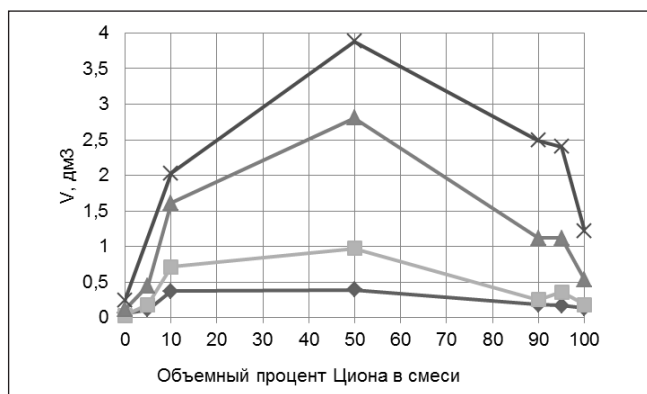


Рис. 3. Зависимость объема кроны растений от возраста от процента цеолитного субстрата в питательной смеси при различном сроке выращивания растений: ◆ – 27, ■ – 33, ▲ – 39, Ч – 46 дней

Из рисунка 3 видно, что добавление в верховой торф 5 % субстрата не привело к улучшению роста растений. В отличие от этого, его малые добавки (1–5 %) к другим бесплодным или бедным грунтам (песок, вермикулит, керамзит, дерново-подзолистая почва) резко улучшали рост растений салата и райграса [2, 12]. Растения салата существенно лучше росли на смесях субстрата с не удобренным торфом, чем с песком, несмотря на то, что запас корневого питания в обоих слу-

чаях был одинаковым. Контрольный опыт показал, что урожай салата на чистом торфе был пренебрежимо мал. При использовании 10 % субстрата и более отмеченный негативный эффект компенсируется добавкой субстрата и рост растений существенно ускоряется, достигая максимума при 50 %.

Зависимости объема кроны растений ( $V$ ) от объемного процента цеолитного субстрата ( $x$ ), независимо от возраста растений до начала плодоношения качественно одинаковы. Для них характерны следующие закономерности:

- 1) небольшая область медленного подъема  $V$  в интервале  $x = 0-5$  %;
- 2) резкий подъем зависимости  $V = f(x)$  на участке  $x = 5-10$ %;
- 3) растянутый максимум при  $x$  около 50 % в интервале  $x = 10-95$  %;
- 4) резкое уменьшение  $V$  в интервале  $x = 95-100$  %.

Есть основания полагать, что такая сложная зависимость  $V = f(x)$  связана со свойствами цеолитсодержащей питательной среды. В работе [2] мы сообщали о аналогичной зависимости, наблюдавшейся при выращивании на этих же питательных средах салата листового сорта Афицион. В этой работе было проверено предположение о том, что сильный положительный эффект добавки верхового торфа к субстрату, вызван тем, что из торфа выделяются какие-то вещества, способствующие росту растений. Однако эта идея не нашла подтверждения, т. к. полив растений, растущих на смеси субстрата с отмытым песком водой, контактировавшей с торфом, приводил к угнетению растений. Возможно, это является причиной медленного увеличения  $V$  по сравнению с ожидаемым при слишком малом содержании субстрата, недостаточным для компенсации подавляющего роста растений водного торфяного экстракта. Остается не ясным, относится ли это к конкретному образцу использованного в нашем эксперименте верхового торфа или оно свойственно и другим образцам. В любом случае этот факт необходимо учитывать при практическом использовании субстрата в смеси с различными грунтами и при необходимости корректировать количество добавляемого в питательную среду субстрата, рекомендуемого производителем 2–5 % от объема. Последующее быстрое ускорение роста растений вызвано возрастающим улучшением условий корневого питания до достижения ~50 % субстрата в питательной среде. Когда содержание торфа в ней становится ниже 5 %, рост растений в период формирования кроны (до 46-го дня) резко замедляется. Возможной причиной того, что растения не могут использовать большой запас питательных веществ, содержащийся в цеолитном субстрате, является отсутствие хорошего контакта между корнем и минеральными частицами субстрата.

Мы полагаем, что причиной замедленного роста растений на чистом субстрате являются его неблагоприятные водоудерживающие свойства. Специально поставленные эксперименты показали, что высота капиллярного поднятия воды по слою не использованного субстрата в сосудах емкостью 0,5 л и высотой его слоя 9 см недостаточна для обеспечения нормального прорастания семян и роста растений.

Возможно, что добавление небольшого количества бесплодного торфа вызывает резкое ускорение роста растений за счет наличия в нейтрализованном верховом торфе кальция и магния, а также образования гидрофильных ион-проводящих мостиков из частиц торфа между корнем и частицами субстрата, облегчающих процессы ионного обмена между ними. Как показано выше, добавка 10 % торфа к цеолитному субстрату приводит к резкому увеличению влажности питательной

среды в верхней части сосуда глубиной 2–3 см. Это соответствует увеличению содержания доступной растению капиллярно связанной воды почти в 3 раза – с 12 до 33 (г воды)/(г питательной среды).

