

ISSN 0130-8475

---

**Институт почвоведения и агрохимии**

---

# **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

*Основан в 1961 г.*

**№ 2(55)  
Июль – декабрь 2015 г.**

Минск  
2015

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)  
А.Ф. ЧЕРНЫШ (зам. главного редактора)  
Н.Ю. ЖАБРОВСКАЯ (ответственный секретарь)

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

## **ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ**

*2(55)  
Июль – декабрь 2015 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) 212-08-21, факс (017) 212-04-02  
E-mail [brissainform@mail.ru](mailto:brissainform@mail.ru)

© Республиканское научное  
дочернее унитарное предприятие  
«Институт почвоведения и агрохимии», 2015

# СОДЕРЖАНИЕ

## 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

<b>Пироговская Г.В.</b> Катионно-анионный состав лизиметрических растворов из пахотных почв Беларуси (по данным 1981–2012 гг.).....	7
<b>Курьянович М.Ф., Черныш А.Ф., Шалькевич Ф.Е.</b> Эффективность использования материалов дистанционных съемок при обновлении почвенных карт ....	18
<b>Бындыч Т.Ю., Коляда Л.П., Трускавецкий С.Р.</b> Современные подходы к дистанционной фитоиндикации состояния почвенного покрова.....	30
<b>Черный С.Г., Поляшенко Н.В.</b> Определение допустимой нормы эрозии для южных черноземов Правобережной Степи Украины.....	38
<b>Чупрова В.В., Демьяненко Т.Н., Жуков З.С., Бабиченко Ю.В.</b> Оценка плодородия почв и почвенных комбинаций пахотных земель Красноярской Лесостепи .....	47
<b>Трофименко П.И., Борисов Ф.И., Трофименко Н.В.</b> Интенсивность дыхания почв Левобережного Полесья Украины в условиях агроценоза .....	56
<b>Афанасьев Ю.А.</b> Оценка состояния чернозема оподзоленного в условиях капельного орошения и овощного севооборота Левобережной Лесостепи Украины .....	66

## 2. ПЛОДОРДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

<b>Пироговская Г.В., Исаева О.И.</b> Поступление макро- и микроэлементов с атмосферными осадками и их потери при вымывании из дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава.....	76
<b>Фатеев А.И., Бородина Я.В., Мартыненко В.М., Собко Н.Г.</b> Влияние систем удобрения и обработки почвы в короткоротационном севообороте на питательный режим чернозема типичного.....	86
<b>Цыбулько Н.Н.</b> Временная динамика параметров миграции $^{137}\text{Cs}$ и $^{90}\text{Sr}$ в системе почва–растение: сравнительный анализ .....	92
<b>Господаренко Г.Н., Прокопчук И.В.</b> Содержание гумуса в черноземе оподзоленном после длительного применения удобрений в полевом севообороте .....	102
<b>Асеева Т.А.</b> Приемы расширенного воспроизводства плодородия тяжело-суглинистых почв Приамурья .....	107

<b>Серая Т.М., Богатырева Е.Н. Кирдун Т.М., Бирюкова О.М., Белявская Ю.А., Торчило М.М.</b> Влияние запашки побочной продукции предшественника и доз минеральных удобрений на урожайность ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве.....	117
<b>Иовик Л.Н.</b> Агроэкономическая эффективность внесения органических удобрений на основе отходов биогазовой установки под ячмень на дерново-подзолистой супесчаной почве.....	125
<b>Иовик Л.Н., Серая Т.М.</b> Эффективность жидких и твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой супесчаной почве.....	138
<b>Рак М.В., Пукалова Е.Н., Савицкая В.А., Гук Л.Н.</b> Эффективность кобальтовых удобрений при возделывании ярового ячменя на разных уровнях обеспеченности супесчаной почвы кобальтом.....	150
<b>Семененко Н.Н.</b> Экспресс-способ определения азотминерализующей способности торфяных почв.....	158
<b>Михайловская Н.А.</b> Азоспириллы и их влияние на злаковые культуры (обзор литературы).....	167
Рефераты .....	182
Правила для авторов .....	189

---

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

<b>Pirahouskaya H.V.</b> Cation-anion structure of lysimeter solutions from arable soils of Belarus (according to 1981–2012) .....	7
<b>Kuryanovich M.F., Chernysh A.F., Shalkevich F.E.</b> Efficient use of materials of remote sensing to update soil maps .....	18
<b>Byndych T.Yu., Koliada L.P., Truskavetsky S.R.</b> Modern approaches to remote phytoindication of soil cover condition .....	30
<b>Chornyy S.G., Polyashenko N.V.</b> Definition soil loss tolerance for south chernozem of right bank of Ukraine.....	38
<b>Chuprova V.V., Demyanenko T.N., Zhukov Z.C., Babichenko Yu.V.</b> Evaluation of soil and soil combination fertility of croplands in Krasnoyarsk Forest-steppe .....	47
<b>Trofymenko P.I., Borysov F.I., Trofymenko N.V.</b> Soil respiration intensity of the left-bank Polissya of Ukraine under the conditions of agrocenosis .....	56
<b>Afanasyev Yu.A.</b> Evaluation of podzolic chernozem under drip irrigation and vegetable crop rotation of Left-bank forest steppe of Ukraine.....	66

**2. SOIL FERTILITY AND FERTILIZATION**

<b>Pirogovskaja G.V., Isayeva A.I.</b> Enter of macro and microelements with atmospheric precipitation and their losses by removal from sod-podzolic soils of different texture.....	76
<b>Fateev A.I., Borodina J.V., Martynenko V.M., Sobko M.G.</b> Effect of fertilizer and soil cultivation systems in short crop rotation on nutrient regime of typical black soil .....	86
<b>Tsybulko N.N.</b> Time dynamics of parameters of migration $^{137}\text{Cs}$ and $^{90}\text{Sr}$ in system soil-plant: the comparative analysis .....	92
<b>Hospodarenko H.N., Prokopchuk I.V.</b> Humus content in podzolic chernozem after long fertilizer application in crop rotation .....	102
<b>Aseeva T.A.</b> Methods of expanding reproduction of heavy loamy soils fertility of the Priamurye region .....	107
<b>Seraya T.M., Bogatyreva E.N., Kirdun T.M., Biryukova O.M., Belyavskaya Yu.A., Torchilo M.M.</b> Effect of plowing by-product predecessor and mineral fertilizers doses on the barley yield on sod-podzolic sandy loam soil.....	117

<b>Iovik L.N.</b> Agroeconomic efficiency of organic fertilization on the basis of residues of biogas installation under barley on sod-podzolic sandy loam soil .....	125
<b>Iovik L.N., Seraya T.M.</b> Effectiveness of liquid and solid organic fertilizers on the basis of residues of biogas installation in corn green mass cultivation on sod-podzolic sandy loam soil.....	138
<b>Rak M.V., Pukalova E.N., Savitskaya V.A., Guk L.N.</b> Efficiency of cobalt fertilizers in summer barley cultivation on a sandy soil with different cobalt supply levels .....	150
<b>Semenenko N.N.</b> Express-method of determining nitrogen mineralization ability of peat soils .....	158
<b>Mikhailouskaya N.A.</b> Azospirillum spp and their influence on grain crop (review) ...	167
Summaries .....	182
Rules for autors .....	189

# 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.421.3

## КАТИОННО-АНИОННЫЙ СОСТАВ ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ ИЗ ПАХОТНЫХ ПОЧВ БЕЛАРУСИ (по данным 1981–2012 гг.)

**Г.В. Пироговская**

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

### ВВЕДЕНИЕ

Изучение состава почвенных растворов и изменяемость их во времени имеет большое значение для почвоведения и агрохимии. Процессы накопления, передвижения влаги и химических элементов в почве привлекали внимание многих исследователей. Так, К.К. Гедройц [1] в избранных сочинениях указывал, что в конце IX и начале XX столетия для получения почвенных растворов предлагались различные методы: получение почвенного раствора посредством вытеснения его из почвы водой (Schloesing Th., 1866); метод выделения почвенного раствора, основанной на действии центробежной силы (Briggs L., 1897); электрический метод (Whitney M., Means T.H., 1987) и др. Однако они не нашли широкого применения в практике. Ими установлено, что количественный состав почвенных растворов зависит не только от химического состава почвы, но и в значительной степени от физических свойств ее и климатических условий, может постоянно изменяться в зависимости от внешних факторов, влияющих на растворимость почвенных соединений.

Одним из приборов (сооружений), с помощью которого изучали вопросы водного и пищевого режимов почв, был лизиметр. Термин «лизиметр» происходит от греческого слова «lysis» – растворение, разложение и «metro» – измерение. Лизиметры используются для изучения процессов, связанных с инфильтрационными водами, в условиях близких к естественным. Первый опыт с лизиметром был заложен во Франции Де ля Гиром в 1688 г., а в 1795 г. – в Англии Д. Дальтоном. Но популярным в агрохимии этот метод стал только в двадцатые годы XX века. В России один из первых почвенных лизиметров был создан П.А. Костычевым в 1893 г. на Шатиловской опытной станции [2].

Основоположник советской научной школы в агрономической химии Д.Н. Прянишников [3] считал, что главной задачей этой науки является изучение круговорота веществ в земледелии. Изучение круговорота и баланса питательных веществ, требует наличия в каждом научном институте, занятом проблемами агрохимии,

лизиметров в такой же мере, как стационарных полевых опытов и хорошо оборудованных лабораторий.

И.С. Кауричев [4] отмечал, что почвенный раствор имеет огромное значение в генезисе почв и их плодородии, а также в питании растений. Он участвует в процессах преобразования (разрушение и синтез) минеральных и органических соединений, в составе его по профилю почв перемещаются разнообразные продукты почвообразования, поэтому важно знать его состав, свойства и динамику. Почвенный раствор находится в постоянном и тесном взаимодействии с твердой и газовой фазами почвы и корнями растений, и поэтому концентрация и состав его являются результатом биологических, физико-химических и физических процессов, лежащих в основе этого взаимодействия. Состав жидкой фазы почвы в почвоведении изучают лизиметрическим методом, который основан на исследовании просачивающихся через определенную толщину почвы дождевых или талых вод, которые собирают в специальный приемник.

Лизиметрический метод позволяет исследовать почвенные растворы и размеры их миграции, вводить в эксперимент такие контролируемые параметры, которые в полевых условиях просто недоступны. При этом методе можно вести всесторонний количественный учет изменений, проходящих в процессе эксперимента. Данные о миграции элементов питания, полученные в лизиметрических условиях, не полностью отражают протекающие в почве процессы в естественных условиях, так как лизиметрический метод связан с нарушением сложения и структуры почвенного профиля (за исключением монолитных лизиметров), нарушением технологии обработки почвы, исключением движения капиллярной влаги из более глубоких в верхние слои почвы, негативным влиянием «пристеночного эффекта» [5, 6]. Несмотря на это, по мнению многих авторов лизиметрический метод – это эффективный метод почвенных, агрохимических, экологических и мониторинговых исследований, который дает возможность получать новые экспериментальные данные в реальной почвенно-геохимической обстановке ландшафта, в конкретном почвенном пространстве–времени, моделировать условия обеспеченности растений водой и питательными элементами в течение всего периода вегетации и надежно оценивать процессы, происходящие в различных почвах при возделывании сельскохозяйственных культур. Именно лизиметрические данные в реальных экосистемах позволяют получать наиболее объективные сведения по основным направлениям современной трансформации и миграции веществ в системе «атмосферные осадки–почва–гравитационная влага–удобрения–растения», и имеют большой теоретический и практический интерес [5–9].

Лизиметрические растворы представляют собой фильтрующиеся через почву атмосферные осадки, обогащенные легкорастворимыми веществами – продуктами физико-химических, химических, микробиологических и других процессов, протекающих в почвах, а также соединениями, поступающими с органическими и минеральными удобрениями и вступающими во взаимодействие с жидкой и твердыми фазами в почве. Минеральная часть лизиметрических растворов представлена катионами:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$  и анионами:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  [10, 11, 12].



Анализ отечественных и зарубежных источников свидетельствует о том, что к лизиметрическим исследованиям в системе «атмосферные осадки–почва–удобрение–растение» уделяется большое внимание.

В данной статье обобщены результаты многолетних лизиметрических исследований (1981–2012 гг.) по качественному и количественному составу катионов и анионов в лизиметрических растворах из пахотных дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава Республики Беларусь (слой 1,0 и 1,5 м), которыми заполнены лизиметры (1980 г.).

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии», расположенной в южной части г. Минска (53°51'03" N, 27°30'26" E) Республики Беларусь. Станция введена в эксплуатацию в 1980 году, включает 48 насыпных лизиметра, цилиндрической формы из сборных железобетонных колец с глубиной 1,0 м (24 лизиметра) и 1,5 м (24 лизиметра). Колодцы лизиметров имеют внутренний диаметр 2,0 м, площадь – 3,14 м<sup>2</sup>. Повторность в лизиметрических опытах двух и четырехкратная (для песчаных почв).

Объекты исследований – содержание катионов и анионов в лизиметрических растворах из пахотных дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава.

Методы исследований – лизиметрический, химический и аналитический. Закладка лизиметрических опытов, уход за растениями, учет атмосферных осадков, их инфильтрация, учет лизиметрических растворов из слоя почв (1,0 и 1,5 м) и их анализ проводили в соответствии с общепринятыми методиками по проведению лизиметрических исследований (Е.В. Аринушкиной, Ю.В. Новикова, О.А. Алекина) [13, 14, 15].

Катионно-анионный состав лизиметрических растворов определялся за длительный период (1981–2012 гг.) в каждом лизиметре. В статье приведены средние данные по слоям 1,0 и 1,5 м, т.е. по двум лизиметрам. В период исследований в лизиметрах возделывались зерновые, пропашные, крупяные, промежуточные культуры и др. в различных типах севооборотов.

В лизиметрическом опыте № 1 уровень применения минеральных удобрений под культуры севооборотов на всех дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава был одинаковым. Среднегодовая доза (1981–2012 гг.) применения удобрений составила 12 т/га органических удобрений и минеральных – N<sub>72</sub>P<sub>61</sub>K<sub>103</sub>.

В лизиметрическом опыте № 2 в исследованиях 1981–1986 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой и рыхлосупесчаной почвах в первом севообороте – картофель (1981 г.), ячмень (1982 г.), однолетние травы (клевер + люпин) (1983 г.), ячмень (1984 г.), озимая рожь на зеленую массу (1985 г.) изучалось влияние известковых мелиорантов и органических удобрений на фоне NPK на катионно-анионный состав лизиметрических растворов. В период 1991–2000 гг. исследования по изучению катионно-анионного состава лизиметрических растворов продолжены при возделывании сельскохозяйственных культур в севооборотах: 3-й севооборот – ячмень (1991 г., пелюшко-овсяная смесь

на з/м (1992 г.), сахарная свекла (1993 г.), ячмень (1994 г.), овес (1995 г.); 4-й севооборот – кукуруза (1996 г.), ячмень (1997 г.), пелюшко-овсяная смесь (1998 г.), озимая рожь (1999 г.), овес (2000 г.).

Результаты исследований обрабатывались статистически по Б.А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на ПЭВМ [16].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что инфильтрация атмосферных осадков через определенный слой почв, состав почвенных растворов, изменяются в зависимости от количества выпадающих осадков, степени увлажнения и сезонности года, типа и гранулометрического состава почв [12, 17].

Экспериментальные данные, полученные на лизиметрической станции за период 1981–2012 гг. свидетельствуют, что инфильтрация атмосферных осадков через слой 1,0–1,5 м пахотных дерново-подзолистых почв Республики Беларусь, состав катионов и анионов в почвенных лизиметрических растворах в большей степени изменялись в зависимости от гранулометрического состава почв. Установлено, что при одном и том же количестве выпадающих атмосферных осадков, температурном режиме, одинаковом уровне применения минеральных удобрений под культуры севооборотов, общий объем инфильтрации атмосферных осадков в среднем за год (1981–2012 гг.) составил: на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (лиз. 1, 2) – 90,9 л/м<sup>2</sup>; на той же легкосуглинистой, хорошо окультуренной почве (агрозем, лиз. 33, 34) – 83,7 л/м<sup>2</sup>; почвообразующей породе – лессовидный суглинок, взятый из глубины 1,5–3,0 м (лиз. 11, 12) – 115,2 л/м<sup>2</sup>; легкосуглинистой, подстилаемой с глубины 0,75 м моренным суглинком (лиз. 3, 4) – 143,4 л/м<sup>2</sup>; легкосуглинистой, подстилаемой с 0,50 м рыхлым песком (лиз. 5, 6) – 126,6 л/м<sup>2</sup>; связносупесчаной, подстилаемой с глубины 0,7 м моренным суглинком с прослойкой песка на контакте (лиз. 7, 8) и рыхлосупесчаной, подстилаемой с глубины 0,3 м рыхлыми песками (лиз. 9, 10) – 146,3 л/м<sup>2</sup>; песчаной (лиз. 13, 14, 15, 16) – 212,1 л/м<sup>2</sup> [17].

Состав катионов и анионов, водородный показатель в лизиметрических почвенных растворах в период исследований (1981–2012 гг.) также изменялись на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава при использовании различных агротехнических приемов (известковых мелиорантов, органических удобрений, доз и форм минеральных удобрений) (табл. 1–4). Величина рН (водородный показатель, представляющий собой отрицательный логарифм активности Н<sup>+</sup> – ионов) лизиметрических растворов из дерново-подзолистых пахотных почв в среднем за 1981–2012 гг. находилась в пределах от 7,3 до 7,9. Все почвы имели щелочную реакцию (рН больше 7,0), при этом наиболее щелочная реакция почвенного раствора наблюдалась на почвообразующей породе (лиз. 11 и 12) – 7,9, а также на высокоокультуренных дерново-подзолистой легкосуглинистой (лиз. 33, 34) и связносупесчаной, подстилаемой с глубины 0,45 м прослойкой песка на контакте, а с глубины 0,70 м моренным суглинком (лиз. 7, 8) – 7,5 и 7,8 (табл. 1).

Таблица 1

**Количественный и качественный состав лизиметрических растворов из пахотных дерново-подзолистых почв Республики Беларусь (среднее из лизиметров 1,0–1,5 м, за 1981–2012 гг.)**

Название почвы	рН р-ра	Сумма катионов и анионов, мг-экв./л											сум- ма ионов	
		КАТИОНЫ					АНИОНЫ					сум- ма		
		K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	сум- ма	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
1. Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на мощном лесовидном суглинке, лиз. 1, 2	7,3	0,22	1,00	2,31	0,78	0,03	4,34	1,35	0,21	0,59	0,79	0,004	2,94	7,28
2. Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на мощном лесовидном суглинке (высокоокультуренная), лиз. 33, 34	7,5	0,42	1,05	2,79	1,12	0,02	5,40	1,27	0,32	0,66	1,36	0,031	3,64	9,04
3. Почвообразующая порода (лессовидный суглинок с глубины 1,5–3,0 м), лиз. 11, 12	7,9	0,27	0,98	2,50	1,13	0,03	4,91	1,24	0,16	0,45	2,28	0,004	4,13	9,04
4. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на легком лесовидном суглинке, подстилаемом с глубины 0,75 м моренным суглинком, лиз. 3, 4	7,4	0,21	0,94	2,34	0,81	0,02	4,32	1,14	0,35	0,47	0,97	0,003	2,93	7,25
5. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на легком лесовидном суглинке, подстилаемом с 0,5 м рыхлым песком, лиз. 5, 6	7,3	0,17	0,84	2,09	0,71	0,03	3,84	1,03	0,33	0,46	0,63	0,002	2,45	6,29
6. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси связной, подстилаемой с глубины 0,45 м прослойкой песка на контакте, а с глубины 0,70 м моренным суглинком (высокоокультуренная), лиз. 7, 8	7,8	0,21	0,76	3,66	0,96	0,02	5,61	1,04	0,43	0,51	2,26	0,004	4,24	9,85
7. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси рыхлой, сменяемой с глубины 0,3 м связным песком, а с глубины 0,5 м рыхлым песком, лиз. 9, 10	7,4	0,45	0,89	1,74	0,99	0,02	4,09	1,09	0,33	0,47	0,89	0,001	2,78	6,87
8. Дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на связном песке, сменяемом с глубины 0,25 м рыхлым песком, лиз. 13–16	7,4	0,41	0,47	1,79	0,82	0,02	3,51	0,77	0,41	0,49	0,66	0,002	2,33	5,84
НСР <sub>05</sub>	0,48	0,01	0,05	0,18	0,06	0,002	–	0,07	0,02	0,03	0,08	0,0003	–	–

Примечание. Среднегодовая (за 1981–2012 гг.) доза органических удобрений составила 12 т/га, минеральных – N<sub>72</sub>P<sub>61</sub>K<sub>103</sub> (лиз. 1–16, 33–34).