Этот эффект уменьшается и исчезает на поздней стадии роста растений (50 и более дней), когда такие контакты формируются за счет коллоидных веществ, накапливающихся в ризосфере при росте растения [18].

Рисунок 4 показывает, что доля субстрата в смеси с торфом и по-разному влияет на величину растения при различном соотношении в нем N:K. После начала периода быстрого роста (39 дней), увеличение доли аммонийного азота в питательной среде вызывает быстрое увеличение кроны при небольшом содержании в ней субстрата (10 %). Если же основным компонентом питательной среды является цеолитный субстрат (90 %), то эта зависимость имеет максимум при N:K = 1:1, особенно хорошо выраженный на поздних стадиях развития растений.

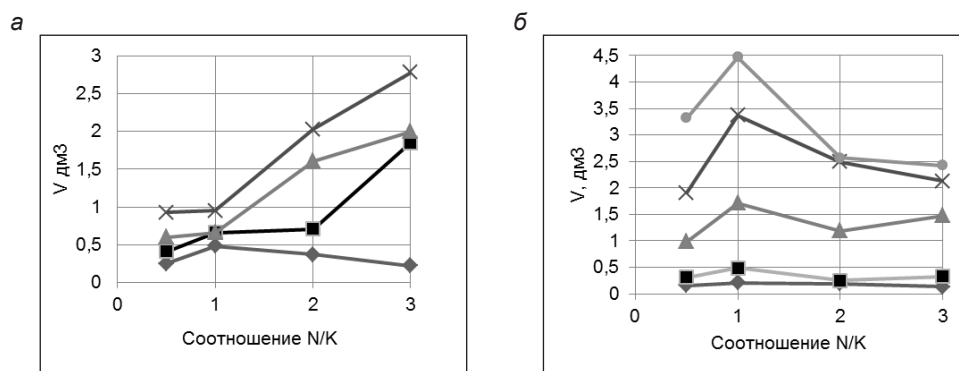


Рис.4. Влияние соотношения N/K и возраста растений на объем кроны на смесях, содержащих 10 % (а) и 90 % (б) цеолитного субстрата. Возраст растений:

◆ – 27, ■ – 33, ▲ – 39, ✕ – 46, ● – 50 дней

После 46–50 дней роста формирование кроны растений в основном заканчивается и начинается период цветения и плодообразования. По прошествии этого срока, следить за развитием растений по измерению объема кроны стало невозможно из-за увядания и опадения части листьев. На листьях появились явные признаки заболевания растений вирусной мозаикой, и мониторинг был остановлен.

Растения были заражены в разной степени, болезнь в результате привела к засыханию части растений. Все растения, росшие на субстрате с 10 % субстрата и менее, были сняты с эксперимента на 48–60 день выращивания. С остальных растений периодически убиралась засохшая листва. После 70 дня роста на растениях, росших на средах с 9 % и более субстрата при N:K = 1:1, начали появляться плоды. Количество созревших плодов на 110 день роста растений составляло 7–9. Растения на чистом цеолитном субстрате и на всех смесях с содержанием торфа больше 90% догнали по высоте растения, росшие на смесях с торфом и дали полноценные плоды.

Масса одного плода варьировалась в пределах 7–11 г. Они не имели внешних дефектов, имели приятный вкус и аромат. Пример, приведенный на рисунке 5,



показывает, что растения имели хорошо развитую корневую систему. Их плоды содержали очень мало нитратов (19–66 мг/кг при допустимом содержании 150–300 мг на 1 кг сырой продукции).

На момент окончания эксперимента созревание плодов продолжалось.



Рис. 5. Вид растения с корневой системой на 160-й день выращивания (а), нижние листья удалены; плоды на 110-й день выращивания (б)

## ВЫВОДЫ

Исследованный питательный цеолитный субстрат обладает достаточным запасом сбалансированных по составу ионов питательных веществ для того, чтобы обеспечить полноценный рост растений томата детерминантного сорта Красная жемчужина в сосудной культуре от посева семенами до получения полноценных плодов в сосудах, содержащих 450 мл чистого субстрата или его смеси с бесплодным верховым торфом. Полученные плоды обладали хорошими органолептическими свойствами и содержали менее 19–66 мг/кг нитратов на килограмм.

Недостатком субстрата является его низкая водоудерживающая способность, приводящая к замедленному развитию растений томата в начальный период их развития. Этот недостаток может быть устранен добавкой к цеолитному субстрату небольших количеств (5 % и более от объема) нейтрализованного не удобренного верхового торфа.

Предложен способ количественной оценки объема кроны растения томата путем аппроксимации ее формы эллипсоидом, длины осей которого определяются измерением его средней высоты и ширины. Проведен мониторинг развития растений по зависимости объема кроны от времени выращивания который показал, что наибольшим плодородием обладают смеси не удобренного верхового торфа с содержанием цеолитного субстрата 10–90 % от объема.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Питательный субстрат для растений на основе цеолитов / В. С. Солдатов [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С.
2. Безнитратный питательный субстрат для растений на основе клиноптилолита / В. С. Солдатов [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2019. – № 1. – С. 55–60.
3. Выращивание салата листового (*Lactuca sativa* L.) сорта Афицион на безнитратном цеолитном субстрате / В. С. Солдатов [и др.] // Агрохимия. – 2020. – № 3. – С. 31–36.
4. Evaluation of zeolite as a component in organic growing substrates for tomato transplant production / С. Lafreniere [et al.] // Acta Hort. – 2011. – № 893. – P. 1215–1222.
5. Рязанова, О. А. Научные основы формирования качества плодовоовощной продукции, выращиваемой с применением ресурсосберегающих технологий: дис. ... д-ра технич. наук: 05.18.15 / О. А. Рязанова. – М., 1997. – 359 л.
6. Lopez, J. Effect of substrate culture on growth, yield and fruit quality of the greenhouse tomato / J. Lopez, F. Vбsquez, F. Ramos // Acta Horticulturae. – 2004. – № 659. – P. 417–424.
7. Berar, V. Research concerning the zeolites influence, used in the culture substratum, upon the quality of greenhouse grown tomato / V. Berar, Gh. Poṣta // Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology. – 2011. – Vol. 15(4) – P. 45–47.
8. Ashraf, S. The effect of different substrates on the vegetative, productivity characters and relative absorption of some nutrient elements by the tomato plant / S. Ashraf // Advances in Environmental Biology. – 2011. – Vol. 5(10). – P. 3091–3096.
9. Tzortzakis, N. G. Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation / N. G. Tzortzakis, C. D. Economakis // Horticultural Science. – 2008. – № 35. – P. 83–89.
10. Zeolites in media mixes for soilless production: first results on tomato / M. Feccondini [et al.] // Acta Horticulturae. – 2011. – № 893. – P. 1007–1012.
11. Postnikov, A. V. Vegetable growing in zeolite / A. V. Postnikov, A. V. Zekunov, N. A. Eliseev // Agricultural Chemistry. – 1991. – № 11. – P. 22–25.
12. Carrijo, O. A. Tomato crop production under different substrates and greenhouse models // O. A. Carrijo, M. C. Vidal, N. Makishima // Horticultura Brasileira. – 2004. – № 22(1). – P. 5–9.
13. Выращивание салата листового на смесях цеолитного субстрата с бесплодными и питательными грунтами / В. С. Солдатов [и др.] // Агрохимия. – 2021. – № 2 – С. 47–54.
14. Электронный ресурс [https://ru.qaz.wiki/tree\\_crown\\_measurement](https://ru.qaz.wiki/tree_crown_measurement).
15. Антонова, И. С. Архитектурные модели кроны древесных растений / И. С. Антонова, О. В. Азова // Ботанический журнал. – 1999. – Т. 84, № 3. – С. 10–32.
16. Мониторинг развития растений на основе алгоритмов анализа изображения / А. Н. Вальвачев [и др.] // Материалы международного конгресса по информатике: Информационные системы и технологии, БГУ. – Минск, 2016. – С. 127–130.

17. *Barthelemy, D.* Establishing of modular growth in tropical tree: *Iseria coccinea* Vahl. (Rubiceal) / *D. Barthelemy* // *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*. – 1986. – № 1159. – P. 89–94.

18. *Волков, О. И.* Влияние корневых выделений прорастающих семян ячменя (*Hordeum vulgare* L.) на качественный и количественный состав органических компонентов почвы / *О. И. Волков* // *Журнал общей биологии*. – 2010. – Т. 71. – № 4. – С. 359–368.

## **GROWTH DYNAMICS OF TOMATO PLANTS ON MIXTURES OF ZEOLITIC SUBSTRATE AND HIGH-MOOR PEAT**

**V. S. Soldatov, A. P. Jezubets**

### **Summary**

The effect of the composition of mixtures of a nutritious zeolite substrate with non-fertilized neutralized high-moor peat on the growth of determinant tomatoes in a laboratory pot experiment was studied. Zeolite substrate contained a complete set of inorganic substances necessary for plants. In the experiment, the content of the zeolite substrate in a mixture with peat (0–100 %) and the molar ratio of nitrogen and potassium (N:K = 0,5:1 – 3:1) were varied with a total content of these elements of about 50 meq/100 g of substrate. The cultivation of tomatoes was carried out in pots containing 450 ml of nutrient medium during the full cycle of plant development (from seed to ripe fruits). Watering was carried out with drinking-quality tap water. No plant feeding was carried out during plant growth. In the process of plant growth, monitoring of the crown volume was carried out using the proposed method, which is based on periodic measurement of the height and width of the projection of the plant from different angles. This made it possible to plot the dependence of the crown volume depending on the growing time, the percentage of the substrate in the mixture with peat, and the N: K ratio. It has been shown that nutrient media containing 50 and more percent of zeolite substrate have a sufficient supply of nutrient ions balanced in composition to ensure the full growth of tomato plants of the determinant cultivar Red Pearl. The largest crown volume and fruit mass were observed when using a mixture of 10 % peat with 90 % zeolite substrate with a ratio of N: K = 2:1.