Количество ионов (мг-экв./л) в инфильтрационных лизиметрических растворах (в среднем за 32 года) составило: в дерново-подзолистой легкосуглинистой, развивающейся на мощных лессовидных суглинках почве (лиз. 1, 2) – 4,34 (катионы) и 2,94 (анионы), в сумме – 7,28 мг-экв./л. Соответственно, в аналогичной почве, но высококультуренной (лиз. 33, 34) – 5,40 и 3,64 и в сумме – 9,04 мг-экв./л, в почвообразующей породе – 4,91 и 4,13, в сумме – 9,04 мг-экв./л. В дерново-подзолистых легкосуглинистых, подстилаемых с глубины 0,75 м моренными суглинками (лиз. 3, 4), или с глубины 0,5 м песком (лиз. 5, 6) – 4,33 и 3,84 (катионы) и 2,93 и 2,45 (анионы) и в сумме 7,25 и 6,29 мг-экв./л, в дерново-подзолистых связносупесчаных, подстилаемых моренными суглинками (лиз. 7, 8) – 5,61 (катионы) и 4,24 (анионы), в сумме 9,85 мг-экв./л, рыхлосупесчаной, подстилаемой рыхлыми песками (лиз. 9, 10) – 4,09 (катионы) и 2,78 (анионы), в сумме 6,87 мг-экв./л, в дерново-подзолистой песчаной (лиз. 13–16) – 3,51 (катионы) и 2,33 (анионы), в сумме 5,84 мг-экв./л. Во всех лизиметрических растворах, отобранных из дерново-подзолистых почв, наблюдалось преобладание количества катионов (в 1,2–1,67 раза) по сравнению с анионами (табл. 1).

Концентрации элементов в почвенных растворах из дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава изменялись в пределах: азот нитратный – от 9,8 (почвообразующая порода) до 25,3 (песчаная) мг/л; азот аммонийный – 0,27 (связносупесчаная) – 0,61 (легкосуглинистая) мг/л. Содержание калия в лизиметрических растворах из дерново-подзолистых почв находилось на уровне от 8,5 до 22,6 мг/л, кальция – 34,8–73,1 мг/л, магния 8,6–13,8 мг/л, натрия – 11,0–24,3 мг/л, хлоридов – 27,5–48,2 мг/л, сульфатов – 21,5–31,6 мг/л, гидрокарбонатов – 39,3–142,4 мг/л, фосфатов – 0,065–1,473 мг/л, водорастворимого органического вещества – 14,6–19,4 мг/л. Данные по инфильтрациям атмосферных осадков через слой (1,0–1,5 м) почв, а также по составу и концентрациям химических элементов в лизиметрических растворах свидетельствуют о том, что эти показатели существенно изменялись в зависимости от гранулометрического состава дерново-подзолистых почв.

Установлено, что с увеличением степени окультуренности и содержания органического вещества в почвах, отмечается более высокая насыщенность основаниями. Так, сумма  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах (лиз. 33 и 34) составила 3,91 мг-экв./л и связносупесчаных (лиз. 7 и 8) – 4,62 мг-экв./л, при значениях этого показателя в пахотной легкосуглинистой почве (лиз. 1 и 2) – 3,09 мг-экв./л и почвообразующей породе – 3,63 мг-экв./л. В лизиметрических растворах высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (лиз. 33–34), увеличилось отношение  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$  (0,49) и снизилось  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$  (0,24) и  $\text{Cl}^-/\text{Ca}^{2+}$  (0,46) по сравнению с аналогичной легкосуглинистой почвой (лиз. 1–2) –  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$  – 0,34,  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$  – 0,26 и  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$  – 0,58). Для сравнения в почвообразующей породе эти показатели следующие:  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$  – 0,91,  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$  – 0,18 и  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$  – 0,50 (табл. 2).

Полученные данные о влиянии на катионно-ионный состав почвенных растворов, в зависимости от степени окультуренности почв и содержания органического вещества подтверждаются и другими исследователями, в частности В.Н. Ефимовым, А.И. Осиповым и Е.Ф. Чесноковой [18].

Таблица 2

**Ионный состав и соотношение катионов и анионов в почвенном растворе в зависимости от содержания органического вещества в дерново-подзолистых легкосуглинистых и связносупесчаных почвах (1981–2012 гг.)**

Название почв	Содержание гумуса, %	Соотношение катионов к анионам	Сумма, мг-экв./л				HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup> /Ca <sup>2+</sup>
			Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>			
			по средним данным за 1981–2012 гг.						
1. Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном суглинке, лиз. 1, 2	1,50* 2,18**	1,47	3,09	0,79	0,59	1,35	0,34	0,26	0,58
2. Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном суглинке (высококультуренная), лиз. 33, 34	2,83* 3,19**	1,48	3,91	1,36	0,66	1,27	0,49	0,24	0,46
3. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси связной, подстилаемой с глубины 0,45 м прослойкой песка на контакте, а с глубины 0,70 м моренным суглинком (высококультуренная), лиз. 7, 8	3,78* 4,01**	1,32	4,62	2,26	0,51	1,04	0,62	0,14	0,28
Для сравнения:									
Почвообразующая порода (лессовидный суглинок с глубины 1,5–3,0 м), лиз. 11, 12 (на 2010 г.)	0,36* 1,44**	1,19	3,63	2,28	0,45	1,24	0,91	0,18	0,50

Примечание. \* – содержание гумуса в 1980 г.; \*\* – в 2010 г.

Известно, что наиболее сильное влияние на состав ионов в лизиметрических растворах оказывает внесение известковых, органических и минеральных удобрений [12, 19].

В лизиметрических растворах в блоке с внесением известкового мелиоранта (доломитовой муки) на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве увеличилось содержание Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, уменьшилось, преимущественно, количество катионов K<sup>+</sup>, при содержании Na<sup>+</sup> на уровне варианта без внесения извести. Среди анионов уменьшилось в основном HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. На этой почве отношения HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Ca<sup>2+</sup> и HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Ca<sup>2+</sup> в варианте с внесением извести

уменьшились до 0,34, 0,69 и 0,77 по сравнению с вариантом без ее внесения (0,43, 0,71 и 0,83), что указывает на уменьшение ионов в почвенном растворе и свидетельствует об уменьшении загрязнения грунтовых и поверхностных вод биогенными элементами (табл. 3).

На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в составе катионов увеличилось только содержание  $\text{Ca}^{2+}$  (в 1,3 раза), уменьшилось содержание  $\text{Mg}^{2+}$  без изменения катионов  $\text{NH}_4^+$ . В группе анионов увеличилось (1,1–1,3 раза) количество почти всех анионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) без изменения  $\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$ . Отношения  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$  остались на одном уровне, уменьшилось только отношение  $\text{Cl}^-/\text{Ca}^{2+}$  до 0,72, при значениях данного показателя в варианте без извести – 0,84. На этой почве сумма ионов, наоборот, увеличилась при внесении известковых мелиорантов на фоне высокой дозы органических удобрений (16 т/га) при  $\text{N}_{68}\text{P}_{64}\text{K}_{108}$  (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние известковых мелиорантов на содержание катионов и анионов в лизиметрических растворах из дерново-подзолистой легкосуглинистой и рыхлосупесчаной почв, (среднее за 1981–1985 гг.)**

Катионы и анионы	Без извести	С известью	Без извести	С известью
	фон – 16 т/га ОУ* $\text{N}_{68}\text{P}_{64}\text{K}_{108}$			
	легкосуглинистая		рыхлосупесчаная	
	мг-экв./л			
$\text{K}^+$	0,66	0,52	0,87	0,82
$\text{Na}^+$	1,20	1,19	1,68	1,67
$\text{Ca}^{2+}$	2,54	2,68	2,32	2,93
$\text{Mg}^{2+}$	0,90	1,12	1,07	0,97
$\text{NH}_4^+$	0,01	0,02	0,02	0,02
Сумма катионов	5,31	5,53	5,96	6,41
$\text{Cl}^-$	2,10	2,07	1,95	2,11
$\text{NO}_3^-$	0,17	0,18	0,37	0,45
$\text{SO}_4^{2-}$	1,80	1,85	1,46	1,83
$\text{HCO}_3^-$	1,08	0,92	1,11	1,40
$\text{H}_2\text{PO}_4^{-2}$	0,002	0,003	0,001	0,001
Сумма анионов	5,15	5,02	4,89	5,79
Сумма ионов	10,45	10,55	10,85	12,19
$\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$	0,43	0,34	0,48	0,48
$\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$	0,71	0,69	0,63	0,63
$\text{Cl}^-/\text{Ca}^{2+}$	0,83	0,77	0,84	0,72
pH раствора	7,6	7,8	7,7	7,7

В этом же севообороте (1981–1985 гг.) изучалось влияние органических удобрений (16 т/га на фоне  $\text{N}_{160}\text{P}_{120}\text{K}_{240} + \text{CaCO}_3$  и 24 т/га ОУ на фоне  $\text{N}_{80}\text{P}_{60}\text{K}_{120} + \text{CaCO}_3$ ) на изменение катионно-анионного состава лизиметрических растворов из дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почв (табл. 4). Выявлено, что применение органических удобрений на фоне внесения минеральных и известкования влияет на изменение ионного состава почвенных растворов из дерново-подзолистых как легкосуглинистых, так и рыхлосупесчаных почв.

В лизиметрических растворах из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при внесении разных доз органических удобрений количество ионов в почвенном растворе изменялось незначительно, соотношение катионов к анионам увеличилось в 1,1–1,2 раза. Отношения  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Cl}^-/\text{Ca}^{2+}$  уменьшались соответственно при внесении 16 т/га органических удобрений до 0,43, 0,61 и 0,72 при 24 т/га ОУ – 0,34, 0,69 и 0,77, по сравнению с вариантом без их внесения – от 0,48, 0,85 и 1,11 и до 0,43, 0,71 и 0,83, что свидетельствует об уменьшении анионов в почвенном растворе.

На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве при органо-минеральной системе удобрения в катионно-анионном составе увеличилась сумма катионов и анионов, уменьшилось соотношение катионов к анионам. Что касается отношений  $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$  остались примерно на одном уровне, отмечалось только изменение отношения  $\text{Cl}^-/\text{Ca}^{2+}$  (табл. 4).

Таблица 4

**Сумма ионов и соотношение катионов и анионов в лизиметрических растворах из дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почв в зависимости от известковых мелиорантов и органических удобрений, 1981–1985 гг.**

Вариант	Сумма ионов, мг-экв/л			$\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$	$\text{Cl}^-/\text{Ca}^{2+}$
	катионов + анионов	Соотношение				
		катионов к анионам	анионов к катионам			
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая</i>						
$\text{N}_{160}\text{P}_{120}\text{K}_{240} + \text{CaCO}_3$ (фон 1) (лиз. 27, 28)	11,57	0,93	1,08	0,48	0,85	1,11
Фон 1 + 16 т/га ОУ (лиз. 25, 26)	10,97	1,11	0,90	0,43	0,61	0,72
$\text{N}_{80}\text{P}_{60}\text{K}_{120} + \text{CaCO}_3$ (фон 2) (лиз. 31, 32)	10,45	1,03	0,97	0,43	0,71	0,83
Фон 2 + 24 т/га ОУ (лиз. 29, 30)	10,53	1,10	0,91	0,34	0,69	0,77
<i>Дерново-подзолистая рыхлосупесчаная</i>						
$\text{N}_{160}\text{P}_{120}\text{K}_{240} + \text{CaCO}_3$ (фон 1) (лиз. 47, 48)	11,41	1,30	0,77	0,46	0,61	0,61
Фон 1 + 16 т/га ОУ (лиз. 45, 46)	12,51	1,18	0,84	0,47	0,62	0,69
$\text{N}_{80}\text{P}_{60}\text{K}_{120} + \text{CaCO}_3$ (фон 2) (лиз. 43, 44)	10,83	1,22	0,82	0,48	0,63	0,84
Фон 2 + 24 т/га ОУ (лиз. 41, 42)	12,19	1,10	0,91	0,48	0,63	0,72

\*ОУ – органические удобрения вносились под первую культуру севооборота картофель в дозах 60 и 90 т/га и под третью культуру – озимые зерновые культуры (20 и 30 т/га), среднегодовые дозы органических удобрений в севообороте по вариантам составили 16 и 24 т/га.

Известно, что несбалансированное применение удобрений и повышенные дозы их внесения увеличивают потери элементов питания при вымывании. Установлено, что при  $\text{N}_{124}$  на фоне 12 т/га ОУ +  $\text{P}_{66}\text{K}_{102}$ , по сравнению  $\text{N}_{80}$  увеличивается содержание ионов в почвенных растворах (табл. 5).



**Влияние разных уровней минеральных удобрений на содержание катионов и анионов в лизиметрических растворах из дерново-подзолистой легкосуглинистой и рыхлосупесчаной почв, (среднее за 1991–2000 гг.)**

Катионы и анионы	12 т/га ОУ + P <sub>66</sub> K <sub>102</sub> (фон)		12 т/га ОУ + P <sub>66</sub> K <sub>102</sub> (фон)	
	N <sub>80</sub>	N <sub>124</sub>	N <sub>80</sub>	N <sub>124</sub>
	легкосуглинистая		рыхлосупесчаная	
	мг-экв./л			
K <sup>+</sup>	0,26	0,31	0,45	0,45
Na <sup>+</sup>	1,26	1,27	0,80	0,96
Ca <sup>2+</sup>	3,65	3,71	1,91	2,55
Mg <sup>2+</sup>	1,35	1,27	1,21	1,43
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,026	0,025	0,032	0,031
Сумма катионов	6,55	6,59	4,40	5,42
Cl <sup>-</sup>	1,52	1,43	1,11	1,45
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,17	0,362	0,42	0,57
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,760	0,531	0,382	0,302
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,70	0,97	0,75	0,67
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	0,003	0,004	0,003	0,007
Сумма анионов	3,15	3,30	2,67	3,00
Сумма ионов	9,70	9,88	7,07	8,42
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /Ca <sup>2+</sup>	0,191	0,263	0,395	0,263
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Ca <sup>2+</sup>	0,208	0,143	0,201	0,119
Cl <sup>-</sup> /Ca <sup>2+</sup>	0,416	0,385	0,585	0,568

На обеих почвах отмечается при повышенных дозах внесения азотных удобрений, на фоне 12 т/га ОУ + P<sub>66</sub>K<sub>102</sub>, увеличение количества катионов и анионов, так и в сумме ионов в почвенных растворах.

## ВЫВОДЫ

На основании многолетних лизиметрических исследований (1981–2012 гг.) по изучению катионно-анионного состава почвенных растворов из пахотных почв Республики Беларусь можно сделать следующие выводы:

1. Сумма ионов (анионов и катионов) в лизиметрических растворах в период исследований изменялась в пределах от 5,84 (дерново-подзолистая песчаная) до 9,85 мг-экв./л (дерново-подзолистая высокоокультуренная связносупесчаная, подстилаемая с глубины 0,70 м моренным суглинком).

2. На изменение ионного состава и соотношение катионов и анионов в почвенном растворе влияет внесение известковых мелиорантов, органических и минеральных удобрений. При повышении доз внесения как минеральных, так и органических удобрений увеличивается содержание катионов и анионов в почвенном растворе.

3. При уменьшении отношений HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Ca<sup>2+</sup> и Cl<sup>-</sup>/Ca<sup>2+</sup> отмечается снижение в почвенном растворе гидрокарбонатов, сульфатов и хлоридов, что свидетельствует об уменьшении загрязнения грунтовых и поверхностных вод биогенными элементами.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гедройц, К.К.* Почвенные коллоиды и поглотительная способность почв: в 3 т. / К.К. Гедройц. – М.: Сельхозгиз, 1955. – Т. 1. – 559 с.
2. *Петербургский, А.В.* О значении лизиметрического метода при изучении баланса питательных веществ в земледелии / А.В. Петербургский // Применение лизиметрического метода в почвоведении, агрохимии и ландшафтоведении. – Л., 1972. – С. 32–39.
3. *Прянишников, Д.Н.* Агрохимия / Д.Н. Прянишников. – М.: Сельхозиздат, 1952. – 469 с.
4. Почвоведение / И.С. Кауричев [и др.]; под ред. И.С. Кауричева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1975. – 495 с.
5. *Панников, В.Д.* Лизиметрия – эффективный метод агрохимических исследований / В.Д. Панников // Сельское хозяйство за рубежом. – 1980. – № 8. – С. 2–13.
6. Лизиметры в почвенных исследованиях / Л.Л. Шишов [и др.]; под ред. Л.Л. Шишова. – М., 1998. – 264 с.
7. *Majeed, A.* Computer model for managing saline water for irrigation and crop growth: Preliminary testing with lysimeter data / A. Majeed // *Agricul. Water Manag.* – 1994. – № 4. – P. 239–251.
8. *Wuetal, L.* Numerical and field evaluation of soil water sampled by suction lysimeters / L. Wuetal // *Journal of Envir. Qual.* – 1995. – № 1. – P. 147–152.
9. *Петербургский, А.В.* Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии / А.В. Петербургский. – М.: Наука, 1979. – 168 с.
10. *Barraclough, D.* The use of single and double labelled <sup>15</sup>N ammonium nitrate to study nitrogen uptake by ryegrass / D. Barraclough [et. al] // *Journal Soil Sc.* – 1985. – Vol. 36, № 4. – P. 593–603.
11. *Филимонов, Д.А.* Влияние сельскохозяйственных культур на потери азота с лизиметрическими водами / Д. А. Филимонов [и др.] // Бюллетень ВИУА им. Д.Н. Прянишникова. – 1975. – № 25. – С. 66–69.
12. *Шильников, И.А.* Потери элементов питания растений в агробиологическом круговороте веществ и способы их минимизации / И.А. Шильников [и др.]. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.
13. *Аринушкина, Е.В.* Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: МГУ, 1970. – 487 с.
14. *Новиков Ю.В.* Методы исследования качества воды водоемов / Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.Н. Болдина. – М.: Медицина, 1990. – 256 с.
15. *Алекин, О.И.* Руководство по химическому анализу вод суши / О.И. Алекин, А.Д. Семенов, Б.А. Скопинцев. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 270 с.
16. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
17. *Пироговская, Г.В.* Инфильтрация атмосферных осадков в пахотных почвах Республики Беларусь при длительном сельскохозяйственном использовании (по данным лизиметрических исследований 1981–2012 гг.) / Г.В. Пироговская // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № (54). – С. 179–188.

18. Использование азота почвы и удобрений растениями ячменя на дерново-подзолистых супесчаных почвах разной степени окультуренности / В.Н. Ефимов [и др.] // Агрохимия. – 1985. – № 7. – С. 7.

19. Потери элементов питания растений / И.А. Шильников [и др.]. – М., 2015. – 502 с.

## **CATION-ANION STRUCTURE OF LYSIMETER SOLUTIONS FROM ARABLE SOILS OF BELARUS (ACCORDING TO 1981–2012)**

**H.V. Pirahouskaya**

### **Summary**

The data of long-term lysimeter researches on cation-anion structure of sod-podzolic soils different texture are cited. The sum of ions (anions and cations) in lysimeter solutions during researches (1981–2012) changed from 5,8 (sandy) up to 9,9 mg-equivalent/l (coherent sandy soil spread with moraine loams). Change of ionic structure and cation and anion correlation in a soil solution are influenced with entering lime means, organic and mineral fertilizers. At the raised dozes of entering both mineral, and organic fertilizers, the cation and anion content in a soil solution increases. At the moderate dozes of fertilizers attitudes ( $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Cl}^-/\text{Ca}^{2+}$ ) decrease, that testifies to pollution decrease of ground and superficial waters by hydrocarbonates, sulfates and chlorides.

30.11.2015

УДК 528 + 631.4(476)

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДИСТАНЦИОННЫХ СЪЕМОК ПРИ ОБНОВЛЕНИИ ПОЧВЕННЫХ КАРТ**

**М.Ф. Курьянович<sup>1</sup>, А.Ф. Черныш<sup>2</sup>, Ф.Е. Шалькевич<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>НПЦ по геологии, г. Минск, Беларусь*

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

*<sup>3</sup>Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Почвенные карты, содержащие информацию о почвах и почвенном покрове являются основой для ведения сельскохозяйственного производства и планирования мероприятий по рациональному использованию и охране земель. Однако почвенно-картографические материалы с течением времени информационно и физически стареют. На устаревших почвенных картах могут содержаться искаженные факты и сведения об отдельных элементах почвенного покрова. Следовательно, они периодически должны обновляться.

В настоящее время вся территория республики покрыта крупномасштабной почвенной съемкой, материалы которой периодически подвергаются обновлению. Основными доводами целесообразности и необходимости обновления почвенных карт являются изменения границ и площадей почвенных разновидностей в результате, например, мелиоративных работ.

Эффективность работ при обновлении почвенных карт, а также их точность и информативность, в большой мере зависят от используемой картографической основы.

Материалы дистанционных съемок, дающие объективное отображение земной поверхности, позволяют почвоведу сравнительно быстро ориентироваться на местности, определять местоположение, довольно точно намечать места закладки почвенных разрезов и прикопок, а также облегчают процесс установления границ почвенных контуров [9].