*Поступила 03.05.21*

## ПАМЯТИ УЧЕНОГО



Белорусская наука понесла невосполнимую утрату. Безвременно 7 февраля 2021 г. ушел из жизни известный ученый в области агропочвоведения, ведущий научный сотрудник сектора агропочвоведения, цифрового картографирования и оценки почв РУП «Институт почвоведения и агрохимии» **ШИБУТ ЛЕОНИД ИВАНОВИЧ**. Основными направлениями его научной деятельности являлись: научно-методические разработки рационального землепользования, проведения землеоценочных работ, диагностика и картографирование почв сельскохозяйственных земель, почвенно-экологическое районирование.

Леонид Иванович Шибут родился в д. Дунайчицы Клецкого района Минской области в семье рабочих. После окончания 11 классов Лисковской средней школы в 1966 г. он поступил на географический факультет Белорусского государственного университета, который с отличием окончил в 1971 г. После окончания был призван в ряды Советской Армии.

Научную работу Леонид Иванович начал 28 августа 1973 г., когда был зачислен на должность старшего лаборанта отдела бонитировки почв Белорусского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии. В декабре этого же года переведен на должность старшего агронома, а в октябре 1974 г. – на должность младшего научного сотрудника. В этой должности Леонид Иванович проработал 14 лет. В июле 1988 г. его перевели на должность научного сотрудника, а в январе 1992 г. был избран по конкурсу на должность ведущего научного сотрудника, в которой он и работал по настоящее время.

По результатам своей научной деятельности Леонид Иванович в 1991 году защитил кандидатскую диссертацию по специальности «агропочвоведение, агрофизика» на тему: «Теоретические основы внутрихозяйственной бонитировки почв Белорусской ССР по их пригодности для возделывания сельскохозяйственных культур».

Научная деятельность Леонида Ивановича прошла в тесном сотрудничестве с академиком Смеяном Н. И. и главным специалистом РУП «Проектный институт Белгипрозем» Морозом Г. М., благодаря которому научно-теоретические разработки были поставлены на службу сельскому хозяйству Беларуси. Результаты их совместных научных исследований нашли широкое применение в практике ведения землеоценочных работ и при решении вопросов рационального использования, повышения производительной способности почв Беларуси.

При непосредственном участии Шибута Леонида Ивановича разработаны принципы региональной агропроизводственной группировки почв, усовершенствована агропроизводственная группировка почв по пригодности под культуры, совершенствовались теоретические вопросы почвенно-экологического районирования, качественной оценки почв и установления степени их пригодности под основные сельскохозяйственные культуры в целях оптимизации структуры посевных площадей и севооборотов, предложены методические подходы оценки структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур с учетом почвенно-экологических условий их возделывания, а бонитировочная шкала и поправочные коэффициенты к баллам почв являются научной основой проводимых в настоящее время в республике землеоценочных работ.

С научными докладами Леонид Иванович неоднократно выступал на республиканских и международных симпозиумах и конференциях в России, Болгарии, Украине, Молдове и родной Беларуси.

Леонид Иванович лично и с соавторами опубликовал более 380 научных работ, в том числе:

*4 монографии:*

- Кадастровая оценка почв колхозов и госхозов БССР» (1977 г.),
  - Оценка плодородия почв Беларуси» (1989 г.),
  - Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика (2017 г.),
  - Почвы Республики Беларусь», (2019 г.);
- свыше 30 методик, инструкций, рекомендаций, справочных и практических пособий, ТКП:*

- Почвы сельскохозяйственных угодий Белорусской ССР (методические рекомендации по качественной характеристике почв сельскохозяйственных угодий БССР) (1979 г.),
- Методика внутрихозяйственной качественной оценки земель сельскохозяйственных угодий и госхозов Белорусской ССР (1984 г.),



На международной научно-практической конференции (София 15–19 мая 2005 г.)



На научно-практической конференции, посвященной 75-летию Института почвоведения и агрохимии и III съезду Белорусского общества почвоведов (Минск, 2006 г.)

- Методические рекомендации по организации и ведению севооборотов в условиях интенсификации земледелия в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях Белорусской ССР (1988 г.),
- Внутрхозяйственная оценка земель по эффективности возделывания основных сельскохозяйственных культур в колхозах и госхозах Белорусской ССР (методические указания) (1990 г.),
- Земля Беларуси (1997, 2000, 2001 гг.),
- Внутрхозяйственная качественная оценка (бонитировка) почв Республики Беларусь по их пригодности для возделывания основных сельскохозяйственных культур (методические указания) (1998 г.),
- Кадастровая оценка земель сельскохозяйственных предприятий и крестьянских (фермерских) хозяйств (методические указания) (2001 г.),
- Почвы сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2001 г.),
- Методические указания по корректировке осушенных и прилегающих к ним земель в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь (2005 г.),
- Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: содержание и технология, работ (2011 г.),
- Пригодность почв для возделывания отдельных сельскохозяйственных культур (рекомендации)»,
- Полевая диагностика почв Беларуси (2011 г.),



Подготовка почвенного разреза для обсуждения проблем диагностики деградированных торфяных почв на V съезде Белорусского общества почвоведов и агрохимиков (СПК «Старобинский», Солигорский район, 2015 г.)

- Примерный номенклатурный список почв Республики Беларусь (для целей крупномасштабного почвенного картографирования и кадастровой оценки сельскохозяйственных земель (2013 г.),
- Осушенные торфяные и дегроторфяные почвы в составе сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2018 г.) и др.

Леонид Иванович являлся соавтором ряда карт по разделу «Почвы и земельные ресурсы» (М 1:250 000 и 1:3 000 000) для Национального атласа Беларуси (2002 г.), принимал активное участие в разработке почвенно-эрозийной карты Беларуси (М 1:500 000, 1:600 000 и 1:500 000), Атласа почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017 г.).

Методики, инструкции и рекомендации по картографированию и оценке почв, рациональному использованию земель нашли широкое применение в организациях Госкомимущества, Министерства сельского хозяйства и продовольствия, в об-

щеобразовательном процессе высших учебных заведений агрономического и географического профиля.

Успехи Леонида Ивановича в научной работе были неоднократно отмечены премиями и почётными грамотами Министерства сельского хозяйства Республики Беларусь, Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси, дирекции родного института. В 2018 году Шибуту Л. И. в составе авторского коллектива за цикл работ «Почвы Республики Беларусь на современном этапе: морфология, свойства, качественная оценка» присуждена премия Национальной академии наук Беларуси.

В течение многих лет Леонид Иванович являлся членом Белорусской ячейки Докучаевского общества почвоведов при Российской академии наук, членом Белорусского общества почвоведов и агрохимиков, членом Ученого совета РУП «Института почвоведения и агрохимии», оказывал научно-методические консультации специалистам РУП «Проектный институт Белгипрозем» по почвенному картографированию и оценке земель, проводил лекционные занятия в ГУО «Центр повышения квалификации руководящих работников и специалистов системы Госкомимущества».

Леонид Иванович Шибут – уникальный ученый, участник 4 туров землеоценочных работ, почвовед, исследователь-полевик. Его часто можно было видеть с почвенной картой, определяющего объекты исследований, с лопатой в руках, копающего разрез или отбирающего почвенные образцы, с мерной лентой, прокладывающего профиль, с метровой, делающего учет урожая на пахотных землях республики.

Как человек высокообразованный, начитанный, Леонид Иванович обладал активной жизненной позицией, требовательностью к себе и окружающим, был человеком большой энергии и трудолюбия, которые приводили к успеху большинство его начинаний. По своим безграничным знаниям Леонид Иванович являлся доктором наук, служил примером отношения к семье, работе, коллегам. Его такие человеческие качества, как принципиальность, доброта, скромность всегда вызывали теплое отношение к нему со стороны окружающих людей не только в стенах родного института, но и далеко за его пределами. Он всегда на своем личном примере показывал рачительное отношение к земле, почвам.

Леонид Иванович беззаветно любил свою профессию ученого; вся его трудовая и научная жизнь прошли в стенах Института почвоведения и агрохимии (стаж работы составил 47 лет). О таких людях говорят: «До последнего в строю».



Учет урожая озимой пшеницы на пахотных землях СПК «Агроприпять» Житковичского района, 2005

Светлая память о Леониде Ивановиче Шибуте, прекрасном ученом и светлом человеке, навсегда сохранится в сердцах и воспоминаниях коллег и друзей.



*Почвенные обследования пахотных земель Горецкого района, 2006 г. (старший преподаватель БГСХА Н. В. Радченко, академик Н. И. Смеян, в.н.с. Л. И. Шибут, аспирант В. А. Калюк, м.н.с. Т. Н. Азаренок*



*Научное сопровождение строительных работ по созданию полей для гольфа, 2008 г. (н.с. Т. Н. Азаренок, в.н.с. В. Т. Сергеенко, в.н.с. Л. И. Шибут, с.н.с. С. В. Шульгина, с.н.с. Т. В. Бубнова, впереди – зав. сектором Г. С. Цытрон*

***Дирекция, коллеги, друзья***



# РЕФЕРАТЫ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.47

**Шибут Л. И., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В., Матыченков Д. В., Шульгина С. В., Дыдышко С. В.** Учет агроклиматических условий Беларуси по результатам землеоценочных работ // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 17.

В статье проведен анализ динамики данных, характеризующих агроклиматические условия Беларуси (сумма температур выше 10 °С, количество осадков, гидротермический коэффициент, биоклиматический потенциал). Приведены величины гидротермического коэффициента, а также значения баллов, отражающих снижение плодородия почв пахотных земель за счет агроклиматических условий по республике по областям, отдельным административным районам на основании актуализированных данных II тура кадастровой оценки.