Методические работы по проведению корректировки крупномасштабных почвенных карт на основе аэрофотоматериалов были выполнены впервые в 80-х годах прошлого столетия [1, 13, 5, 19]. Характерная особенность данных работ заключается в том, что в камеральных условиях с использованием аэрокосмических снимков и уже имеющихся почвенных карт проводится генетическое дешифрирование почв, т. е. выделение контуров с установлением их классификационной принадлежности.

Исследования [2] показывают, что при корректировке крупномасштабных почвенных карт высокоэффективно использовать не только аэроснимки, но и космические снимки сверхвысокого разрешения (<1 м).

Если методические вопросы корректировки крупномасштабных почвенных карт разработаны достаточно детально и освещены в работах [1, 13, 15, 19], то для средне- и мелкомасштабных карт требуют изучения.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является почвенный покров Белорусского Полесья. Для исследования использовались крупномасштабные почвенные карты ключевых участков, составленные на основе аэрокосмических снимков как в полевых, так и камеральных условиях для различных ландшафтов, а также районные почвенные карты в масштабе 1:50 000. Для дешифрирования почв использовались аэрофотоснимки масштаба 1:10 000 – 1:50 000, а также космические снимки съемочных систем Landsat с пространственным разрешением 30 и 50 м, IRS – 6 м, Alos – 10 м и БКА с пространственным разрешением 10 и 2,1 м. Для почвенных карт ключевых участков с целью количественной характеристики неоднородности почвенного покрова выполнен картометрический анализ с вычислением коэффициентов структуры почвенного покрова. При анализе почвенного покрова различных ландшафтов использовался сравнительно-географический метод познания, метод ключевых участков и аэрокосмоэталонирование. При дешифрировании МДС использовались визуальный, визуально-инструментальный и интерактивный метод. При дешифрировании почвенного покрова использовался системный подход, суть которого заключается в том, что объектом картографирования являются не отдельные почвенные разновидности и их распространение, а почвенно-географическое пространство в целом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При обновлении почвенных карт в соответствии с методическими указаниями [3, 10], сплошное полевое исследование почв проводится при измененности границ почвенных контуров более 75%, меньше данного уровня – корректировку. При почвенном картографировании почвовед решает две основные задачи – определение генезиса почв и установление границ почвенных контуров. Если решение первой задачи в основном зависит от профессиональной подготовки специалиста, то выполнение другой в большей мере зависит от вида используемой картографической основы. План землепользования с сечением горизонталей через 1 м в условиях Белорусского Полесья недостаточно отражает изменения микрорельефа, что и обуславливает как трудности в картографировании, так и качество составляемых карт, особенно на территориях с высокой неоднородностью почвенного покрова. Исследования [18] показывают, что на всех почвенных картах, составленных на основе плана землепользования, независимо от типа ландшафта, измененность границ почвенных контуров превышает более 75%. Однако при отсутствии грубых ошибок на картах в определении генетической принадлежности почвенных контуров, использование материалов дистанционных съемок позволяет проводить их корректировку без сложного полевого обследования. Материалы дистанционных съемок, полученные при оптимальных технических и погодных условиях съемки, дают объективное отображение почвенного покрова и позволяют получать почвенные карты высокой точности и детальности. Почвенные карты, составленные на основе МДС, обладают высокой детализацией в отображении почвенного покрова. Контурная нагрузка данных карт в зависимости от типа ландшафта может увеличиваться до 2,5 раз [2]. Исследования [8, 9] показывают, что на почвенных картах, составленных на основе материалов дистанционных съемок резко увеличивается количество контуров площадью до 1 га (39–79%). В то время как на почвенных картах составленных традиционным методом их количество не превышает 39,2%.

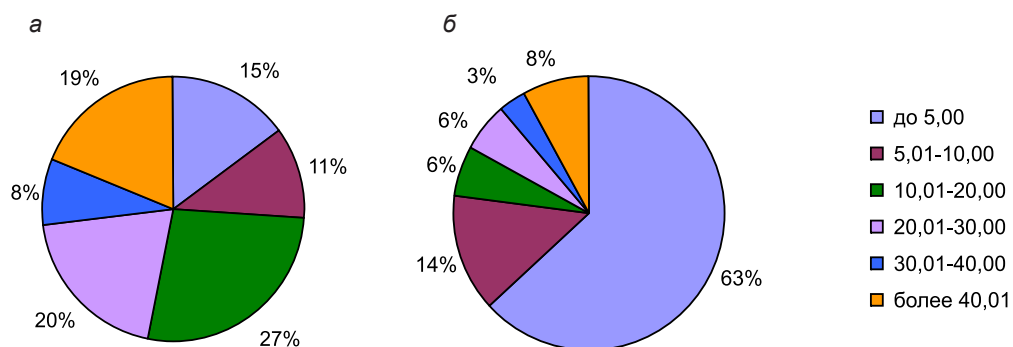


Рис. 1. Распределение количества контуров в зависимости от их площади на почвенных картах масштаба 1:50 000 составленных на основе: а – плана землепользования; б – аэрофотоснимка

Наши исследования на примере ключевого участка «Польдер» показали, что та же закономерность в распределении количества контуров и их площадей су-

ществует и на среднемасштабных почвенных картах (1:50 000) составленных различными методами (рис. 1). Хотя этот фактор имеет как положительную, так и отрицательную стороны. К положительной следует отнести очень высокую информационную емкость карт, а к отрицательной – их сложность использования в практических целях в сельскохозяйственных организациях республики. Однако увеличение количества контуров, если они отображают реальную пестроту и сложность почвенного покрова на крупномасштабных почвенных картах, не может служить их недостатком. На наш взгляд, при крупномасштабном картографировании с использованием МДС необходимо дешифрировать контуры, которые можно выделить графически в данном масштабе. Облегчить использование таких карт в практических целях можно путем составления на их основе различных производных карт: агропроизводственных группировок почв, типов земель [6, 16, 17] СПП [12].

Среднемасштабные почвенные карты в масштабе 1:50 000 составляемые на территории административных районов служат основой для планирования мероприятий по технико-экономическому обоснованию и общим направлениям использования земель и природных ресурсов.

Составление и корректировка среднемасштабных почвенных карт имеет свои специфические особенности. Во-первых, они составляются на основе уже имеющих крупномасштабных почвенных карт, а значит, их точность и детальность в большей мере будет определяться этими же качествами крупномасштабных карт. Во-вторых, при их составлении используется картографическая генерализация, которая носит несколько творческий характер, а все ее качество определяется, в большей мере, профессиональной подготовкой специалиста. К процессу генерализации почвенного покрова при составлении среднемасштабных почвенных карт предъявляются определенные требования. Во-первых, некоторые элементы содержания не могут быть показаны из-за масштаба карты, но должны быть отражены в силу своей значимости. Во-вторых, при сохранении географического правдоподобия и передаче основных закономерностей строения почвенного покрова нарушается геометрическая точность изображения. В-третьих, в ходе генерализации происходит, с одной стороны, потеря информации, исключение деталей, но с другой – появление новой обобщенной информации. Выделяются объекты, относящиеся к более высокому классификационному уровню, исчезают частности и обнаруживаются более общие географические закономерности. В-четвертых, проводя генерализацию, необходимо сочетать максимальную информативность карты с ее наглядностью [4]. Нельзя не согласиться с правильностью требований, однако выполнение их традиционными методами сопряжено с определенными трудностями.

Существуют различные подходы при генерализации почвенного покрова. Наиболее распространенным примером при составлении почвенных карт традиционным методом является выделение комплексов почв, особенно это характерно для территорий с высокой неоднородностью почвенного покрова. При использовании компьютерных технологий для данных целей в масштабе 1:50 000 предлагается исключать контуры размером 0,5 см<sup>2</sup> [11]. Основным недостатком и первого, и второго приема генерализации, является снижение информативности составленных почвенных карт.

Исследования дешифрируемости почвенного покрова различных почвенно-геоморфологических районов Белорусского Полесья позволил в зависимости от сложности его дешифрирования дифференцировать на три категории: очень хорошая, хорошая и удовлетворительная. К первой категории можно отнести почвенный покров поймы р. Припять и плоских древнеаллювиальных и водно-ледниковых низин. На аэрокосмических снимках почвенный покров данных территорий изображается сложным, пестрым рисунком. Это обусловлено чередованием контуров контрастных почв, границы которых на снимках имеют резко выраженный характер, что значительно облегчает их дешифрирование (рис. 2, а).

Вторая категория – территории с хорошей дешифрируемостью – включает виды земель, занятых под пашней и лесной растительностью, с преобладанием однородных по гранулометрическому составу почвообразующих и подстилающих пород (рис. 2, б). Несмотря на то, что естественная лесная растительность хорошо коррелирует с почвенными условиями, возникают затруднения при дешифрировании дерново-подзолистых оглееных внизу и слабogleеватых (временно избыточно увлажняемых почв). Что касается третьей категории, то сложность ее дешифрирования обуславливается распространением слабоконтрастных дерново-подзолистых почв, которые близки по гранулометрическому составу и степени увлажнения, а также меняющимися подстилающими породами (пески, моренные суглинки) (рис. 2, в). К данной категории также относятся осушенные территории с дерново-заболочиваемыми почвами и вариациями торфяно-болотных почв [2].

Следует отметить, что пойменные ландшафты и осушенные территории при картографировании их традиционными методами вызывают значительные трудности у специалиста при выделении границ почвенных контуров, в то время как на аэрокосмических снимках контуры почв, изображаются довольно выразительно и не вызывают больших затруднений при их дешифрировании. Как правило, первоочередного обновления требуют почвенные карты на территориях с высокой неоднородностью почвенного покрова – пойменные и мелиорированные территории.

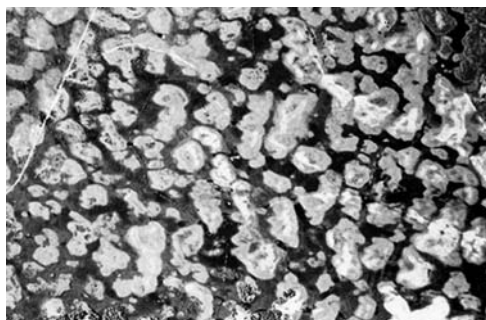
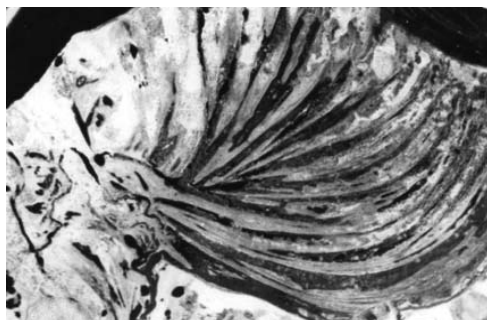
Использование материалов дистанционных съемок при обновлении средне-масштабных почвенных карт имеет ряд преимуществ перед традиционными методами. Во-первых, аэрокосмические снимки в отличие от тематических карт обладают высокой наглядностью и дают реальное представление о неоднородности почвенного покрова, что находит отражение в рисунке изображения почвенных комбинаций. Во-вторых, наличие аэрокосмоэталонов почвенных комбинаций позволяет избежать многоступенчатости при их обновлении.

Однако к МДС используемых для обновления почвенных карт, предъявляется ряд требований:

- снимки должны быть получены при оптимальных технических, сезонных и погодных условиях съемки;
- масштаб и пространственное разрешение снимков определяется масштабом составляемой карты;
- вид используемых снимков (панхроматические, многозональные, спектральнозональные и т.д.) обуславливаются исследуемым видом земель (пашня, лес, пойма).



а



б



в

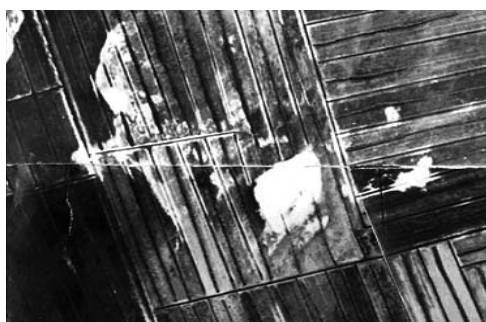


Рис. 2. Аэрофотоэталоны различной категории дешифрируемости почвенного покрова:  
а – очень хорошая; б – хорошая; в – удовлетворительная

При использовании МДС для обновления среднемасштабных почвенных карт могут быть использованы два подхода (варианта). Первый заключается в том, что на первом этапе по материалам МДС обновляются крупномасштабные почвенные карты, а затем на их основе в результате генерализации почвенного покрова составляются среднемасштабные.

Второй вариант позволяет избежать одного из этапов, то есть сплошного обновления крупномасштабных почвенных карт. Однако в этом случае обязательным условием, является наличие аэрокосмоэталонов и закладка типичных ключевых участков. Для определения места и количества их закладки используются район-

ные почвенные карты и аэрокосмические снимки. Аналоговые снимки наиболее рационально использовать в масштабе составляемой карты, а сканерные снимки с пространственным разрешением 10 м и более повышают надежность результатов и эффективность работ при определении места закладки ключевых участков и корректировке почвенных карт с использованием компьютерных технологий. При анализе исследуемой территории по изображению на снимке введенного в компьютер с помощью программного продукта ArcGis позволяет представлять снимки в любом масштабе. Одновременный совместный анализ в одном и том же масштабе почвенной карты и изображения космического снимка позволяет проследить изменение неоднородности почвенного покрова и наиболее рационально определить место закладки ключевых участков. Далее снимки – эталоны ключевых участков приводятся к масштабу 1:10 000 и выполняется их визуальное или компьютерное почвенное дешифрирование.

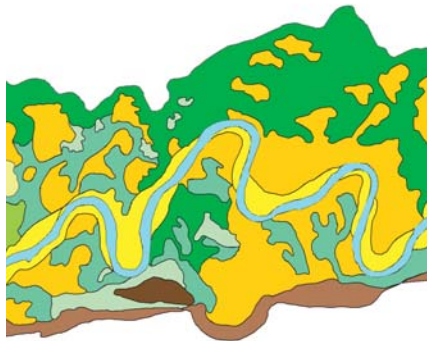
Аэрокосмоэталон и почвенные карты ключевых участков служат основой при корректировке районных почвенных карт. Использование системного подхода при анализе почвенного покрова на основе ранее составленных почвенных карт и МДС, позволяет составлять карты СПП. Такие почвенные карты Т.В. Королюк относит к картам высокой информативности, которые должны отвечать следующим требованиям: 1) составленные при обязательном использовании материалов дистанционных съемок; 2) построение на принципах: а) отказа от картографирования по преобладающей почве и б) выделения СПП; 3) отражающие характеристику СПП (компонентный состав, долевое участие и генетические связи компонентов); качественно-количественную характеристику свойств компонентов, определяющих плодородие и оценку земель, а также характеристику факторов пространственной дифференциации почвенного покрова [7, 14].

В качестве структурных единиц системного подхода ПК при анализе почвенного покрова содержит информацию, которая характеризует не только почвы, но и тесно взаимосвязанные с ними другие компоненты природной среды. ПК через геометрию (форму) почвенных ареалов и компонентный состав почвенных разновидностей отражают общие орографические условия, определяющие формирование каждой ПК, их геоморфологические особенности, литологию поверхностных отложений, структуру почвенного покрова и состав растительности, с учетом гипсометрического уровня. Рисунок изображения ПК на аэрокосмических снимках позволяет их дифференцировать в зависимости от типа земель. Картометрический анализ ПК, включающий определение площади, процентное участие в их составе почвенных разновидностей, а также коэффициенты СПП (расчленения, контрастности, неоднородности), позволяют судить о их составе и степени неоднородности. Коэффициент неоднородности почвенного покрова является важным количественным реальным показателем неоднородности почвенных комбинаций, оказывающей существенное влияние на использование земель в сельскохозяйственном производстве. Исследования [20] показывают, что неоднородность почвенного покрова затрудняет технологию возделывания сельскохозяйственных культур и снижает их продуктивность. Поэтому при проведении кадастровой оценки сельскохозяйственных земель к средневзвешенному баллу почв участка вводятся поправочные коэффициенты на неоднородность почвенного покрова.





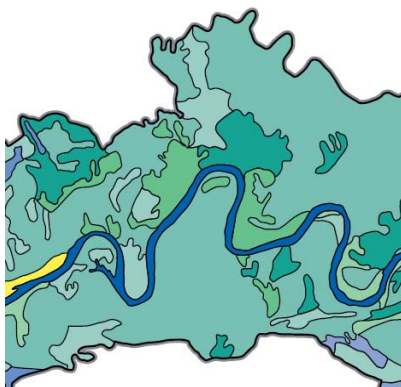
Рис. 3. Космический снимок (Alos)



Условные обозначения:

- прирусловой тип высокого уровня;
- сегментно-гвивистый тип среднего уровня;
- центрально-гвивистый тип высокого уровня;
- центрально-гвивистый тип среднего уровня;
- центральный тип высокого уровня;
- центральный тип среднего уровня;
- притеррасный тип среднего уровня;
- притеррасный тип низкого уровня

Рис. 4. Фрагмент карты типов земель поймы р. Припять  
(масштаб 1:50 000)









Условные обозначения:


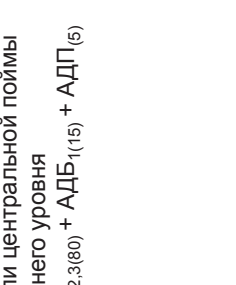

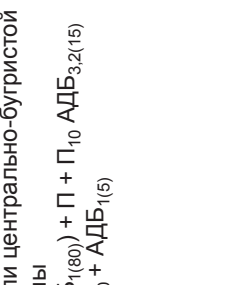

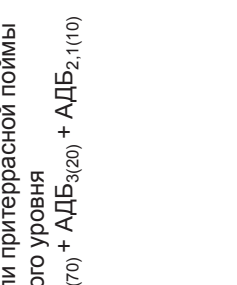
- аллювиальные неразвитые почвы на рыхлопесчаном аллювии;
- аллювиальные дерновые временно избыточно увлажненные почвы на супесчаном аллювии;
- аллювиальные дерновые временно избыточно увлажненные почвы на связнопесчаном аллювии;
- аллювиальные дерновые временно избыточно увлажненные почвы на рыхлопесчаном аллювии;
- аллювиальные дерново-глеевые и глеевые почвы на супесчаном аллювии

Рис. 5. Фрагмент почвенной карты поймы р. Припять  
(масштаб 1:50 000)

Таблица

Характеристика типов земель поймы р. Припять

№ п/п	Типы пойменных земель (преобладающие почвенные комбинации)	Аэрофототалоны типов пойменных земель	Почвенные карты типов пойменных земель	Коэффициенты СПП $\frac{Кн}{Кк \cdot Кр}$	Дешифровочные признаки
1	Земли прирусловой поймы АДБ <sub>0(70)</sub> + АДБ <sub>2(20)</sub> + П <sub>(10)</sub>			$\frac{14,0}{7,7 \cdot 2,0}$	Контурны расположены вдоль русла реки в виде извилистой линии или веретенообразной формы, различной ширины. Участки, покрытые зарослями ивняка, имеют крапчатый рисунок, тон серый. Контурны неразвитых почв имеют светлый тон. Полосчатый рисунок
2	Земли сегментно-гривистой поймы среднего уровня АДБ <sub>1,2(60)</sub> + АилБ <sub>(30)</sub> + АДБ <sub>3(10)</sub>			$\frac{18,0}{9 \cdot 2,0}$	Контурны расположены вдоль русла реки в виде извилистой линии или веретенообразной формы, различной ширины. Участки, покрытые зарослями ивняка, имеют крапчатый рисунок, тон серый. Контурны неразвитых почв имеют светлый тон
3	Земли центрально-гривистой поймы среднего уровня АДБ <sub>2(80)</sub> + АилБ <sub>(15)</sub> + АДБ <sub>3 5</sub>			$\frac{15,0}{8 \cdot 1,9}$	Контурны вытянутые, часто серповидной формы, серого тона. Чередуются с большим количеством темных и темно-серых контуров вытянутой извилистой формы, вдоль которых – узкие полосы зернистого рисунка

4	<p>Земли центральной поймы среднего уровня АДБ<sub>2,3(80)</sub> + АДБ<sub>1(15)</sub> + АДП<sub>(5)</sub></p>			$\frac{8,0}{6 \cdot 1,3}$	<p>Общий фоновый тон серый, иногда темно-серый, с пятнистым рисунком. Контуры серого и светло-серого тона окаймляют узкие полосы зернистого рисунка (кусты ивы). На отдельных участках поймы куртинный крап</p>
5	<p>Земли центрально-бугристой поймы (АДБ<sub>1(80)</sub>) + П + П<sub>10</sub> АДБ<sub>3,2(15)</sub> + П<sub>10</sub> + АДБ<sub>1(5)</sub></p>			$\frac{15,0}{10 \cdot 1,5}$	<p>На общем сером фоне встречаются светлые пятна, чаще округлой формы контуры эолового происхождения</p>
6	<p>Земли притеррасной поймы низкого уровня АДП<sub>(70)</sub> + АДБ<sub>3(20)</sub> + АДБ<sub>2,1(10)</sub></p>			$\frac{4,5}{5 \cdot 0,9}$	<p>На общем сером фоне выделяются контуры темно-серого тона различной формы, на отдельных участках создают пятнистый рисунок. Встречается мелкий крап, а также узкие и вытянутые контуры извилистой формы темного и черного тона.</p>

Буквенные индексы пойменных почв: АДБ<sub>0</sub> – оглеенные внизу; АДБ<sub>1</sub> – временно-избыточно увлажненные; АДБ<sub>2</sub> – дерново-глееватые; АДБ<sub>3</sub> – дерново-глеевые; АИБ – иловато-глеевые; АДП – дерново-перегнойно-глеевые; АДБ – торфяноболотные.

Для оценки информационной емкости почвенной карты и карты структуры почвенного покрова, был выполнен сравнительный анализ фрагментов почвенной карты масштаба 1:50 000, составленной традиционным методом и карты типов земель поймы Припяти на основе космических снимков (рис. 3, 4, 5). Рисунок изображения космического снимка наглядно демонстрирует характер распределения по территории поймы сочетаний почв различных типов земель (прирусловая, сегментно-гривистая, центрально-гривистая, центральная, при-террасная) (рис. 3). Данные таблицы показывают, что каждый тип поймы характеризуется процентным соотношением почв ПК в виде формулы, а также коэффициентом структуры почвенного покрова. По своей информационной емкости карта типов земель не только не уступает почвенной карте, но и превосходит ее (рис. 4, 5).

## ВЫВОДЫ

1. Выполненные исследования по использованию материалов дистанционных съемок при обновлении почвенных карт свидетельствуют о их высокой эффективности. Они позволяют повысить точность и информативность почвенных карт и сократить трудовые затраты на их обновление.

2. Наиболее информативными являются материалы дистанционных съемок, полученные в ранневесенний период для территорий под пахотными землями, а под лесной и луговой растительностью – в летний период. Масштаб снимков должен соответствовать масштабу обновляемых почвенных карт.

3. Использование аэрокосмоэталонов и почвенных карт ключевых участков в крупном масштабе (1:10 000), составленных на основе аэрокосмических снимков, позволяет проводить непосредственное обновление среднемасштабных почвенных карт без дополнительных крупномасштабных почвенных съемок.

4. Карты структуры почвенного покрова, составляемые с использованием материалов МДС и почвенно-картографических материалов, обладают высокой информативностью и дают возможность получения наиболее полных сведений о почвенном покрове, его генезисе, строении, а также позволяют выявить необходимость и возможность проведения тех или иных мелиорированных мероприятий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андронников, В.Л. Аэрокосмические методы изучения почв / В.Л. Андронников. – М.: Колос, 1979. – 277 с.

2. Богданович, М.П. Новые методы анализа почвенного покрова с помощью ГИС-технологий / М.П. Богданович // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: тэзісы дакладау III Міжнароднай навукавай канферэнцыі. – Брэст, 2006. – С. 11.

3. Временные нормы выработки на программно-изыскательские работы по землеустройству. – Минск, 1977. – Ч. 2. – 36 с.

4. Герасимова, М.И. Мелкомасштабное почвенное картографирование: учеб. пособие / М.И. Герасимова, И.П. Гаврилова, М.Д. Богданова; под. ред. Л.Ф. Январевой. – М., 2010. – 119 с.



5. *Калнина, В.А.* Методические вопросы крупномасштабного картографирования почв с использованием метода дешифрирования / В.А. Калнина // Современные методы изучения, охраны и использования земель. – М., 1975. – Вып. 11. – С. 40–48.

6. Типизация земель и использование ее результатов при формировании рабочих участков / Ю.П. Качков [и др.] // Земля Беларуси. – Минск. – 2011. – № 3. – С. 41–48.

7. *Королюк Т.В.* Структура почвенного покрова юга Европейской России (на примере равнинного Предкавказья): автореф. дис. ... доктора с/х наук: 03.00.27 / Т.В. Королюк. – М., 1997. – 54 с.

8. *Курьянович, М.Ф.* Использование материалов дистанционного зондирования при изучении почвенного покрова мелиорированных земель / М.Ф. Курьянович // Мелиорация. – 2014. – № 1(71). – С. 53–58.

9. *Курьянович, М.Ф.* Эффективность использования материалов дистанционных съемок при картографировании почв / М.Ф. Курьянович, Ф.Е. Шалькевич // Земля Беларуси. – 2011. – № 4. – С. 34–38.

10. Методические указания по почвенным, геоботаническим и агрохимическим крупномасштабным исследованиям в БССР; под ред. Н.И. Смеяна, И.Н. Соловья. – Минск, 1973. – 300 с.

11. *Прокопович, С.Н.* Разработка методик и технологий создания цифровых крупно- и среднемасштабных почвенных карт на основе использования ГИС-технологий / С.Н. Прокопович // Вестник БГУ. – 2014. – № 2. – С. 75–80.

12. *Романова, Т.А.* Методика составления карт СПП и их востребованность в Беларуси / Т.А. Романова, Ч.А. Романовский // Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты: материалы Международной конференции. – СПб. – 2007. – С. 98–101.

13. *Симакова, М.С.* Содержание и технологии работ по корректировке материалов крупномасштабных почвенных исследований / М.С. Симакова // Крупномасштабная картография почв в СССР (методы, теория, практика). – М.: Наука, 1971. – С. 97–101.

14. *Сорокина, Н.П.* Опыт цифрового картографирования СПП / Н.П. Сорокина, Д.Н. Козлов // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 2. – С. 198–210.

15. Указания по использованию аэрофотоматериалов при крупномасштабном картографировании почв. – Минск. – 1986. – 41 с.

16. *Черныш, А.Ф.* Типы земель как необходимый элемент обоснования и осуществления территориальной организации агроландшафтов Беларуси / А.Ф. Черныш, Ю.П. Качков, С.С. Бачило // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1. – С. 25–35.

17. Почвенно-экологическое микрорайонирование – необходимое звено в системе почвенного районирования / А.Ф. Черныш [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1. – С. 7–20.

18. *Шалькевич, Ф.Е.* Аб абнаўленні буйнамасштабных глебавых карт / Ф.Е. Шалькевич, Р.А. Жмайdzяк // Весці АН БССР. Сер. сельскагаспадарчых навук. – 1988. – № 2 – С. 50–54

19. *Шведе, У.А.* Эффективность применения аэрофотографии при корректировке крупномасштабных почвенных карт / У.А. Шведе // Почва и урожай. – 1972. – Вып. 20. – С. 61–71

20. Шибут, Л.И. Учет неоднородности почвенного покрова при кадастровой оценке земель в Беларуси / Л.И. Шибут, Г.С. Цытрон, В.А. Калюк // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1(46). – С. 21–28.

## **EFFICIENT USE OF MATERIALS OF REMOTE SENSIN TO UPDATE SOIL MAPS**

**M.F. Kuryanovich, A.F. Chernysh, F.E. Shalkevich**

### **Summary**

The results of analysis conducted researches on adjustment of large-scale soil maps were given. Experience in the use of materials of remote sensing adjusting medium-soil maps and mapping of soil structure was stated.

*Поступила 26.10.2015*

УДК 631.47:631.471

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ДИСТАНЦИОННОЙ ФИТОИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА**

**Т.Ю. Бындыч, Л.П. Коляда, С.Р. Трускавецкий**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Необходимость решения широкого спектра прикладных задач почвоведения, агрохимии и рационального использования почвенных ресурсов актуализирует дальнейшее совершенствование методов дистанционного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. При этом особый интерес представляет разработка новых подходов к использованию данных космической съемки сельскохозяйственной растительности, развитие которой зачастую осложняет прямую диагностику состояния почвенного покрова (ПП). В целом же, наличие значительного фонда высококачественных космических снимков, постоянное совершенствование методов их компьютерной обработки, а также высокая оперативность получения результирующих материалов в геоинформационных системах (ГИС), способствуют дальнейшему повышению эффективности использования данных дистанционного зондирования (ДЗ), как источника точной пространственной информации о состоянии земной поверхности. Системы ДЗ можно использовать для дифференциации ПП и выделения почвенных ареалов, отличающихся почвенными свойствами, которые определяют условия произрастания сельскохозяйственных растений. Необходимо также отметить, что использование данных ДЗ для обследования угодий значительных площадей и, особенно, в условиях

недостаточного применения инструментальных методов наземных исследований, способствует повышению достоверности и точности определения элементов ПП, что ведет к снижению стоимости, трудоемкости и продолжительности полевых работ.

Теоретическое и практическое значение всестороннего использования данных космического сканирования сельскохозяйственных культур подчеркивалось во многих научных работах, описывающих опыт дистанционной индикации генетически обусловленных свойств почв по отражающей способности растений [1–3]. При этом, исследователи отмечают важность использования данных ДЗ и ГИС для агроэкологического зонирования территории, при котором информация об отдельных почвенных свойствах, формирующих отражательную способность растений, обязательно учитывается для их выращивания и оптимизации рабочей карты конкретных угодий [4–5]. На наш взгляд, с данным научным направлением во многом перекликаются и современные подходы по разработке систем точного земледелия, в которых данные ДЗ рассматриваются в качестве надежной информационной основы для выделения «management units» – территориальных единиц с подобными параметрами неоднородности почвенных свойств, для которых предлагается использовать однотипные технологии возделывания сельскохозяйственных культур [6–7]. В частности, В.В. Медведев подчеркивает необходимость создания комплекса карт сельскохозяйственной растительности (карты урожайности, «хлорофилловой» карты) для определения неоднородности ПП на таком важном территориальном уровне как отдельное поле [7].

В связи с этим, актуальным заданием является дальнейшее усовершенствование методических подходов к использованию данных многоспектрального космического сканирования сельскохозяйственной растительности для определения и агроэкологического оценивания элементов локальной структуры ПП.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основная цель исследований достигалась путем анализа данных космической съемки одного из опытных полей, расположенного в Ясиноватском районе Донецкой области Украины, общей площадью 100 га. Согласно действующему физико-географическому районированию Украины, данная территория относится к Донецкой физико-географической области Левобережно Днепровской северо-степной провинции, Северной степной подзоны [8]. В орографическом отношении, поверхность этой территории относится к слабо волнистым, с плотностью овражно-балочной сети от 0,50 до 1,0 км/км<sup>2</sup>. Тестовый полигон представляет собой вытянутое с севера на юг поле прямоугольной формы. Рельеф поля представляет собой ровную поверхность с небольшим уклоном (до 2 градусов) северо-западной экспозиции. Со всех сторон поле окружено почвозащитными лесополосами.

Согласно результатам крупномасштабного почвенного обследования, на территории опытного поля выделены три почвенных ареала, представляющие чернозем обыкновенный среднегумусный с различиями по степени эродированности и почвообразующим породам.

В ходе исследований использованы разновременные данные многоспектрального космического сканирования космического аппарата Landsat 7, обеспечившего получение высококачественных изображений полигона в безоблачную погоду, с пространственным разрешением 28,5 м. Фитоценоз полигона представляет собой посе́вы кукурузы на начальных стадиях вегетации – всходы, 2–3 листа и в фазу кущения соответственно.

Для решения поставленных задач использовались, в основном, статистические методы и методы геоинформационной обработки данных. Так, для географической привязки, учета оптической яркости каждого элемента изображения сельскохозяйственных угодий в различных диапазонах съемки, основной обработки, преобразований, общего анализа и числовой таксономии космического изображения использовали ГИС TNT-lite и ENVI. Полученные в ходе дешифрирования материалы сопоставлялись с данными полевого обследования территории, которое предусматривало инструментальное определение содержания азота в листьях тестовой культуры и отбор ее растительных образцов для дальнейшего определения отдельных показателей качественного состава растений и аналитического определения хлорофилла с использованием фотоколориметрического метода [9–10]

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Анализ литературных источников позволяет сделать вывод, что дальнейшее совершенствование дистанционного определения агроэкологических условий выращивания культур следует связывать с детализацией оптической яркости листовой поверхности сельскохозяйственных растений на различных фазах их вегетации. Следует отметить, что площадь листовой поверхности является одним из важнейших фитометрических показателей растений, а количество листов и их размеры зависят от условий произрастания посевов и играют важную роль в их фотосинтетической деятельности. По данным фундаментальных исследований, листовая покров является интегральным показателем степени обеспеченности посевов влагой, удобрениями, и определенным образом отражает соблюдение агротехнических приемов, а значит, объективно характеризует состояние растений, что объясняет его широкое использование во многих моделях продукционного процесса [11]. На наш взгляд, эта информация обосновывает целесообразность использования кукурузы в качестве основного индикатора агроэкологических условий выращивания зерновых культур и ее выбора как тест-культуры для дифференциации ПП полигона. На долю листьев этой культуры приходится до 87% фитоплощади растения, а из органических веществ, которые изначально формируются в листьях, создается до 95% сухой массы растения [12]. В связи с этим, листовая диагностика питания растений на основе этой культуры является наиболее обоснованной при использовании данных космической съемки в видимом диапазоне спектра, в частности, для определения обеспеченности почв необходимыми элементами питания растений и влагой.

С целью обоснования критериев и принципов классификации изображения, позволяющей перейти к качественной характеристике отдельных элементов локальной структуры ПП полигона, проведена предварительная обработка изобраа-



жения и общий статистический анализ его цифровой информации с использованием алгоритма, описанного в наших более ранних работах [13]. На этом этапе были рассчитаны общие статистические показатели изображения для зеленого, красного, ближнего и среднего инфракрасного диапазонов сканирования, в интервале от 0,52 до 2,35 мкм [14]. Проанализированы кривые распределения оптических яркостей кукурузы во всех диапазонах сканирования и сделан вывод о том, что оптимальная степень дискретизации изображения составляет 3 класса, предположительно соответствующих почвенным ареалам, отличающихся по уровню обеспеченности основными элементами питания растений и по отдельным агрофизическим показателям.

На следующем этапе, с использованием метода К-средних кластерного анализа [15], в ГИС, проведена числовая таксономия космического изображения полигона, в результате которой получена уточненная картосхема ПП полигона (рис. 1), поскольку на ранних фазах развития посевов растительность, зачастую, подчеркивает контуры элементов структуры ПП со значительной детальностью. Так, космическое изображение молодых растений кукурузы в фазе 2–3 листьев позволило выделить почвенные контуры, характеризующиеся различным уровнем влагообеспеченности, и функционально связанных с ней показателей агрофизического состояния почв. Сопоставление полученной картосхемы с данными крупномасштабных почвенных обследований и агрохимической паспортизации земель позволили установить соответствие ареала 1 – чернозему обыкновенному, легкосуглинистому, слабосмытому на рыхлых песчаных породах, ареала 2 – чернозему среднесуглинистому на лессовидных породах и ареала 3 – чернозему обыкновенному среднегумусному тяжелосуглинистому слабосмытому на лессовидных породах.

На этапе дешифрирования снимка, полученного в фазу 2–3 листьев, проведен анализ преобразования исходных спектральных данных, который позволяет определить вклад зеленой растительности в формирование спектрального образа полигона. Для этого рассчитаны спектральные и вегетационные индексы, в частности NDVI, NDWI, MSI, GI, SAVI и SIPI, хорошо известные по научным источникам [2, 16]. Аналогичным образом проведена обработка космического изображения полигона на более позднем этапе вегетации посевов кукурузы – в фазе кущения (июньский снимок). Используя результаты дешифрирования более позднего снимка, созданы и сопоставлены разностные изображения посевов кукурузы в каждом из диапазонов сканирования, а также рассчитана разница основных спектральных индексов (рис. 2). Напомним, что интерпретация разностных изображений основана на том, что участки территории, на которых изменения были минимальными, характеризуются низким значением яркости (более темный цвет в оттенках серого), в то время как участки с существенными изменениями растений становятся более заметными и характеризуются более высокими значениями оптической яркости (более светлый оттенок). В целом же, классификация разновременных изображений кукурузы, которая была проведена на этом этапе, позволила детализировать отредактированную картосхему ПП полигона (рис. 1) и определить участки, которые отличаются друг от друга по степени изменений оптического образа посевов кукурузы (рис. 3).

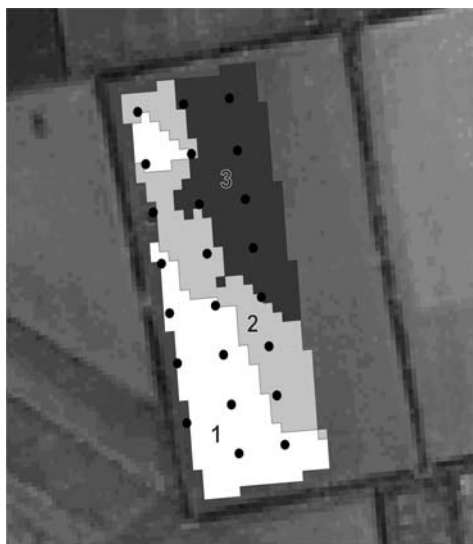


Рис. 1. Картограмма полигона, созданная по данным космической съемки посевов кукурузы на ранних фазах ее развития

Таблица

**Сопоставление спектральных индексов посевов кукурузы и отдельных показателей ее качественного состава с почвенными показателями**

№ п/п	Исследуемые показатели	Почвенные ареалы (по рис. 1)		
		Ареал 1	Ареал 2	Ареал 3
<i>Основные агрохимические показатели почвы</i>				
1	Общее содержание гумуса, в %	3,38	3,75	4,00
2	Содержание легкогидролизуемого азота, в мг/кг почвы	99,00	117,00	121,00
3	Содержание обменного калия, в мг/кг почвы	145,00	173,00	184,00
4	Содержание подвижного фосфора, в мг/кг почвы	83,00	110,00	108,00
5	Содержание цинка, в мг/кг почвы	0,80	0,73	0,75
6	Содержание марганца, в мг/кг почвы	108,00	112,30	107,10
7	pH водный	7,60	7,90	7,90
8	Агрохимическая оценка, в баллах	46,67	40,10	52,50
<i>Спектральные характеристики посевов кукурузы</i>				
9	NDVI (май)	0,13	0,14	0,14
10	NDWI (май)	-0,07	-0,08	-0,06
11	SIPi (июнь)	7,27	10,07	11,07
12	Разностный NDVI	0,12	0,07	0,06
<i>Показатели качественного состава листьев кукурузы в фазе выхода в трубку</i>				
13	Содержание хлорофилла	12,43	11,54	16,07
14	Содержание сахара, в %	1,76	1,76	2,02
15	Влажность листьев, в %	3,55	4,66	6,08
16	Содержание жиров, в %	1,05	1,04	1,35

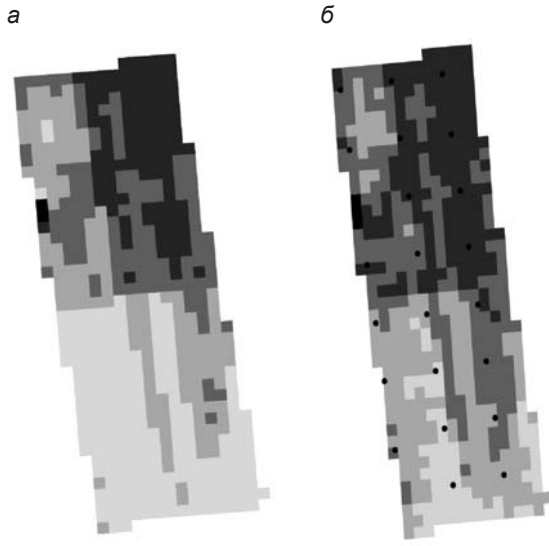


Рис. 2. Картограммы разницы основных спектральных индексов NDVI (а) и NDWI (б)

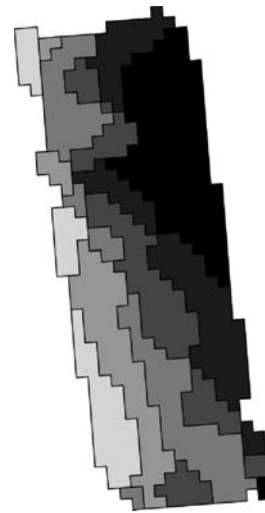


Рис. 3. Картограмма изменения оптического образа посевов кукурузы, полученная путем классификации разностных изображений полигон

Использование именно этого варианта карты оптимизировало систему отбора растительных и почвенных проб для полевого этапа работ с использованием приборов GPS. Уточнение качественного состава растений в пределах полигона проведено на основе растительных образцов, которые отобраны по регулярной сетке в начале фазы выхода в трубку растений (15 июля), когда обычно наблюдается самая высокая пигментация листьев. В связи с этим, проведена листовая диагностика питания растений с использованием прибора N–tester. Сделан вывод, что во время полевых наблюдений следует проводить отбор почвенных проб на каждом из выделенных ареалов, отличающихся по оптической яркости посевов кукурузы, в количестве, позволяющем проводить статистический анализ данных.