Табл. Картогр. 2. Библиогр. 26.

УДК 631.4

**Дыдышко С. В., Азаренок Т. Н., Матыченкова О. В.** К вопросу о качественном состоянии фракции физической глины дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 27.

С использованием метода баланса установлены особенности количественного содержания фракций физической глины (средней и мелкой пыли, и ила) относительно их содержания в почвообразующей породе и выявлены особенности их соотношения и перераспределения в физической глине в результате длительного агрогенного воздействия по сравнению с естественными почвами. Приведена новая интерпретация гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв и показано наличие общего принципа взаимосвязи между фракциями физической глины и гумусом почвы через константы динамического равновесия, а также между показателями гумус-гранулометрических отношений и производительной способностью почв. Полученные данные могут быть применены для оценки агроэкологического состояния дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв.

Табл. 4. Рис. 2. Библиогр. 30.

УДК 631.43

**Логачев И. А., Цыбулько Н. Н., Цырибко В. Б., Устинова А. М., Касьяненко И. И.** Педотрансферные функции структурного состояния и устойчивости к эрозии дерново-подзолистых почв, сформированных на лессовидных суглинках // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 42.

В статье представлены результаты исследований взаимосвязей агрохимических и агрофизических свойств со структурой и устойчивостью к эрозионной деградации дерново-подзолистых суглинистых почв, сформированных на лессовидных почвообразующих породах. Разработаны педотрансферные функции и проведена их проверка. Определены диапазоны свойств почвы, которые формируют оптимальное структурное состояние и устойчивость к эрозионным процессам.

Табл. 2. Рис. 2. Библиогр. 18.

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.8:631.445

**Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г.** Трансформация калийного состояния высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в условиях применения калий-дефицитных систем удобрения // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 51.

Приведены результаты исследований по изучению калийного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в условиях применения калий-дефицитных систем удобрения. Установлено, что применение калий-дефицитных систем удобрения на почвах с высоким содержанием подвижного калия ведет к развитию интенсивных деградационных процессов в отношении данного элемента и истощению калийного фонда почвы. Снижение содержания водорастворимого калия за ротацию пятипольного зернопропашного севооборота составляет 9–34 %, подвижно-го – 11–25 %, необменного – 10–15 %. Наибольшие темпы деградации отмечены при применении минеральной системы удобрения. Внесение навоза снижает потери калия в абсолютном выражении, но увеличивает долю непродуцируемых потерь.

Табл. 1. Рис. 4. Библиогр. 14.

УДК 631.8:633.11:631.445

**Кулеш О. Г., Мезенцева Е. Г., Семененко Н. Н., Симанков О. В.** Диагностика азотного питания яровой пшеницы на высокоокультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 60.

Представлены данные диагностики азотного питания яровой пшеницы на высокоокультуренной почве. Установлена тесная связь между урожайностью и качеством зерна культуры и содержанием азота в почве и растениях. Наибольшее количество сопряженных показателей выявлено в фазы флаг-листа и колошения яровой пшеницы. Определены оптимальные параметры данных показателей позволяющие получить урожайность яровой пшеницы на уровне 60 и более ц/га: содержание минерального азота в растениях в фазу флагового листа не менее 200 мг/кг, в колошение – не менее 270 мг/кг; содержание общего азота в первый узел – не ниже 3,3 %, во флаг-лист – более 1,8 %.

Табл. 6. Рис. 4. Библиогр. 13.

УДК 631.861:631.41

**Богатырева Е. Н., Серая Т. М., Касьяненко И. И., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М.** Агроэкологическое состояние дерново-подзолистых почв и сельскохозяйственных культур в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик. – 2021. – № 1(66). – С. 73.

Проведена комплексная оценка влияния дозовых нагрузок жидких побочных продуктов животноводства и птичьего помета на агрохимические показатели дерново-подзолистых почв, их фитотоксичность, санитарное состояние, ферментативную активность, содержание загрязняющих веществ, а также на сельскохозяйственные культуры, на них произрастающие.

Табл. 7. Рис. 7. Библиогр. 13

УДК 631.824.635.654:631.445.2

**Богдевич И. М., Станилевич И. С., Путятин Ю. В., Довнар В. А., Третьяков Е. С.** Урожайность и качество зерна гороха в зависимости от условий минерального питания магнием и серой на дерново-подзолистых суглинистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 93.

В стационарном полевом опыте, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве создано четыре уровня содержания обменного магния, отражающие различия его содержания в пахотных почвах Беларуси (Mg 45–240 мг/кг почвы). Установлен диапазон оптимального содержания обменного магния в почве Mg 120–140 мг/кг для формирования высокой урожайности гороха с хорошим качеством зерна. Эквивалентное соотношение в почве катионов должно быть  $Ca^{2+}:Mg^{2+} = 4-5$  и  $K^{+}:Mg^{2+} = 0,6-0,7$ . Установлены существенные прибавки урожайности зерна гороха от внесения серосодержащего удобрения в почву и некорневой подкормки раствором сульфата магния, подтверждающие дефицит серы и магния для питания растений гороха в диапазоне содержания обменного Mg <120 мг/кг почвы. Разработаны параметры почвенной и растительной диагностики питания гороха серой и магнием, позволяющие выявить необходимость внесения серосодержащего удобрения в почву и проведения некорневых подкормок сульфатом магния.