На этапе лабораторных, аналитических исследований, в образцах листьев кукурузы определены: содержание хлорофилла, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca, Mg, влажность, белок, жиры, протеины, клетчатка, зола, сахара по общеизвестным методам [9].

На последующем этапе исследований проведено сопоставление средних значений спектральных коэффициентов посевов кукурузы, рассчитанных по данным космического сканирования, средних значений основных показателей почв и показателей качественного состава листьев кукурузы для каждого из почвенных ареалов, представленные в таблице. Анализ этих данных показал, что значение спектральных индексов посевов кукурузы, в целом, четко дифференцировано по почвенным выделам, отличающимся основными агрохимическими показателями почвы – содержанием гумуса, обменного калия, подвижного фосфора и интегральной агрохимической оценкой ареалов для сельскохозяйственного использования.

Например, показатели качественного состава листьев кукурузы в фазе выхода в трубку были выше для ареала чернозема обыкновенного среднегумусного тяжелосуглинистого слабосмытого на лессе, для которого показатель агрохимической оценки является самым высоким и составляет 52,5 балла. Разностный индекс NDVI кукурузы для этого ареала имеет низкое значение, что интерпретировано как отсутствие стресса молодых растений кукурузы в результате недостатка элементов питания и влаги, которые вызывают снижение пигментации листьев и их недостаточное развитие. Однако более показательным и информативным отличием между ареалами оказались количественные значения пигментного индекса SIPI, который имеет низкие значения для ареала чернозема обыкновенного среднесуглинистого слабосмытого на рыхлых песчаных породах (ареал 1). Сделан вывод, что индекс SIPI, в отличие от разностного NDVI, обнаружил исходное состояние физиологического стресса для наиболее плодородной почвы полигона (ареал 3). Это можно объяснить как автоморфными условиями расположения данного ареала, так и сравнительно низким содержанием подвижных форм питательных веществ в почве, например содержание подвижного фосфора и отдельных микроэлементов.

Полученные результаты и картосхемы рекомендуются для специалистов агрохимической службы и агрономов в качестве современной картографической основы, позволяющей обоснованно проводить учет и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур, разрабатывать и принимать решения по корректировке системы агрохимических приемов (нормы внесения удобрений и подкормок, их химические формы и т.д.), а также для отдельных участков поля дифференцированно планировать количество и месторасположение точек отбора растительных и почвенных образцов для агрохимического обследования территорий.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, в ходе проведенных исследований разработан и апробирован методический подход, который позволяет значительно расширить сферу практического применения данных многоспектрального космического сканирования для диагностики и мониторинга почв на землях сельскохозяйственного назначения, за счет детального учета физиологических особенностей сельскохозяйственной растительности и использования системы спектральных индексов.

Исследования в области применения спутниковой съемки сельскохозяйственной растительности позволили сделать следующие выводы:

1. Для определения уровня обеспеченности почв необходимыми элементами питания растений можно использовать методы листовой диагностики с помощью космической съемки посевов.

2. Космическое изображение посевов кукурузы именно на ранних стадиях развития дает возможность наиболее точного определения почвенных контуров, характеризующихся различным уровнем влагообеспеченности, а также различными агрофизическими и агрохимическими показателями.

3. На основе классификации разновременных космических снимков удалось детализировать картосхему почвенного покрова полигона и определить участки,

которые отличаются друг от друга степенью изменений оптического образа посевов кукурузы.

4. Значения спектральных индексов посевов кукурузы четко дифференцированы по почвенным выделам, отличающихся интегральной агрохимической оценкой сельскохозяйственного использования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кондратьев, К.Я.* Аэрокосмические исследования почв и растительности / К.Я. Кондратьев, В.В. Козодеров, П.П. Федченко. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 231 с.

2. *Войнов О.А.* Мониторинг состояния агроценозов аэрокосмическими методами / О.А. Войнов. – К.: ИТГИП, 2005. – 392 с.

3. Clevers J.G.P.W., 1994 Imaging spectrometry in agricultural plant vitality and yield indicators. In: Imaging Spectrometry a Tool for Environmental Observations. – Brussels and Luxembourg: Printed in the Netherlands, 1994. – P. 193–219.

4. Nurmiaty, 2013 Spatial Based Assessment of Land Suitability and Availability for Maize (*Zea mays* L.) development in Maros Region, South Sulawesi, Indonesia / Nurmiaty, S. Baja // Open Journal of Soil Science, 2013, 3, 244–251. – Published Online <http://www.scirp.org/journal/ojss>; <http://dx.doi.org/10.4236/ojss.2013.35029>

5. *Kandari A.M.*, 2013 Agroecological zoning and land suitability assessment for maize (*Zea mays* L.) development in Buton regency, Indonesia / A.M. Kandari, S. Baja, A. Ala, Kaimuddin // Agriculture, Forestry and Fisheries. 2013. Vol. 2(6), Vol. 202–211. – Published online <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/aff>, doi: 10.11648/j.aff.20130206.11

6. *Selige T.* 2001. Interdisciplinary research for precision agriculture preagro: The German joint project for an integrated management system / T. Selige, A. Werner, T. Muhr, U. Schmidhalter // Precision agriculture symposium: data gathering. Online <http://www.regional.org.au/au/gia/16/507selige.htm#TopOfPage>

7. *Медведев, В.В.* Неоднородность почв и точное земледелие. Ч. 1. Введение в проблему / В.В. Медведев. – Харьков: Изд-во 13 типография, 2007. – 296 с.

8. Физико-географическое районирование Украинской ССР / под ред. В.П. Попова, А.М. Маринича, А.И. Ланько. – К.: Изд-во Киевского ун-та, 1968. – 683 с.

9. Методи аналізів ґрунтів і рослин: методичний посібник / під ред. С.Ю. Булигіна, С.А. Балюка, А.Д. Міхновської та Р.А. Розумної. – Харків, 1999. – 158 с. – Кн. 1.

10. *Баславская, С.С.* Практикум по физиологии растений / С.С. Баславская, О.М. Трубецкова. – М.: Изд-во МГУ, 1964. – 291 с.

11. *Выгодская, Н.Н.* Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности / Н.Н. Выгодская, И.И. Горшкова. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 248 с.

12. *Росс, Ю.К.* Радиационный режим и архитектоника растительного покрова / Ю.К. Росс. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 344с.

13. *Бындыч, Т.Ю.* Использование данных дистанционного зондирования с целью изучения неоднородности почвенного покрова / Т.Ю. Бындыч // Грунтознавство. – 2006. – Т. 7. – № 1–2. – С.100–109.

14. Электронный ресурс: <http://web.pdx.edu/~emch/ip1/bandcombinations.html>

15. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215с.

16. *Шадчина, Т.М.* Наукові основи дистанційного моніторингу стану посівів зернових / Т.М. Шадчина. – К., 2001. – 269 с.

## **MODERN APPROACHES TO REMOTE PHYTOINDICATION OF SOIL COVER CONDITION**

**T.Yu. Byndych, L.P. Koliada, S.R. Truskavetsky**

### **Summary**

To determine the level of required nutrients for crops the methods of leaves cover diagnostic using satellite imagery of crops were studied. By using multispectral satellite imagery with high spatial resolution on maize crops in the early stages of their growing through multi-thematic interpretation were received maps of soils due to the level of stress manifestations. This fact allows us to optimize the study of certain land areas and evaluate soil factors of maize nutrition as an indicator of agrochemical soil conditions, and in this case to extrapolate the results obtained in the analysis on territories with similar spectral images.

*Поступила 28.08.2015*

УДК 631.6.02

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ НОРМЫ ЭРОЗИИ ДЛЯ ЮЖНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ СТЕПИ УКРАИНЫ**

**С.Г. Черный, Н.В. Поляшенко**

*Николаевский национальный аграрный университет,  
г. Николаев, Украина*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Эрозия является главным процессом деградации почв в Украине [1]. Учитывая, что антропогенная, водная и ветровая эрозия является составной частью глобального процесса денудации, очень важно в практическом плане определить ее допустимую величину. Сравнение реальных темпов эрозии почв с ее допустимым значением является необходимой процедурой, как при конкретном противоэрозионном проектировании, так и при долговременном

управлении почвенными ресурсами определенной эрозионно-опасной территории.

У. Уишмейер и Д.Смит [16] определили допустимую норму эрозии (ДНЭ) как максимальный уровень почвенной эрозии, который позволяет бесконечно долго получать высокий, обоснованный с экономической точки зрения, урожай. В государственном стандарте Украины, разработанном в Николаевском национальном аграрном университете, и посвященному эрозионной терминологии, ДНЭ определена как «максимальная потеря почвы от эрозии, которая не приводит к деградации почвенного покрова и устанавливается с учетом существующих или перспективных почвенно-охранных возможностей и (или) скоростей формирования гумусового горизонта определенной почвы» [10].

Величины ДНЭ для разных природных и социальных условий, полученные различными авторами либо с помощью оценок скоростей почвообразования [5, 12], либо с учетом свойств почв [16], в частности, их мощности, либо экспериментальным путем. Одним из авторов настоящей публикации был разработан государственный стандарт по допустимым нормам эрозии для условий Степи и Лесостепи Украины [9], который учитывал именно скорости почвообразования в современных производственных условиях. Как правило, рекомендованные ДНЭ имеют директивный характер и предназначены для обязательного выполнения как землепользователями, так и проектными организациями.

И сами дефиниции ДНЭ, и методики их получения, и определенные по этим методикам величины допустимых норм часто критикуются с производственных и экологических позиций за слабую обоснованность и избыточную директивность.

Целью настоящих исследований является создание новой методики оценки допустимых норм эрозии, пригодной для применения на черноземах южных Правобережной Степи Украины, которая позволит получить ансамбль значений ДНЭ на разные уровни вероятного снижения продуктивности почв в результате ее эрозии.

Возможной альтернативой существующим методам оценок ДНЭ может быть подход, задекларированный Ф. Пирсом с соавторами [14, 15]. Согласно работам этого американского ученого, ДНЭ считается не директивная, навязанная государственными контролирующими службами очень конкретная и, часто, слабо обоснованная величина ДНЭ, а такой размер эрозии, который уменьшает продуктивность почвы на величину, которая через некоторое время гипотетически может быть компенсирована «за счет почвообразования, прогрессом в технологиях или достижениями в реализации генетического потенциала сельскохозяйственных растений» [15, 16] и выбор ДНЭ является прерогативой самого землепользователя. То есть, для конкретных производственных и социальных условий землепользователь заранее сам выбирает сценарий землепользования, оценивая риски и применяя в производстве наиболее ему приемлемые величины ДНЭ.

Основной проблемой в реализации идеи Ф. Пирса является сложность формализации почвы как ресурса в конкретных природных и экономических условиях. Ф. Пирс с соавторами считал [14, 15], что для почв американских прерий количественно допустимое сокращение плодородия соответствует допустимому сокраще-



нию значений индекса продуктивности (ИП) за заранее заданный период времени. ИП, в представлении американских авторов, является арифметической суммой послойного произведения нормированных от 0 до 1 значений различных параметров плодородия и показателя распределения корней сельскохозяйственных растений в метровой толще почв. Последний параметр определял важность каждого слоя почвы в формировании урожая сельскохозяйственных культур. Чем больше корней встречаются в слое почве, тем его вес в формировании урожая будет большим. В исходных работах [15], в качестве параметров плодородия рассматривались следующие показатели – плотность твердой фазы почвы, pH почвенного раствора, водоудерживающая способность почвы. В более поздних работах [13] в ИП в перечень включались содержание гумуса и питательных веществ, некоторые параметры гранулометрического состава почвы, содержание солей и т.п.

Проведенные авторами этой статьи специальные исследования показали, что индекс продуктивности для черноземных почв Украины лучше представить в виде суммы послойных значений среднегеометрических нормированных оценок определенного набора параметров плодородия в метровой толще почвы. Причем из такого послойного осреднения исключается показатель, который показывает долю корней основных сельскохозяйственных растений в каждом слое почвы [4].

Для черноземов южных на лессах и лессовидных суглинках, при достаточно однообразном гранулометрическом составе (содержание физической глины здесь колеблется в пределах 50–60%, а илистой фракции – 35–40%), достаточным для характеристики продуктивности почв является учет лишь пяти параметров почвенного плодородия, а именно, содержание гумуса и подвижных форм фосфора и калия, плотность твердой фазы почвы, а также величины pH почвенного раствора [4]. Причем, согласно исходной идее Ф.Пирса с соавторами [14], эти величины конечно же должны быть нормированы от 0 до 1.

Все сказанное выше, можно выразить следующим выражением:

$$\text{ИП} = \sum_{i=1}^{10} (h_i \cdot ph_i \cdot \gamma_i \cdot \rho_i \cdot \kappa_i)^{\frac{1}{5}} \cdot WF_i, \quad (1)$$

где  $i$  – номер слоя почвы ( $i = 1, 2, 3, \dots, 10$ );  $h_i, ph_i, \gamma_i, \rho_i, \kappa_i$  – нормированное (от 0 до 1) содержание гумуса, величины pH, плотности сложения, содержания подвижного фосфора, содержания подвижного калия в каждом слое почвы;  $WF_i$  – параметр, показывающий долю корней растений в каждом слое от их общего количества.

Выполненная в работе [4] процедура идентификации параметров уравнения (1) показала, что для тяжелосуглинистых черноземов южных на лессах и лессовидных суглинках

$$h_i = \begin{cases} h / 3,5, & \text{если } h \leq 3,5 \%, \\ 1, & \text{если } h > 3,5 \%, \end{cases} \quad (2)$$

где  $h$  – содержание гумуса.



$$\rho h_i = -0,067 \cdot (\text{pH})^2 + 0,875 \cdot (\text{pH}) - 1,863, \quad (3)$$

где pH – значение pH почвенного раствора.

$$\gamma_i = -5,414 \cdot (\gamma)^2 + 12,959 \cdot (\gamma) - 6,806, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – плотность сложения, г/см<sup>3</sup>

$$\rho_i = \begin{cases} P_2O_5 / 45, & \text{если } P_2O_5 \leq 45, \\ 1, & \text{если } P_2O_5 > 45, \end{cases} \quad (5)$$

$$K_i = \begin{cases} K_2O / 300, & \text{если } K_2O \leq 300, \\ 1, & \text{если } K_2O > 300. \end{cases} \quad (6)$$

В (5, 6)  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – содержание подвижных форм фосфора и калия, мг/кг почвы.

$$WF_i = 0,5 \cdot e^{-0,05 \cdot \eta}, \quad (7)$$

где  $\eta$  – глубина слоя почвы, см.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение ДНЭ с помощью метода, который рассматривает допустимое сокращение производительности почв в заранее определенных временных рамках, как показано выше, предусматривает количественную оценку качества почвы через ИП (1). Для идентификации ИП по задекларированным выше формулам (2–7) для эродированных и неэродированных тяжелосуглинистых черноземов южных на лессах и лессовидных суглинках было выделено четыре ключевых участка (два на водоразделе, два на склоне) и на них были заложены почвенные разрезы. Географические координаты этих разрезов приведены в табл. 1.

В разрезах через каждые 10 см до глубины в 100 см определялась плотность сложения почвы, а также были отобраны образцы с нарушенной структурой для определения химических свойств почвы (содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия, pH почвенного раствора). Эти свойства определялись по официальным методикам, принятым в Украине [6, 7, 8, 11].

Для расчета величины эрозии определялись также параметры рельефа ключевых участков – экспозиция, длина склонов, уклон, расстояние до лесополос, ориентация лесополос относительно господствующих ветров, устанавливалась также сложившаяся структура посевных площадей, применение или неприменение противоэрозионных мероприятий и т.п. Количественная оценка водной эрозии (при ливнях и в процессе снеготаяния) производилась с помощью математических моделей Г.И. Швевса [2], а расчет ветровой эрозии (дефляции) – с помощью модели Бочарова-Шиятого в интерпретации ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского» [3].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Итак, опираясь на исходный тезис Ф. Пирса с соавторами [14], что ДНЭ должна быть величиной эрозии, которая уменьшает продуктивность почвы в заранее заданных пределах за определенный период времени, и фиксируя производительность почвы через ИП, очевидно, что ДНЭ будет равна уменьшению величины индекса производительности ( $\Delta$ ИП) за определенный срок планирования ( $T$ , годы):

$$\text{ДНЭ} = (\Delta\text{ИП})/T. \quad (8)$$

Однако, очевидно, что

$$\Delta\text{ИП} = \text{ИП}_T - \text{ИП}_{\text{исх}}, \quad (9)$$

$$\text{ИП}_T = \text{ИП}_{\text{исх}} \cdot (1 - \alpha), \quad (10)$$

$$\Delta\text{ИП} = -\alpha \cdot \text{ИП}_{\text{исх}}. \quad (11)$$

А поэтому ДНЭ, с учетом (10–12) будет равна:

$$\text{ДНЭ} = (-\alpha \cdot \text{ИП}_{\text{исх}})/T. \quad (12)$$

В формулах (8–12)  $\text{ИП}_T$  – значение индекса продуктивности на конец срока планирования  $T$  (согласно рекомендациям [13, 14] 50, 100 либо 200 лет),  $\text{ИП}_{\text{исх}}$  – исходное значение ИП,  $\alpha$  – запланированный показатель уменьшения продуктивности почвы (при 1% уменьшении уровня продуктивности  $\alpha = 0,01$ , при 5% –  $\alpha = 0,05$ , при 10% –  $\alpha = 0,1$  и т.п.).

Следует отметить, что традиционно ДНЭ определяются в тоннах на гектар в год. Учитывая, что в уравнении (12) ИП измеряется в долях единицы (д.е.), то для перехода, к размерности в тоннах на гектар в год, необходимо в формулу (13) ввести показатель, который будет показывать на изменения величины ИП в процессе эрозии верхнего слоя почвы ( $V$ ) и который будет иметь размерность в д.е./мм.

Введение в расчетную формулу показателя  $V$  позволяет получить окончательное выражение для расчета ДНЭ в тоннах на гектар в год:

$$\text{ДНЭ} = (-\alpha \cdot \text{ИП}_{\text{исх}} \cdot \gamma) / [0,1 \cdot (V \cdot T)], \quad (13)$$

где  $\gamma$  – плотность сложения слоя почвы, который подлежит эрозии, г/см<sup>3</sup>.

В выражении (13) неизвестными являются два показателя – исходное значение ИП и значение показателя, который характеризует изменения ИП верхнего слоя почвы (параметр  $V$ ) в процессе эрозии.

Расчеты исходных значений ИП (1) для почв ключевых участков были получены по формулам (2–7) и приведены в таблице 1. Следует отметить, что формирование значения ИП в водораздельных южных черноземах кардинально отличается от этого показателя почв на склонах с эродированными аналогами.

Значительные различия наблюдаются между ИП<sub>исх</sub> неэродированных почв и эродированными в верхнем 30–см слое почв. Это связано с тем, что в эродированных южных черноземах очень существенно уменьшается содержание гумуса и питательных веществ (особенно подвижного фосфора), а также наблюдаются значительные увеличение плотности сложения. А поэтому, учитывая вклад верхних слоев почвы в общее значение ИП<sub>исх</sub>, модифицированный индекс продуктивности на неэродированных почвах изменяется в пределах 0,7538–0,7753, а на эродированных – лишь 0,4143–0,7039.

Таблица 1

**Общие характеристики почв**

Название ключевого участка	Почва	Координаты разрезов		ИП <sub>исх</sub>	Функция ИП = f(h)	Функция V = f(h)
		широта	долгота			
ЧЮнэ–1	Чернозем южный неэродированный	46°55'20,5"	31°40'56,2"	0,7753	0,4472·exp (–0,0061·h)	–0,0027·exp (–0,0061·h)
ЧЮэ–1	Чернозем южный эродированный	46°54'35,4"	31°40'04,4"	0,4143	0,2048·exp (–0,0057·h)	–0,0012·exp (–0,0057·h)
ЧЮнэ–2	Чернозем южный неэродированный	46°53'54,0"	31°40'55,9"	0,7538	0,4116·exp (–0,0057·h)	–0,0023·exp (–0,0057·h)
ЧЮэ–2	Чернозем южный эродированный	46°53'41,7"	31°40'37,0"	0,7039	0,3962exp (–0,0061·h)	–0,0024exp (–0,0061·h)

Параметр V является функцией от характеристик распределения по профилю ИП, а именно первой производной функции ИП = f(h), необходимо произвести соответствующую обработку экспериментальных данных. Результаты расчетов показали, что распределение ИП по профилю в метровом слое почвы в целом подлжит экспоненциальному закону. А значит и параметр изменения производительности почвы в процессе эрозии (V), может быть аппроксимирован экспоненциальной функцией V = f(h) (табл. 1). В то же время, для более точной идентификации величины V, в каждом случае, необходимо определить мощность слоя почвы (h), который будет подлежать эрозии. Такое определение за весь срок планирования ДНЭ (50, 100 или 200 лет) проводилось с помощью математических моделей эрозии. Определение потенциальных эрозионных и дефляционных потерь почвы проводилось с учетом современной структуры посевных площадей в регионе, существующей сети лесополос и при реальном отсутствии специальных противоэрозионных и противодефляционных мероприятий.

Расчеты показали, что по ключевым участкам ежегодные эрозионные и дефляционные потери колеблются в широких пределах от 6,7 до 30,6 т/га в год, что связано с определенным разнообразием как параметров рельефа (уклон, длина и экспозиция склонов), так и других факторов эрозии и дефляции (гидрометеорологических, почвенных и растительных показателей). Минимальные значения потери почвы связаны с ключевыми участками на водоразделах, где отсутствуют заметная водная эрозии. В то же время, на ключевых участках, расположенных на склонах, водная эрозия протекает достаточно интенсивно (табл. 2).

Таблица 2

## Оценка потенциальных потерь почвы и параметра V

Название ключевого участка	Почва	Некоторые параметры, определяющие эрозионную опасность, согласно моделям эрозии [2, 3]										Потенциальные потери почвы с эрозией, т/га в год				Потенциальные потери почв на разные периоды планирования, мм			Максимальные значения параметра V при разных периодах планирования д.е./мм			
		Гидрометеорологический коэф-фициент*	Длина склона, м	Уклон, %	Параметр противоразноной стойкости почв*	Экспозиция склона, °	Функция растительности*	Максимальная скорость ветра, м/с	Количество дней с пыльной бурей	$K_s$	$K_p$	При ливнях	При снеготаинии	При дефляции	Суммарные потери	50 лет	100 лет	200 лет	50 лет	100 лет	200 лет	
ЧЮэ-1	Чернозем южный не эродированный	15/30	0	0	1,5/1,2	0	0,54/0,81	21	2,1	70	1,0	0,0	0,0	0,0	6,7	6,7	25,8	51,5	103,0	-0,0023	-0,0020	-0,0014
ЧЮэ-1	Чернозем южный эродированный	15/30	1777	70	3,0/1,8	270	0,54/0,81	21	2,1	65	0,7	11,2	12,8	6,6	30,6	30,6	117,7	235,4	470,8	-0,0006	-0,0003	-0,0001
ЧЮэ-2	Чернозем южный не эродированный	15/30	0	0	1,5/1,2	0	0,54/0,81	21	2,1	70	1,0	0,0	0,0	0,0	6,7	6,7	25,8	51,5	103,0	-0,0020	-0,0017	-0,0013
ЧЮэ-2	Чернозем южный эродированный	15/30	336	52	3,0/1,8	290	0,54/0,81	21	2,1	65	0,7	4,4	5,3	6,6	16,3	16,3	62,7	125,4	250,8	-0,0016	-0,0011	-0,0005

\*Числитель – показатели ливневой эрозии, знаменатель – показатели эрозии при снеготаянии

Учитывая, что показатель скорости изменений ИП под влиянием эрозии и дефляции ( $V$ ) зависит только от мощности слоя почвы ( $h$ ), который вероятно будет утерян при реализации эрозионных процессов за срок планирования  $T$  и подставив рассчитанные значения  $h$  в формулы из таблицы 1, мы получим значение параметра  $V$  по почвам всех ключевых участков (табл. 2). Следует отметить, что полученные значения  $V$  рассчитаны на ситуацию, которая наблюдается на конец срока планирования, то есть это максимально возможные величины показателя  $V$  за период  $T$ . В то же время, очевидно, что для расчета ДНЭ по математической модели (2) необходимо использовать некоторое среднее значение параметра  $V$ , которое будет адекватно показывать на изменения производительности почвы в течение всего периода планирования. В таблице 3 приведены значения  $V$ , рассчитанные как средние арифметические между максимально возможной величиной  $V$  (табл. 2) и его минимальными значениями, присущими началу срока планирования, то есть значению  $V$  при  $h = 1$  мм.

Также в таблице 3 приведены рассчитанные по формуле (14) величины допустимых норм эрозии, полученные при плотности сложения в  $1,3 \text{ г/см}^3$  и при 5% запланированном уменьшении производительности почвы. Как видно ДНЭ, рассчитанные на 50-летний период планирования, колеблются в пределах 4–6 т/га в год.

Таблица 3

Средние значения показателя  $V$  и ДНЭ при разных сроках планирования

Название ключевого участка	Название почвы	Средние значения показателя $V$ при разных сроках планирования			ДНЭ при 5% снижении продуктивности почвы и разных сроках планирования, т/га за год		
		50 лет	100 лет	200 лет	50 лет	100 лет	200 лет
ЧЮнэ–1	Чернозем южный незеродированный	–0,0025	–0,0023	–0,0021	4,0	2,2	1,2
ЧЮэ–1	Чернозем южный эродированный	–0,0009	–0,0008	–0,0006	6,0	3,6	2,1

Учитывая общую точность предлагаемой методики и, обобщая результаты расчетов (табл. 3), следует рекомендовать следующие ДНЭ для проектирования отдельных противоэрозионных мероприятий и конструирования почвозащитных агроландшафтов. На срок планирования в 50 лет (при 5% запланированном снижении продуктивности) для черноземов южных незеродированных – 4 т/га в год, эродированных – 5 т/га в год. На срок планирования в 100 лет 2 т/га в год и 3 т/га в год соответственно. На срок планирования в 200 лет 1 т/га в год и 2 т/га в год соответственно.

Для других уровней запланированного уменьшения продуктивности почв (1%, 2%, 3%, 10% и т.д.) приведенные выше величины ДНЭ следует пропорционально уменьшить или увеличить в соответствии с формулой (13).

## ВЫВОДЫ

1. Допустимой нормой следует считать такой размер ежегодной эрозии, который с течением времени будет компенсирован или расширенным почвообразованием, и (или) новыми технологиями выращивания сельскохозяйственных культур и (или) достижениями в области генной инженерии и селекции. Окончательный выбор величины допустимой нормы и срока планирования является прерогативой самого землепользователя, который заранее выбирает сценарий землепользования, оценивая риски и свои возможности.

2. Для южных черноземов почв Правобережной Степи Украины может быть рекомендованы следующие допустимые нормы эрозии (на 5% запланировано снижение производительности). На срок планирования в 50 лет для черноземов южных незеродированных – 4 т/га в год, для черноземов южные эродированных – 5 т/га в год. На срок планирования в 100 лет 2 т/га в год и 3 т/га в год соответственно. На срок планирования в 200 лет 1 т/га в год и 2 т/га в год соответственно. Для других уровней запланированного уменьшения продуктивности почв (1%, 2%, 3%, 10% и т.д.), приведенные выше величины ДНЭ следует пропорционально уменьшить или увеличить в соответствии с расчетной формулой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні: монографія / за ред. акад. НААНУ С.А. Балюка та проф. Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКОГО. – Х.: НТУ «ХПІ», 2010. – 460 с.
2. *Светличный, А.А.* Эрозиоведение: теоретические и прикладные аспекты / А.А. Светличный, С.Г. Черный, Г.И. – Суми: Університетська книга, 2004. – 415 с.
3. Методичні рекомендації з прогнозування прояву пилових бур в Україні / Д.О. Тімченко [та ін.]. – Харків, 2009. – 32 с.
4. *Черный, С.Г.* Методика оценки допустимой нормы эрозии / С.Г. Черный, Н.В. Поляшенко // Региональные проблемы Украины: географический анализ та пошук шляхів вирішення. Зб. Накових праць за матеріалами VI Міжнародної науково-практичної конференції. – Херсон: ПП Вишемирский, 2015. – С. 413–423.
5. *Чорний, С.Г.* Оцінка допустимої норми ерозії для ґрунтів Степу України / С.Г. Чорний // Український географічний журнал. – 1999. – № 4. – С.34–39.
6. Якість ґрунту. Визначення об'ємної щільності на суху вагу. Державний стандарт України. ISO 11272: 1 998.
7. Якість ґрунту. Визначення рН. Державний стандарт України. ISO 10390: 2007.
8. Якість ґрунту. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за модифікованим методом Мачігіна. Державний стандарт України. 4114: 2002.
9. Якість ґрунту. Ерозія ґрунту. Допустимі норми. ДСТУ 7081:2009.
10. Якість ґрунту. Ерозія ґрунту. Терміни та визначення основних понять. ДСТУ 7118:2009.
11. Якість ґрунту. Метод визначення органічної речовини. Державний стандарт України. 4289: 2004.

12. *Alexander, E.B.* Rates of soil formation: implications for soil-loss tolerance / E.B. Alexander // *Soil Sci.* – 1988. – № 145 (1). – P. 37–45.

13. *Duan, X.* Soil loss tolerance in the black soil region of Northeast China / X. Duan, Y. Xie, B. Liu, G. Liu, Y. Feng, X. Gao // *J. Geogr. Sci.* – 2012. – № 22(4). – P. 737–751.

14. *Pierce, F.J.* Soil loss tolerance: Maintenance of long-term soil productivity / F.J. Pierce, W.E. Larson, R.H. Dowdy // *Journal of Soil and Water Conservation.* – 1984. – № 39 (2). – P.136–138.

15. *Pierce, F.J.* Productivity of soils: assessing long-term changes due to erosion / F.J. Pierce, W.E. Larson, R.H. Dowdy, W.A.P. Graham // *Journal of Soil and Water Conservation.* – 1983. – № 38. – P. 39–44.

16. *Wischmeier, W.H., Smith D.D.* Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USA: United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook. 1978. – № 537. – Washington, D.C.

## **DEFINITION SOIL LOSS TOLERANCE FOR SOUTH CHERNOZEM OF RIGHT BANK OF UKRAINE**

**S.G. Chorny, N.V. Polyashenko**

### **Summary**

The researches to determine of soil loss tolerance for right-bank Ukraine southern chernozem soil were conducted. In the planning period of 50 years by 5% of soil productivity decrease for not eroded chernozem a soil loss tolerance is 4 t/ha per year, and for the eroded soil is 5 t/ha per year.

*Поступила 09.11.2015*

УДК 631.4

## **ОЦЕНКА ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И ПОЧВЕННЫХ КОМБИНАЦИЙ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ**

**В.В. Чупрова, Т.Н. Демьяненко, З.С. Жуков, Ю.В. Бабиченко**

*Красноярский государственный аграрный университет,  
г. Красноярск, Россия*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В современный период реформирования агропромышленного комплекса важное значение имеет не только охрана почв как компонента биосферы, но и проблема рационального их использования. Для научного обеспечения рационального землепользования развиваются исследования по ландшафтно-экологическому анализу территории с последующей агроэкологической оценкой



почв, агроэкологической классификацией и региональной группировкой структур почвенного покрова [1, 4]. Среди насущных задач – количественная оценка почвенного потенциала земельных массивов, необходимая для объективного сравнения их плодородия в пределах конкретных ландшафтов, региона или межрегиональном уровне. Важно разработать показатели состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения, создать систему оценочных показателей и методики оценки состояния почв сельскохозяйственных земель. Данные материалы являются основой для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия и точных агротехнологий [4, 5].

Разработка таких систем земледелия опирается на агроэкологическую оценку земель, составной частью которой является агроэкологическая оценка почв и почвенного покрова (ПП). В то же время ПП пахотных земель хозяйств, как правило, отличается неоднородностью, что создает проблемы при агротехнической обработке полей и проектировании севооборотов. К тому же, неоднородность ПП является фактором, лимитирующим плодородие земельного участка [1].

По мнению [3, 7, 8], для оценки плодородия земельных массивов с однородным и неоднородным почвенным покровом может использоваться почвенно-экологический индекс (ПЭИ), предложенный И.И. Кармановым [2]. ПЭИ представляет собой количественную величину, отражающую природный потенциал пахотных земель на основе продуктивности группы зерновых культур. Этот показатель учитывает широкий спектр почвенных и климатических характеристик конкретного землепользования и рекомендуется для оптимизации структуры землепользования, регулирования плодородия почв, разработки и распространения адаптивно-ландшафтных систем земледелия [3].

В настоящем сообщении рассматриваются результаты использования ПЭИ для оценки плодородия пахотных земель конкретного хозяйства, расположенных в одинаковых климатических условиях, но отличающихся по структуре ПП и почвенным свойствам.

## **ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Определение ПЭИ проводилось по методике [2, 3] на примере почв, распространенных в землепользовании учхоза «Миндерлинское» Красноярского государственного аграрного университета. Территория хозяйства площадью 4,5 тыс. га находится на широте 56,4° с.ш. в центральной части Красноярской лесостепи, расположенной на стыке юго-восточной и восточной окраины Западно-Сибирской низменности и предгорной равнины Восточного Саяна. По геоморфологическому строению, степени и характеру эрозийного расчленения эта территория относится к Приенисейской холмисто-увалистой среднерасчлененной денудационной равнине, по агроклиматическому районированию – к умеренному поясу и холодно-умеренному подпоясу с резкими суточными и годовыми колебаниями температуры [6].

Для расчета ПЭИ использовались материалы почвенной карты землепользования учхоза «Миндерлинское», оцифрованной нами на основе бумажного варианта карты, выполненной в 1989 г. почвенным отделом ВостсибГИПРОЗЕМ, и прикрепленной к ней базы данных (БД) показателей свойств почв, а также

материалы агрохимических картограмм, полученные по результатам агрохимического обследования пахотных угодий агрохимслужбой «Красноярский». Учитывая неоднородность почвенного покрова полей, были определены составляющие агроэкологического потенциала отдельных почв, почвенных комбинаций и в целом всего земельного массива учебного хозяйства. Расчет и обсуждение результатов проводится по трем составляющим ПЭИ: климатическая (ПЭИк), агрохимическая (ПЭИа) и почвенная (ПЭИп). В обобщенном виде ПЭИ представляется следующей формулой:

$$\text{ПЭИ} = 12,5 \cdot (2 - V) \cdot \underbrace{P \cdot D_c \cdot A}_{\text{ПЭИп}} \cdot \underbrace{\frac{(\sum t^{\circ} > 10^{\circ} \text{C}) \cdot (K_y - P)}{K_k + 100}}_{\text{ПЭИк}},$$

ПЭИп
ПЭИа
ПЭИк

где 12,5 – постоянный множитель для всех почв; 2 – максимально возможная плотность, г/см<sup>3</sup>; V – плотность сложения в среднем для метрового слоя, г/см<sup>3</sup>; П – полезный объем почвы, основанный на гранулометрическом составе; D<sub>c</sub> – дополнительно учитываемые свойства (гумусность, мощность гумусового горизонта); A – итоговый агрохимический индекс; K<sub>y</sub> – коэффициент увлажнения; K<sub>k</sub> – коэффициент континентальности; 100 – поправка к K<sub>k</sub>.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Холмисто-увалистый рельеф территории учхоза обуславливает значительную комплексность почвенного покрова (рис.). Суммарная площадь однородных контуров составляет только 29% территории. Элементарные почвенные структуры (ЭПС) почвенного покрова представлены четырьмя группами: зональные, полугидроморфно-зональные, полугидроморфно-подчиненные и пойменные. Крутые южные и западные склоны, составляющие 12% площади территории, подвержены слабой дефляции. Слабосмытые почвы, формирующиеся на делювиальных глинах нижних частей склонов, занимают 5% общей площади. В целом почвенный покров землепользования обладает слабой контрастностью. Степень его дифференциации для гетерогенных контуров – средняя и умеренная.

В структуре почвенного покрова землепользования учхоза «Миндерлинское» значительную долю (21%) составляют ареалы мощных темно-серых оподзоленных почв в комплексе с лугово-черноземными оподзоленными. Эти почвы сформированы на делювиальных глинах и имеют тяжелосуглинистый и легкосуглинистый гранулометрический состав. Темно-серые почвы распространяются на вершинах плоских увалов или на средних частях северных и восточных склонов. Лугово-черноземные почвы занимают шлейфы и понижения склонов. Серые оподзоленные почвы, доля которых составляет около 22% от общей площади хозяйства, приурочены к наиболее высоким абсолютным отметкам: вершинам высоких увалов, верхним частям склонов северной экспозиции. Здесь преобладают среднемошные в комплексе с маломощными видами.

Черноземы выщелоченные среднегумусные мало- и среднемощные и тучные среднемощные, распространенные по южным и западным склонам невысоких увалов и холмов, занимают 23% от общей площади. Данные почвы более всего подвержены дефляции. Почвообразующими породами для них служат лессовидные суглинки и глины, обуславливая их тяжелосуглинистый гранулометрический состав. На крутых южных склонах формируются легкосуглинистые почвы с признаками эродированности. В основном выщелоченные черноземы сочетаются с обыкновенными среднегумусными и лугово-черноземными оподзоленными почвами. Оподзоленные черноземов мало – менее 1% от площади хозяйства.

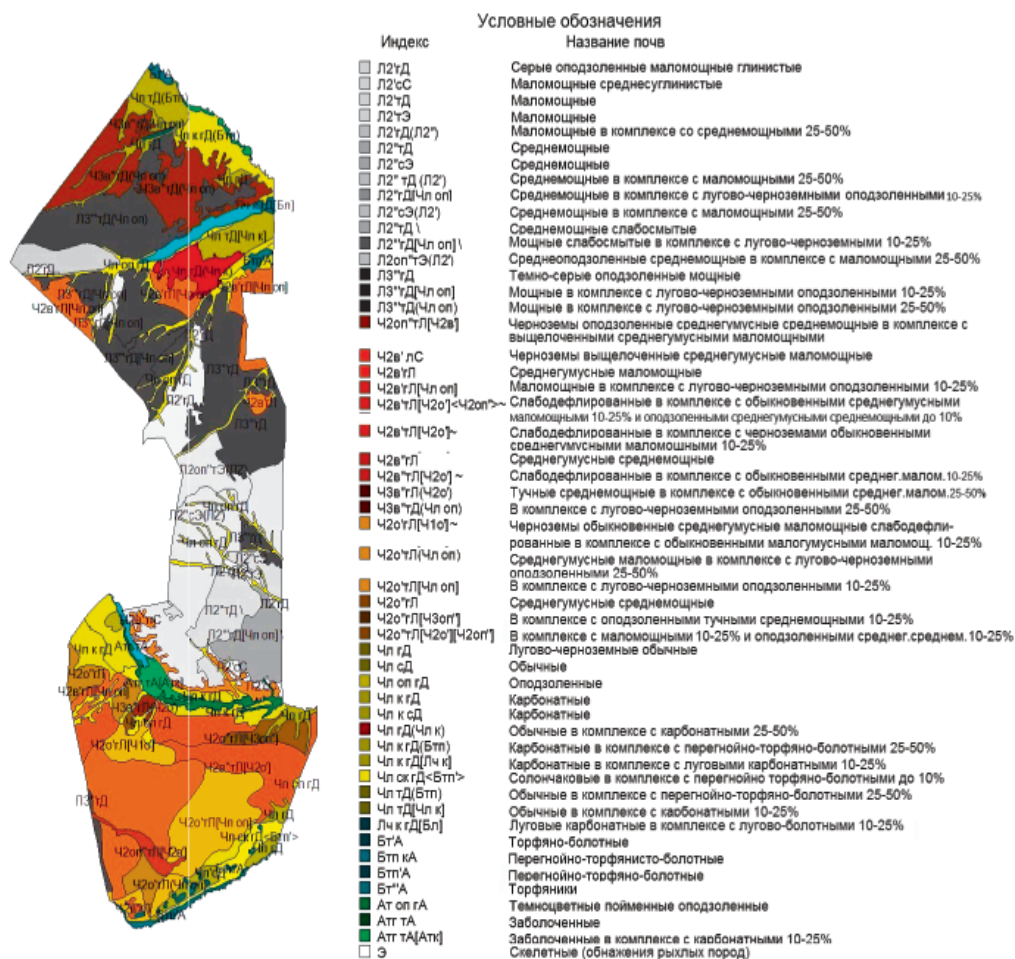


Рис. Цифровая почвенная карта учхоза «Миндерлинское»

*Примечание.* В условных обозначениях последние два символа индекса основной почвы означают: малый символ – гранулометрический состав (г – глинистый, т – тяжелосуглинистый, с – среднесуглинистый, л – легкосуглинистый), большой символ – почвообразующая порода (Л – лессовидные глины и суглинки, Д – делювиальные глины, Э – элювиально-делювиальные отложения, А – аллювиальные отложения).

Площади, занятые черноземами обыкновенными среднегумусными средне- и маломощными, составляют около 11% территории. Это повышенные участки водораздельной равнины с развитым бугристо-западинным микрорельефом.

Полугидроморфно-подчиненные ЭПС составляют лугово-черноземные почвы: обычные, оподзоленные, карбонатные в однородных контурах и в сочетаниях. Их доля в общей площади хозяйства равняется 18%. Это территории надпойменных террас, днища логов и западин. Здесь же небольшими массивами встречаются солончаковые почвы в комплексе с перегнойно-торфяно-болотными, доля которых вместе с почвами пойм составляет 4,3%.