Табл. 7. Рис. 4. Библиогр. 17.

УДК 631.81.095.337:633.11:633.15:631.445

**Рак М. В., Пукалова Е. Н., Гузова Н. С., Гук Л. Н., Муковозчик В. А., Артюх Ю. А.** Агроэкономическая эффективность микроудобрений при возделывании кукурузы в производственных условиях на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 106.

В статье приведены результаты исследований по эффективности применения жидких микроудобрений МикроСтим при возделывании кукурузы в производственных условиях на дерново-подзолистой высоко окультуренной легкосуглинистой

почве. Установлено, что некорневые подкормки кукурузы микроудобрениями МикроСтим в фазе 6–8 листьев повышает урожайность зеленой массы на 48–52 ц/га, зерна – на 9,5–10,6 ц/га, содержание цинка – на 3,2–4,8 мг/кг, меди – на 1,7–2,2 мг/кг сухой массы.

Табл. 4. Библиогр. 6.

УДК 631.8:633:631.445

**Цыбулько Н. Н., Евсеев Е. Б., Жукова И. И.** Агрономическая и экономическая эффективность применения минеральных удобрений под многолетние злаковые травы на торфянисто-глеевой почве // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 113.

На торфянисто-глеевой почве с запасом в ранневесенний период минерального азота 50–55 кг/га, высокой обеспеченностью подвижным фосфором (875 мг/кг), повышенной обеспеченностью подвижным калием (805 мг/кг) и средней обеспеченностью подвижной медью (7,15–7,99 мг/кг) наиболее эффективной системой удобрения многолетних злаковых трав является применение  $N_{120}P_{90}K_{150}$  совместно с некорневой подкормкой медью ( $Сu_{80}$ ). Данная система удобрения обеспечивает условный чистый доход 94,07 руб./га (38,71 долл. США/га), рентабельность – 17,1 % и окупаемость удобрений – 18,3 кг сена, или 9,3 к. ед.

Табл. 4. Библиогр. 10.

УДК 631.8:635.11:631.445.2

**Вильдфлуш И. Р., Хизанейшвили Н. Э.** Эффективность применения микроудобрений и регулятора роста Экосил при возделывании столовой свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. – 2021. – № 1(66). – С. 120.

В статье представлены результаты исследований применения комплексных микроудобрений МикроСтим и регулятора роста Экосил при возделывании столовой свеклы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Установлено влияние изучаемых удобрений на урожайность корнеплодов, их товарность, качество и вынос элементов питания.

Двукратная обработка посевов свеклы столовой микроудобрением МикроСтим-Бор, Медь на фоне внесения минеральных удобрений в дозах  $N_{90}P_{80}K_{130}$  и  $N_{100}P_{90}K_{140}$  обеспечивала максимальную продуктивность – 52,8 и 55,7 т/га. В корнеплодах содержание сухого вещества составляло 17,2 и 17,4 %, сахаров 14,4 и 15,3 % соответственно.

Табл. 5. Библиогр. 7.

УДК 631.87:633.1:631.445.24:631.459

**Михайловская Н. А., Войтка Д. В., Юхновец А. В., Барашенко Т. Б., Дюсова С. В.** Сравнительная эффективность раздельного и совместного применения *A. Brasilense*, *B. Circulans* и *T. Longibrachiatum* на посевах тритикале озимого на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 129.

В лабораторных и полевых условиях установлена способность микробных инокулянтов *A. Brasilense*, *B. Circulans* и *Trichoderma* sp. L-7 стимулировать рост, улучшать адаптацию и показатели продукционного процесса тритикале озимого. Установлено эффективное действие отдельного и совместного применения микробных инокулянтов в качестве биофунгицидов. По влиянию на урожайность более эффективны бинарные композиции *A. Brasilense* + *T. longibrachiatum*, *B. Circulans* + *T. longibrachiatum* и *A. Brasilense* + *B. Circulans*, прибавки урожайности 4,3–7,0 %, эффективность моноинокулянтов – 1,9–5,9 % по почвенно-эрозионной катене.

Табл. 6. Библиогр. 10.

УДК 631.81:631.559:631.445.2

**Серая Т. М., Богатырева Е. н., Белявская Ю. А., Кирдун Т. М., Бирюкова О. М., Торчило М. М., Жабровская Н. Ю., Путырский И. Н., Демина Г. А., Олешук Е. Н.** Влияние удобрений на урожайность и накопление нитратов в плодах кабачка на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 139.

На основании новых экспериментальных данных, полученных в полевых технологических опытах, разработаны оптимальные системы удобрения кабачка, возделываемого на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности, обеспечивающие стабильную урожайность с высоким качеством плодов.