В алгоритме ПЭИ используются почвенные (ПЭИп), агрохимические (ПЭИа) и климатические (ПЭИк) характеристики. Территория данного хозяйства отличается низкой суммой активных температур и недостаточным увлажнением, что определяет значение ПЭИк, равное 3,71 (табл. 1). Низкое значение этого показателя является одной из причин относительно невысокой урожайности зерновых культур (в среднем 2,0–2,5 т/га) в землепользовании сибирского региона по сравнению с аналогичными лесостепными территориями европейской части страны. В одинаковых климатических условиях для ограниченной территории учхоза «Миндерлинское» величина показателя ПЭИк будет единой для ПЭИ каждой почвы и, поэтому, формирование продуктивности одной группы культур, например зерновых, будет определяться неблагоприятными почвенными и агрохимическими свойствами.

Таблица 1

**Климатические характеристики почвенно-экологического индекса в землепользовании учхоза «Миндерлинское» Красноярской лесостепи (среднегодулетние показатели)**

Административный район	Объект	$\sum t > 10 \text{ }^\circ\text{C}$	t, $^\circ\text{C}$		$\sum$ осадков за год, мм	Коеффициент увлажнения (КУ)	Коеффициент континентальности (КК)	ПЭИк
			июль	январь				
Сухобузимский	Учхоз «Миндерлинское»	1525	+23	–21	350	0,77	238	3,71

Агрохимический индекс (ПЭИа) определен в зависимости от соотношения площадей с различным содержанием элементов питания растений и с различной долей площадей пахотных почв, отличающихся разными значениями рН. При расчете почвенной составляющей (ПЭИп) почвенно-экологического потенциала отдельных почв были учтены такие показатели как плотность сложения в среднем для метрового слоя, гранулометрический состав почвы, мощность гумусового горизонта и содержание гумуса. Данные расчета ПЭИа и ПЭИп на основе поправочных коэффициентов на эти показатели для группы зерновых культур приводятся в таблице 2.

Количество обменного калия в большинстве почв соответствует повышенной и высокой степени обеспеченности (100–150 мг/кг). Содержание подвижного

фосфора в почвах хозяйства варьирует в широких пределах – от низкой до высокой. Причем, зависимость степени обеспеченности элементом от генетической принадлежности почвы не обнаруживается. Так, темно-серые почвы характеризуются средним уровнем обеспеченности  $P_2O_5$  (150–200 мг/кг), а серые почвы на отдельных полях отличаются низким (100–150 мг/кг), на других полях – повышенным содержанием  $P_2O_5$  (200–220 мг/кг). Количество подвижного фосфора в черноземах изменяется от 90 мг/кг до 230 мг/кг, что соответствует низкой и повышенной обеспеченности. По показателям pH около 75% почв хозяйства являются нейтральными. Средний агрохимический индекс равен 1,04. Агрохимическое состояние пахотных массивов данного землепользования характеризуется незначительной долей лимитирующих плодородие свойств.

Сравниваемые серые оподзоленные почвы отличаются по гранулометрическому составу. Черноземы и лугово-черноземные почвы, имея одинаковый глинистый гранулометрический состав, характеризуются различной мощностью гумусового горизонта. Следовательно, что вклад почвенной составляющей ПЭИ закономерно возрастает в ряду почв: серая оподзоленная < чернозем < лугово-черноземная.

Таблица 2

**Почвенная и агрохимическая составляющие ПЭИ пахотных земель  
учхоза «Миндерлинское» Красноярской лесостепи**

Индекс почвы	Гранулометрический состав	Почвенная составляющая				Агрохимическая составляющая				ПЭИ
		2-V	$K_m$	$K_T$	ПЭИп	$K_{P_2O_5}$	$K_{K_2O}$	$K_{pH}$	ПЭИа	
Л <sub>2</sub> "	Тяжелосуглинистый	0,70	0,92	0,78	6,28	1,05	1,00	1,05	1,10	25,7
Л <sub>2</sub> "	Среднесуглинистый	0,70	0,97	0,78	6,62	0,95	1,00	1,00	0,95	23,3
Ч <sub>2</sub> в'	Глинистый	0,80	0,98	0,78	7,64	0,96	1,03	1,03	1,02	28,1
Ч <sub>2</sub> в"	Глинистый	0,80	0,98	1,09	10,68	1,08	1,08	1,03	1,20	46,2
Ч <sub>2</sub> о"	Глинистый	0,80	0,98	1,15	11,27	0,96	1,00	0,91	0,87	36,5
Чл'''	Глинистый	0,89	0,95	1,27	13,42	1,00	1,03	1,00	1,03	51,1
Чл'	Глинистый	0,89	0,95	1,10	11,63	1,00	1,06	1,03	1,09	47,1

*Примечание.* Почвы: Л<sub>2</sub>" – серая лесная среднемощная; Ч<sub>2</sub>в' – чернозем выщелоченный среднегумусный маломощный; Ч<sub>2</sub>в" – чернозем выщелоченный среднегумусный среднемощный; Ч<sub>2</sub>о' – чернозем обыкновенный среднегумусный маломощный; Ч<sub>2</sub>о" – чернозем обыкновенный среднегумусный среднемощный; Чл' – лугово-черноземная обычная маломощная; Чл''' – лугово-черноземная обычная мощная. Коэффициенты: 2-V – средневзвешенная плотность в метровом слое; поправочные коэффициенты на гранулометрический состав –  $K_m$ , мощность гумусового горизонта –  $K_p$ , содержание подвижного фосфора –  $K_{P_2O_5}$ , содержание обменного калия –  $K_{K_2O}$ , реакция почвенного раствора –  $K_{pH}$ .

Гранулометрический состав почвы является важным свойством для оценки ее плодородия, поскольку влияет на физические, физико-механические, водные характеристики, структурное состояние, биологическую активность, процессы мобилизации питательных элементов. Сравнивая серые оподзоленные среднемощные почвы тяжело- и среднесуглинистого гранулометрического состава, не наблюдается существенных различий ПЭИ<sub>п</sub> между ними. Потенциал плодородия

этих почв не ограничен гранулометрическим составом. В агрономическом отношении они однородны и совместимы.

Однако, характеризуясь преимущественно глинистым гранулометрическим составом, черноземы имеют разную мощность гумусового горизонта и не сопоставимы по величине индекса (7,64–11,27). Уменьшение мощности гумусового горизонта сопровождается понижающими коэффициентами. То же отмечается и в ряду лугово-черноземных почв маломощных (11,63) и мощных (13,42). Поэтому можно полагать, что мощность гумусового горизонта является свойством лимитирующим плодородие, влияющим на глубину вспашки и урожайность полевых культур.

Плодородие какого-либо поля (или в целом земельного угодья) лимитируется участием в его границах компонентов структур почвенного покрова с негативными агрономическими свойствами [1]. Как видим (табл. 3), ПЭИ наглядно отражает различия между компонентами почвенных комбинаций (ПК). Наибольшими значениями ПЭИ (44–47 баллов) отличается ПК с разными подтипами черноземов независимо от мощности гумусового горизонта. ПЭИ в группировках с преобладающими черноземами, но в которых встречаются полугидроморфные лугово-черноземные почвы на блюдцеобразных понижениях, немного снижается (41–43). Сравнимые массивы можно рассматривать как однородные и совместимые по агротехнологическим мероприятиям. Появление в пределах поля, хотя и однородного по почвенному покрову (маломощные обыкновенные черноземы), лимитирующих плодородие признаков эродированности на элементах мезо- и микрорельефа (склоны) приводит к заметному уменьшению ПЭИ (38). Такое поле представляет собой неоднородную ПК и требует иного агротехнологического режима, возможно возделывание многолетних трав (люцерна, кострец или их смесь).

Сочетание в ПК серых лесных и лугово-черноземных почв приводит к существенному снижению величины ПЭИ по сравнению с ПК с участием черноземов. Сравняя ПК с различным долевым участием серых лесных и лугово-черноземных почв, можно выделить следующие агрономические структуры. Так, ПК с преобладающей темно-серой почвой и небольшим распространением, но в различных местах поля на блюдцеобразных понижениях лугово-черноземной почвы, в агрономическом отношении представляется неоднородной, но вынуждено совместимой по технологическим причинам структуры почвенного покрова. Значение ПЭИ здесь невысокое – 25. Урожайность зерновых культур небольшая и очень варьирует из-за пятнистости поля. К тому же, и глинистый гранулометрический состав почв, обуславливая переуплотнение корнеобитаемого слоя, является лимитирующим плодородие свойством. Поэтому рациональнее использовать такое поле для возделывания кормовых (однолетние травы или их смеси) культур.

Массив поля с более расчлененным рельефом, где на верхних частях склонов обнаруживаются смытые почвы, а в нижних частях склонов и в блюдцеобразных понижениях выделяются намывные почвы, неоднороден в агрономическом отношении. Плодородие этого поля невысокое (ПЭИ = 20–22 балла). Поэтому его целесообразно использовать под залужение, а в дальнейшем как пастбище или сенокос.



Таблица 3

**Почвенная и агрохимическая составляющие ПЭИ в почвенных комбинациях пахотных земель  
учхоза «Миндерлинское» Красноярской лесостепи**

Индекс почвы	Гран. состав	Почвенная составляющая							Агрохимическая составляющая				ПЭИ
		2-V	K <sub>m</sub>	K <sub>r</sub>	D <sub>c</sub>		K <sub>d</sub>	ПЭИ <sub>n</sub>	K <sub>p<sub>2</sub>O<sub>6</sub></sub>	K <sub>K<sub>2</sub>O</sub>	K <sub>pH</sub>	ПЭИ <sub>a</sub>	
					K <sub>сm</sub>	K <sub>d</sub>							
Л <sub>3</sub> "(0,75) Чл оп"(0,25)	гл	0,7	0,95	0,78	-	-	-	6,48	1,0	1,08	0,96	1,04	24,9
Л <sub>3</sub> "(0,50) Чл оп"(0,50)	т/с	0,7	0,97	1,14	-	-	-	9,68	1,0	1,08	1,0	1,08	38,8
Л <sub>1</sub> "(0,5) Л <sub>2</sub> "(0,50)	гл	0,7	0,86	1,14	-	-	-	8,58	1,0	1,11	1,05	1,17	37,1
Л <sub>2</sub> "(0,75) Чл оп(0,25)	ср/с	0,7	0,86	1,14	-	-	-	8,58	1,0	1,08	1,0	1,08	34,4
Л <sub>2</sub> "э1(0,50) Л <sub>2</sub> "э1(0,50)	т/с	0,7	0,92	0,78	0,83	-	-	5,21	1,05	1,11	1,0	1,17	22,5
Л <sub>2</sub> "э1(0,75) Чл оп(0,25)	гл	0,7	0,86	0,78	0,83	-	-	4,87	1,05	1,04	1,0	1,09	19,7
Ч <sub>2</sub> в"(0,75) Чл"(0,25)	гл	0,8	0,98	1,09	-	-	-	10,68	0,96	1,08	1,03	1,07	41,1
Ч <sub>2</sub> вэ1(0,75) Ч <sub>2</sub> о'(0,25)	т/с	0,8	1,0	1,14	-	0,97	-	11,06	1,04	1,08	1,03	1,16	46,1
Ч <sub>2</sub> вэ1(0,65) Ч <sub>2</sub> о'(0,25) Ч <sub>2</sub> оп"(0,10)	т/с	0,8	1,0	1,09	-	0,97	-	10,57	1,04	1,08	1,03	1,16	44,1
Ч <sub>2</sub> о'(0,50) Чл <sub>2</sub> оп"(0,50)	т/с	0,8	1,0	1,15	-	-	-	11,5	0,96	1,06	1,03	1,05	43,4
Ч <sub>2</sub> о'(0,75) Чл <sub>2</sub> оп"(0,25)	т/с	0,8	1,0	1,14	-	-	-	11,4	1,0	1,03	1,03	1,06	43,6
Ч <sub>2</sub> оэ1(0,75) Ч <sub>1</sub> о'(0,25)	гл	0,8	0,98	1,0	-	0,97	-	9,51	1,0	1,06	1,03	1,09	38,4
Ч <sub>2</sub> о"(0,75) Ч <sub>3</sub> оп"(0,25)	гл	0,8	0,98	1,0	-	0,97	-	9,51	1,08	1,0	1,03	1,11	44,8
Ч <sub>2</sub> о"(0,50) Ч <sub>2</sub> о'(0,25) Ч <sub>2</sub> оп"(0,25)	т/с	0,8	1,0	1,14	-	-	-	11,4	1,04	1,08	1,03	1,17	47,5

*Примечание.* Почвы: Л<sub>2</sub>' – серая лесная маломощная; Л<sub>2</sub>" – серая лесная среднеспособная; Л<sub>2</sub>"э1 – серая лесная среднеспособная слабоэродированная; Л<sub>2</sub>"э1 – серая лесная мощная; Чл оп" – черноземно-луговая оподзоленная среднеспособная; Чл – черноземно-луговая обычная среднеспособная; Ч<sub>2</sub>в' – чернозем выщелоченный среднегумусный маломощный; Ч<sub>2</sub>вэ1 – чернозем выщелоченный среднегумусный маломощный слабоэродированный (дефлированный); Ч<sub>2</sub>о' – чернозем обыкновенный среднегумусный маломощный; Ч<sub>2</sub>оэ1 – чернозем обыкновенный среднегумусный слабоэродированный; Ч<sub>2</sub>о" – чернозем обыкновенный среднегумусный среднеспособный; Ч<sub>2</sub>оп" – чернозем оподзоленный среднегумусный среднеспособный; Ч<sub>3</sub>оп" – чернозем оподзоленный тучный среднеспособный; К<sub>сm</sub> – коэффициент; 2-V – среднеспособная плотность в метровом слое; поправочные коэффициенты на гранулометрический состав – K<sub>m</sub>, содержание гумуса и мощность гумусового горизонта – K<sub>r</sub>, смывистость – K<sub>сm</sub>, дефлированность – K<sub>d</sub>, содержание подвижного фосфора – K<sub>p<sub>2</sub>O<sub>6</sub></sub>, содержание обменного калия – K<sub>K<sub>2</sub>O</sub>, реакция почвенного раствора – K<sub>pH</sub>.



Таким образом, полученные количественные оценки ПЭИ характеризуют неоднородность агроэкологического состояния почвенного покрова пахотных земель, находящихся в одинаковых климатических условиях. Средневзвешенная величина ПЭИ пахотных массивов в учхозе «Миндерлинское» равна 37,8. По данным [8], значения ПЭИ для автоморфных почв европейской части РФ (Московская, Тульская, Курская, Воронежская области) достигают соответственно 50, 70, 88 и 63. Сравнивая эти данные с полученными нами для почв сибирского региона, отметим, что ПЭИ отражает особенности почвенно-экологических условий разных регионов.

## ВЫВОДЫ

1. Почвенный покров Красноярской лесостепи, на примере землепользования учхоза «Миндерлинское», отличается значительной комплексностью, обусловленной холмисто-увалистым характером рельефа.
2. Величина ПЭИ почв этого хозяйства составляет 23–51 баллов. Количественные оценки ПЭИ отражают различия между компонентами почвенных комбинаций. Лимитирующими плодородие свойствами являются небольшая мощность гумусового горизонта, глинистый гранулометрический состав почв и наличие признаков эродированности в сложных почвенных комплексах.
3. Применение ПЭИ позволяет получить сравнительную агроэкологическую оценку почвенного покрова для управленческих решений по рациональному использованию сельскохозяйственных угодий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение и верификация почвенно-экологического индекса при оценке структур почвенного покрова пахотных угодий / Д.С. Булгаков [и др.] // Почвоведение. – 2013. – № 11. – С. 1367–1376.
2. Карманов, И.И. Оценка плодородия почв / И.И. Карманов // Методика комплексной агрономической характеристики почв. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1985. С. 12–23.
3. Карманов, И.И. Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра / И.И. Карманов, Л.С. Булгаков. – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. – С. 10–11.
4. Кирюшин, В.И. Агроэкологическая оценка земель и почвенно-ландшафтное картографирование для проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия / В.И. Кирюшин // Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. – М.: КолосС, 2011. – С. 159–204.
5. Куст, Г.С. Почвы – многофункциональный ресурс и природное богатство. Ресурсология почв и почвенно-экологическая оценка / Г.С. Куст / Почвы в биосфере и жизни человека: монография. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. – С. 322–356.
6. Сергеев, Г.М. Островные лесостепи и подтайга Приенисейской Сибири / Г.М. Сергеев. – Иркутск: Восточно-Сибирское книжное изд-во, 1971. – 262 с.
7. Сорокина Н.П. Элементарные почвенные структуры пахотных земель: опыт картографирования / Н.П. Сорокина // Почвоведение. – 2000. – № 2. – С. 158–168.

8. Почвенно-экологический индекс в системе оценочных показателей структуры почвенного покрова / Н.П. Сорокина [и др.] / Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: мат-лы междунар. научн. конф. – СПб., 2011. – С. 106–108.

## **EVALUATION OF SOIL AND SOIL COMBINATION FERTILITY OF CROPLANDS IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE**

**V.V. Chuprova, T.N. Demyanenko, Z.C. Zhukov, Yu.V. Babichenko**

### **Summary**

Soil and soil combination fertility evaluation of croplands was made using soil and environmental index on the base of the training farm «Minderlinskoye» of the Suhobuzimo district of the Krasnoyarsk region. The evaluation results allowed to determine soil properties limiting fertility and helping to optimize the crops location structure on the farm.

*Поступила 29.05.2015*

УДК 631.4(477.41/42)

## **ИНТЕНСИВНОСТЬ ДЫХАНИЯ ПОЧВ ЛЕВОБЕРЕЖНОГО ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ В УСЛОВИЯХ АГРОЦЕНОЗА**

**П.И. Трофименко, Ф.И. Борисов, Н.В.Трофименко**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Учитывая перманентное повышение концентрации парниковых газов в атмосфере в последнее время, роль почв в регулировании углеродного режима ноосферы приобретает особое значение и становится более рельефной и значимой. Многие из современных ученых направляют свои усилия на исследование проблем оптимизации баланса органического углерода биосферы и стабилизации его содержания в почвах [1, 2 и др.]. Кроме изучения особенностей протекания процессов эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу и выявления расходной составляющей общего баланса органического вещества биосферы, достаточно актуальной проблемой справедливо считают определение эмиссионно-оценочного статуса отдельных почвенных разностей, в зависимости от способа и интенсивности их использования. В этом случае участие почв в обеспечении мобилизующей и иммобилизующей функций биосферы в круговороте органического углерода, целесообразно рассматривать в качестве эффективного инструмента регулирования его содержания в атмосфере.

**Анализ последних исследований.** Как доказывают исследования ученых, дыхательная активность почв зависит от многих факторов: времени года, географического положения района исследований, времени суток [3], влияния абиотических факторов – температуры воздуха и атмосферного давления [1], типа почвы, ее температуры и влажности [2–7], а также способа использования с соответствующим уровнем механического воздействия, норм органических и минеральных удобрений и мелиоративного состояния [8–15]. Определение объемов эмиссии почв позволяет установить особенности протекания процессов продуцирования и диссипации диоксида углерода как за определенный, короткий промежуток времени, так и за более длительный интервал – вегетационный период, сезон, календарный год.

При этом некоторые из ученых рассматривают оптимизацию структуры землепользования через призму принадлежности почв к определенным угодьям с соответствующим уровнем антропогенной нагрузки. По их мнению, сокращение площадей пашни будет способствовать процессам секвестрации углерода почвами с последующей стабилизацией его содержания [1, 16].

Учитывая относительно низкую устойчивость агроценоза под действием комплекса агротехнических приемов, стабилизирующая роль почв в формировании высокого уровня продуктивности сельскохозяйственных угодий в последнее время, приобретает новое качество. Значение почв в формировании пулов и потоков органического вещества биосферы с одновременным обеспечением благоприятных экологических условий для получения качественной продукции также заметно выросла. При этом не до конца изученными остаются вопросы определения оптимальных параметров обуславливающих факторов, при которых наблюдается минимальная эмиссия  $\text{CO}_2$  из почвы в атмосферу и максимальная его секвестрация.

Учитывая вышесказанное, для обеспечения рационального землепользования особое значение приобретает необходимость определения объемов эмиссии  $\text{CO}_2$  почвами, выявление в них закономерностей его продуцирования и диссипации с учетом их принадлежности к различным угодьям с соответствующей интенсивностью использования.