Выявлены сорта и гибриды кабачка, которые в меньшей степени накапливают нитратный азот в конкретных почвенно-климатических условиях.

Табл. 4. Рис. 3. Библиогр. 9

УДК 541.726:631.589:631.811

**Солдатов В. С., Езубец А. П., Сапрыкин В. В., Косандрович Е. Г., Шаченкова Л. Н.** Питательный субстрат для растений на основе цеолитов // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 149.

Изучены цеолитные субстраты, состоящие из химически модифицированного клиноптилолита Холинского месторождения (Забайкальская группа, Россия) и содержащие корректирующие добавки – природные фосфатные минералы. Цеолит насыщен ионами  $K^+$  и  $NH_4^+$ , мольное соотношение которых (N/K) может варьировать в пределах N/K = 0,5–4. Величина pH контактирующей с субстратом воды также может быть задана в процессе производства (pH = 4,5–7,5). Мы исследовали выращивание в лабораторных сосудных экспериментах следующих культур: салаты листовые; райграс; томаты; огурец; картофель из семени; земляника садовая; кабачок; перец сладкий; арабидопсис; бархатцы; горох. В качестве основной тест-культуры для выяснения влияния различных факторов на рост растений использовался листовая салат сорта Афицион (*Lactuca sativa*, *Aficion*). На этом примере было изучено влияние следующих факторов на рост растений на питательных средах, содержащих цеолитный субстрат: гранулометрический состав субстрата; влияние содержания субстрата в смесях с различными бесплодными

и питательными грунтами; рН воды, контактирующей с субстратом; соотношение подвижных азота и калия в субстрате. Все испытанные растения могут расти на 100-процентном цеолитном субстрате и положительно отзываются на добавку такого субстрата к удобренным и неудобренным грунтам.

Добавка сравнительно небольшого количества неудобренного нейтрализованного верхового торфа к цеолитному субстрату резко улучшает рост растений. Растения, выросшие на таких смесях, содержат на порядок меньше нитратов в биомассе, чем на питательных грунтах, удобренных нитратами при сравнимых урожаях биомассы.

Табл. 2. Рис. 7. Библиогр. 23.

УДК 635.64:631.589:631.811

**Солдатов В. С., Езубец А. П.** Динамика роста растений томата на смесях цеолитного субстрата и верхового торфа // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 161.

Изучено влияние состава смесей питательного цеолитного субстрата с неудобренным нейтрализованным верховым торфом на рост детерминантных томатов в лабораторном сосудном эксперименте. Цеолитный субстрат содержал полный комплект неорганических веществ необходимых для растений. В эксперименте варьировалось содержание цеолитного субстрата в смеси с торфом (0–100 %) и мольное отношение азота и калия ( $N:K = 0,5:1 - 3:1$ ) при суммарном содержании этих элементов около 50 мэкв/100 г субстрата. Выращивание томатов проводилось в вегетационных сосудах, содержащих 450 мл питательной среды в течение полного цикла развития растений (от семени до зрелых плодов). Полив осуществлялся водопроводной водой питьевого качества. Никаких подкормок растений на протяжении роста растений не проводилось. В процессе роста растений осуществлялся мониторинг по объему кроны с помощью предложенного метода, который основан на периодическом измерении высоты и ширины проекции растения в разных ракурсах. Это позволило построить зависимости объема кроны в зависимости от времени выращивания, процента субстрата в смеси с торфом и соотношения  $N:K$ . Было показано, что питательные среды, содержащие 50 и более процентов цеолитного субстрата обладают достаточным запасом сбалансированных по составу ионов питательных веществ для того, чтобы обеспечить полноценный рост растений томата детерминантного сорта Красная жемчужина. Наибольший объем кроны и массы плодов наблюдались при использовании смеси 10 % торфа с 90 % цеолитного субстрата с соотношением  $N:K = 2:1$ .

Табл. 3. Рис. 5. Библиогр. 18.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия», согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 30 января 2020 г. № 22 (с изменениями, внесенными приказами ВАК от 09.03.2020 № 62; от 08.07.2020 № 156; от 22.09.2020 № 200; от 20.10.2020 № 230; от 11.11.2020 № 266; от 20.11.2020 № 271), включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

Текст научной статьи должен быть подготовлен в соответствии с требованиями главы 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь от 28.02.2014 № 3) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – методы и объекты исследований, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А4. Все материалы представляются в электронном виде.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 пт, через одинарный интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF, JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно. Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

Сведения об источниках оформляются в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 7.80-2000 «Библиографическая Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 25.06.2014, 7/2786 9 запись. Заголовок. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.82-2001 «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.12-93 «Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила», межгосударственным стандартом ГОСТ 7.11-2004 «Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках», государственным стандартом Республики Беларусь СТБ 7.12-2001 «Библиографическая запись. Сокращение слов на белорусском языке. Общие требования и правила».

Поступившая статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии и рассматривается на заседании редколлегии. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.

**ДЛЯ ЗАМЕТОК**