Цель исследований – изучить интенсивность дыхания почв Левобережного Полесья Украины (далее – ИДП), выявить закономерности формирования и обусловленность эмиссионных потерь диоксида углерода почвами, в зависимости от их принадлежности к сельскохозяйственным угодьям и интенсивности использования. Установить источники и величины погрешностей, которые возникают во время измерений.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились (2013–2014 гг.) в Левобережном Полесье, хорошо увлажненной подзоне Черниговской области, на территории СООО «Свитанок» и ООО «Егрес Агро» Куликовского района. Почвенный покров на исследуемой территории характеризуется исключительной пестротой и представлен: светлосерыми и серыми оподзоленными супесчаными и легкосуглинистыми почвами (>30%), луговыми легкосуглинистыми почвами (>30%), болотными и торфянисто-болотными хорошо разложенными почвами (>10%), дерновыми связно-песчаны-

ми и легкосуглинистыми почвами, дерново-подзолистыми звязно- и супесчаными почвами (>5%). Доминирующими почвообразующими породами на территории исследований являются лессовидные отложения и аллювий.

Во время замера концентрации  $\text{CO}_2$  в изолирующей камере с параметрами  $d = 0,13$  м,  $h = 0,35$  м, ( $V = 0,0455$  м<sup>3</sup>), погруженной в почву, измеряли температуру воздуха и атмосферное давление. Рядом с камерой на глубине ее погружения (0,05 м) фиксировали температуру почвы. Установку камеры на почвах, занятых пропашными культурами осуществляли между растениями в рядах, в лесополосе – между деревьями. Перед началом измерений на почвах с культурами сплошного посева и кормовых угодьях растения срезали.

В ходе лабораторного анализа почв были использованы общепринятые методики. В почвенных образцах определяли: влажность почвы (ГОСТ 28268–89), азот – по Корнфилду (ГОСТ 26489–85), фосфор и калий – по Кирсанову (ГОСТ 26204–91, 26205–91), гумус – по Тюрину (ГОСТ 26213–91), сумму поглощенных оснований (ГОСТ 27821–88), гидролитическую кислотность (ГОСТ 26212–91), рН солевой (ГОСТ 26483–85), зольность (ГОСТ 27784–88).

Расчет ИДП ( $E_{\text{CO}_2}$ ) проводили по формулам (система SI) [17, 18]:

1) если  $\alpha \leq 0$

$$E_{\text{CO}_2} = \mu_{\text{CO}_2} \frac{h - h_z}{Rt} \left( \frac{P_2}{T_2} C_{2ppm} - \frac{P_1}{T_1} C_{1ppm} \right); \quad (1)$$

2) если  $\alpha > 0$

$$E_{\text{CO}_2} = \mu_{\text{CO}_2} \frac{(h - h_z)P_1}{RtT_1} (C_{2ppm} - C_{1ppm}); \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} - 1, \quad (3)$$

где  $E_{\text{CO}_2}$  – молярная масса  $\text{CO}_2$ ;  $h$  – высота камеры, м;  $h_z$  – глубина погружения камеры в почву, м;  $R$  – молярная газовая постоянная;  $t$  – время экспозиции, с;  $P_1, P_2$  – атмосферное давление в камере в начале и в конце экспозиции, Па;  $T_1, T_2$  – температура в камере в начале и в конце экспозиции, К;  $C_1, C_2$  – начальная и конечная концентрации  $\text{CO}_2$  в камере;  $\alpha$  – коэффициент изменения объема газовой смеси внутри камеры в течение экспозиции.

Расчет абсолютной и относительной погрешностей  $E_{\text{CO}_2}$ . Относительная погрешность  $\varepsilon$  определения интенсивности эмиссии почвой диоксида углерода (карбона)  $E_{\text{CO}_2}$  состоит из ошибок, в зависимости от источников их возникновения и определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \mu_{\text{CO}_2}}{\mu_{\text{CO}_2}} + \frac{\Delta P}{P} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta h + \Delta h_z}{h - h_z} + \frac{\Delta C_{2ppm} + \Delta C_{1ppm}}{C_{2ppm} - C_{1ppm}}, \quad (4)$$

где составляющими приведенной формулы являются погрешности, которые образовались в результате учета величин:

$$\frac{\Delta\mu_{\text{CO}_2}}{\mu_{\text{CO}_2}} - \text{молярная масса CO}_2;$$

$$\frac{\Delta P}{P} - \text{атмосферное давление в камере};$$

$$\frac{\Delta R}{R} - \text{молярная газовая постоянная};$$

$$\frac{\Delta T}{T} - \text{температура воздушной смеси в камере};$$

$$\frac{\Delta t}{t} - \text{время экспозиции};$$

$$\frac{\Delta h + \Delta h_z}{h - h_z} - \text{высота прибора и глубина его погружения в почву};$$

$$\frac{\Delta C_{2ppm} + \Delta C_{1ppm}}{C_{2ppm} - C_{1ppm}} - \text{концентрация диоксида углерода, измеренная газоанализатором и точность измерений прибора в конкретном диапазоне.}$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из приведенных данных, величина ИДП у почв Левобережного Полесья в 2013 г. существенно отличается в зависимости от типа почвы, вида угодья, интенсивности его использования и сельскохозяйственной культуры (табл. 1).

Таблица 1

**Интенсивность эмиссии CO<sub>2</sub>, (ИДП) из почв, E<sub>CO<sub>2</sub></sub>, 06.08–10.08.2013 г.,  
время экспозиции 10 мин**

№ п/п	Название почвы	Угодье, сельскохозяйственная культура, интенсивность использования	E <sub>CO<sub>2</sub></sub> , кг/га/ч
1	Дерново-среднеподзолистая связно-песчаная почва на древнем аллювии	пашня, рапс, низкая	1,130 ± 0,633
2		пашня, кукуруза, высокая	1,622 ± 0,434
3		пашня, подсолнечник, высокая	2,168 ± 0,620
4	Светло-серая оподзоленная супесчаная почва на лессовидных отложениях	пашня, кукуруза, высокая	1,861 ± 0,478
5	Серая оподзоленная песчанисто-легкосуглинистая почва на лессовидных отложениях	пашня, подсолнечник, высокая	3,848 ± 0,687
6	Луговая глеевая крупнопылевато-легкосуглинистая почва на современном аллювии, осушенная, пойма р. Десна	пашня, люцерна, 3-го г. в., низкая	3,939 ± 0,815
7		сенокос закустаренный, злаковое разнотравье, низкая	4,580 ± 0,839
8		пастбище, злаковое разнотравье, низкая	5,385 ± 0,876

№ п/п	Название почвы	Угодье, сельскохозяйственная культура, интенсивность использования	$E_{CO_2}$ , кг/га/ч
9	Торфянисто-болотная хорошо разложившаяся почва на современном аллювии, подстилается з глубины 0,2–0,5 м, осушенная, пойма р. Десна	болото осушенное, осоково-тростниковый торф	13,955 ± 1,318

Установлено, что диапазон значений интенсивности эмиссии  $CO_2$  почвами является достаточно широким и составляет от 1,130 кг/га/ч – у дерново-подзолистой связно-песчаной почвы на древнем аллювии до 13,955 кг/га/ч – у торфянисто-болотной хорошо разложившейся почвы на современном аллювии.

Выявлено, что для дерново-подзолистых и оподзоленных почв характерно существенное варьирование величины ИДП в зависимости от сельскохозяйственной культуры, способа и интенсивности их использования, а также влияния комплекса абиотических факторов и почвенных условий (от 1,130 до 3,848 кг/га/ч).

Особенно рельефно установленная зависимость прослеживается на дерново-подзолистой связно-песчаной почве. Величина ИДП в зависимости от культуры и интенсивности использования угодья, изменяет свои значения в два раза. Установлено, что в целом скорость продуцирования  $CO_2$  пойменными мелиорированными почвами, которые используют в качестве кормовых угодий, в сравнении с дерново-подзолистыми и оподзоленными пахотными почвами, значительно выше (см. табл. 1).

Это связано с тем, что на указанных почвах условия для секвестрации и продуцирования  $CO_2$  в атмосферу являются более благоприятными, благодаря относительно уменьшению за последние десятилетия механической нагрузки на почвы и, как следствие, замедлению процессов минерализации органического вещества. Учитывая установленную закономерность, следует констатировать, что пойменные почвы Левобережного Полесья Украины являются не только мощным балансово-образующим звеном круговорота углерода биосферы, а также имеют значительный потенциал относительно возможности их использования в качестве действенного регулятора концентрации  $CO_2$  в атмосфере. В этом случае их экологически стабилизирующую роль тяжело переоценить.

На угодьях со злаковым разнотравьем, в сравнении с посевами многолетних трав, эмиссия  $C-CO_2$  является прогнозируемо более высокой, что обусловлено биологическими различиями растений, в первую очередь особенностями строения корневой системы. Учитывая непосредственное влияние основных биологических особенностей на формирование агрофизических характеристик почвы, в первую очередь, плотность сложения и, как следствие, соответствующей спецификой прохождения процесса газообмена, характер почвенного дыхания существенно отличается.

Установлено, что в 2014 г. на момент исследований интенсивность прохождения эмиссии в почвах происходила с подобной для 2013 г. закономерностью. Однако, учитывая неравнозначные условия, возникшие в результате влияния абиотических факторов, наблюдались различия и в характере ее протекания (табл. 2).

Как видно из приведенных данных, разница между величинами эмиссии у дерново-подзолистой и светло-серой почв, а также луговой глеевой крупнопылевато-легкосуглинистой почвы заметно меньше, чем это было в 2013 г. (табл. 1, 2). По-нашему мнению, более узкий диапазон ИДП характерный для вегетационного периода 2014 г., является следствием неодинаковых температурного и водного режимов для почв и растений агроценоза, количества осадков и равномерности их распределения в границах вегетационного периода в сравнении с 2013 г.

Таблица 2

**Интенсивность эмиссии CO<sub>2</sub>, (ИДП) из почв, E<sub>CO<sub>2</sub></sub>, 23.08.–24.08.2014 г.,  
время экспозиции 30 мин**

№ з/п	Название почв	Угодье, сельскохозяйственная культура, интенсивность использования	E <sub>CO<sub>2</sub></sub> , кг/га/ч	ΔE <sub>CO<sub>2</sub></sub> , %
1	Дерново-подзолистая связно-песчаная почва на древнем аллювии	пашня, стерня пшеницы озимой	2,78±0,35	12,5
2		пашня, кукуруза, интенсивная	2,52±0,35	14,0
3		полезащитная лесополоса, сосна обычная с подлеском	3,42±0,41	11,9
4	Светло-серая оподзоленная супесчаная почва на лессовидных отложениях	пашня, кукуруза, интенсивная	3,18±0,37	11,7
5	Луговая глеевая крупнопылевато-легкосуглинистая почва на современном аллювии, осушенная, пойма р. Десна	сенокос закустаренный, злаковое разнотравье, экстенсивная	3,40±0,40	11,8
6	Торфянисто-болотная хорошо разложившаяся почва на современном аллювии, подстиляется с глубины 0,2–0,5 м, осушенная, пойма р. Десна	болото осушенное, осоково-тростниковый торф	6,76±0,58	8,6

Указанная особенность в 2014 г. обусловила худший режим увлажнения почв с соответствующим характером формирования наземной и корневой массы растений, биологической активностью и другими эмиссионно-образующими факторами. В целом изменение режима увлажнения почв в период исследований стало основной причиной различных объемов корневого и микробного дыхания в общем значении ИДП.

Установлено наличие тесной связи между ИДП и другими показателями почвы: зольностью ( $r = -0,87$ ), суммой поглощенных оснований ( $r = 0,75$ ), содержанием гумуса ( $r = 0,69$ ) и почвенной влажностью ( $r = 0,82$ ), что свидетельствует об интегрирующей, и в известной степени идентифицирующей роли показателя ИДП для диагностики основных почвенных режимов.

В ходе выявления характера связи между ИДП и наиболее значимыми показателями свойств почв в 2013 г., установлено полиномиальная и экспоненциальная зависимости (с суммой поглощенных оснований) (рис. 1).



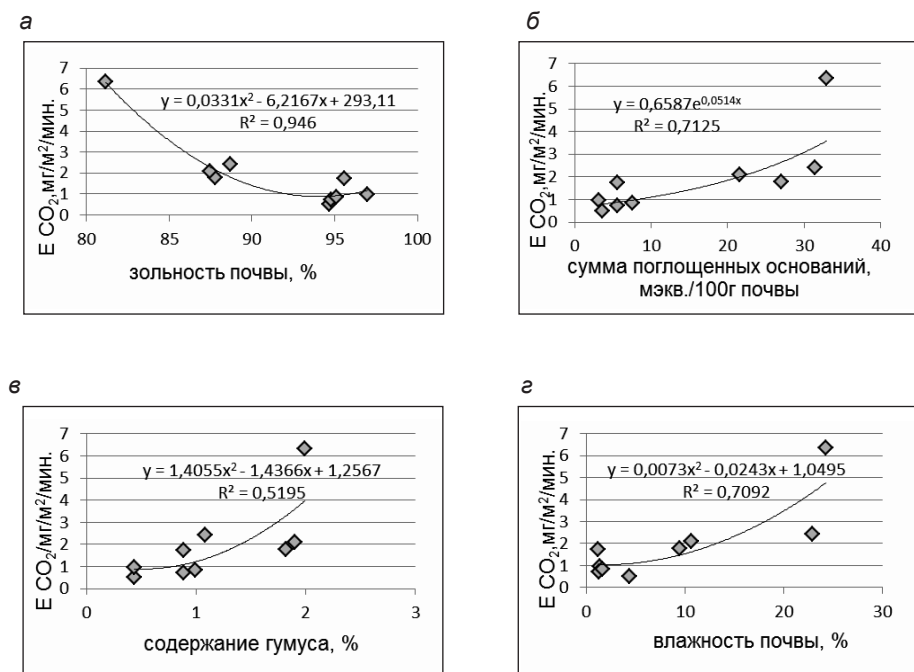


Рис. 1. Связь ИДП с зольностью (а), суммой поглощенных оснований (б), содержанием гумуса (в), влажностью почвы (г)

Значительно более тесная связь ИДП с зольностью почв по сравнению с содержанием гумуса свидетельствует о том, что величина и скорость диссипации CO<sub>2</sub> в значительной степени обусловлены жизнедеятельностью всех компонентов почвы на момент проведения исследований – функционированием микроорганизмов, а также деятельностью растительной корневой массы, которые собственно и определяют значение зольности почв. При этом показатель содержания гумуса в почвах в данном случае, в основном, косвенно отображает их потенциальную способность накапливать и резервировать органическое вещество.

Отсутствие корреляционной связи ИДП с температурой почвы в 2013 г., является следствием незначительного количества осадков в вегетационный период растений. Следует констатировать, что выявление указанной закономерности дает не всегда ожидаемый результат. Так по данным Ларионовой А.А. и др. (2001), за вегетационный период (май–август) влияние температуры на ИДП во время определения интенсивности дыхания агроценоза и лугов оказался недостоверным [6]. А наблюдениями Freiziene D. и Kadziene G. (2008) доказано, что в условиях низкой влажности почв интенсивность диссипации CO<sub>2</sub> практически не зависит от колебаний температуры [8]. Поэтому, учитывая низкую влажность почв в 2013 г., факт отсутствия достоверной связи между ИДП и температурой почв следует считать закономерным.

Исходя из формулы для вычисления погрешностей, в зависимости от источников их возникновения (4), установлено, что наиболее значимой по величине является комплексная погрешность, которая образуется в результате несовер-

шенства прибора и оборудования, а также значение  $\Delta C_{CO_2} \left( \frac{\Delta C_{2ppm} + \Delta C_{1ppm}}{C_{2ppm} - C_{1ppm}} \right)$  и составляет от 60,6 до 93,4% от общей величины погрешности (рис. 2).

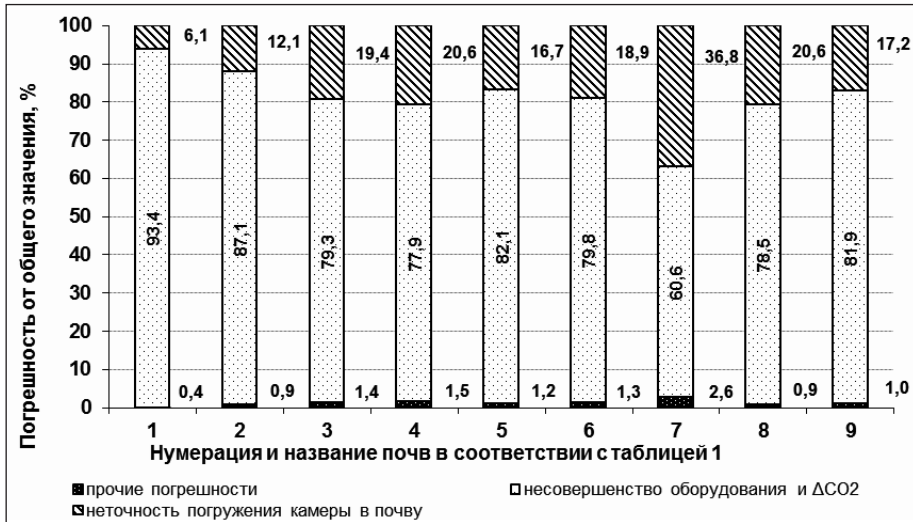


Рис. 2. Структура погрешностей измерения величины ИДП в зависимости от источников их формирования

Достаточно значительной является системная ошибка, которая возникает вследствие неточности погружения в почву изолирующей камеры. При условии соблюдения требуемой точности погружения камеры в почву, а именно (до 0,01 м), на ее долю, в зависимости от типа почвы и величины ИДП приходится от 6,1% до 36,8% значения общей погрешности. Причем цена данной ошибки возрастает, пропорционально величине интенсивности эмиссии диоксида углерода из почвы (рис. 2). Прочие погрешности при такой непродолжительной экспозиции (когда  $\alpha = 0$ ) являются несущественными и в сумме составляют не более 2% значения самой погрешности. Установлено, что величина погрешности однократного измерения эмиссии  $CO_2$  при увеличении времени экспозиции с 10 до 30 минут, уменьшают свои значения в среднем на 51,6%. В случае же более длительной экспозиции и учета конечных значений атмосферного давления и температуры внутри камеры, вес погрешностей, которые возникают вследствие изменения указанных параметров, будет более ощутим.

## ВЫВОДЫ

Установлено, что в 2013 г. величина ИДП основных почв Левобережного Полесья Украины изменяла свои значения в широком диапазоне в зависимости от типа почвы, вида угодья, сельскохозяйственной культуры и интенсивности использования в интервале от  $1,130 \pm 0,633$  до  $13,955 \pm 1,318$  кг/га/ч. В условиях дефицита влаги в 2014 г. диапазон величин ИДП заметно сужался и составил от  $2,78 \pm 0,35$  до  $6,76 \pm 0,58$  кг/га/ч.

Обнаружена тесная корреляционная связь между величиной ИДП и значениями зольности почв ( $r = -0,87$ ), почвенной влажностью ( $r = 0,82$ ), суммой поглощенных оснований ( $r = 0,75$ ), содержанием гумуса ( $r = 0,69$ ).

Установлено, что при определении интенсивности дыхания почв Полесья наиболее значимой по величине является комплексная погрешность, которая образуется в результате несовершенства прибора и оборудования, а также величины  $\Delta\text{CO}_2$  (разница конечной и начальной концентрации внутри камеры). Суммарная величина этих погрешностей составляет от 60,6 до 93,4% от общего значения погрешности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Baker, J.M.* Tillage and soil carbon sequestration – what do we really know? / J.M. Baker, T.E. Oshsner, R.T. Venterea, J.T. Griffis // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2007. – Vol. 118. – P. 1–5.
2. *Кобак, К.Ч.* Биотехнические компоненты углеродного цикла / К.Ч. Кобак. – Л.: Гидрометеоиздат, 1998. – 248 с.
3. *Franzluebbers, A.J.* Tillage and crop effects of seasonal dynamics of soil  $\text{CO}_2$  evolution, water content, temperature and bulk density / A.J. Franzluebbers, F.M. Hons, D.A. Zuberer // *Applied: Soil Ecology*. – 1995. – Vol. 2. – P. 95–109.
4. *Курганова, И.Н.* Оценка потоков диоксида углерода из почв таежной зоны России / И.Н. Курганова, В.Н. Кудеяров // *Почвоведение*. – 1998. – № 9. – С. 1058–1070.
5. *Ларионова, А.А.* Динамика газообмена в профиле серой лесной почвы / А.А. Ларионова, Л.Н. Розанова, Т.И. Самойлов // *Почвоведение*. – 1988. – № 11. – С. 68–74.
6. Годовая эмиссия  $\text{CO}_2$  из серых лесных почв южного Подмоскovie / А.А. Ларионова [и др.] // *Почвоведение*. – 2001. – № 1. – С. 72–80.
7. *Макаров, Б.Н.* Газовый режим почвы / Б.Н. Макаров. – М.: Агропромиздат, 1988. – 105 с.
8. *Freiziene, D.* The influence of soil organic carbon, moisture and temperature on soil surface  $\text{CO}_2$  emission in the 10<sup>th</sup> year of different tillage-fertilization management / D. Freiziene, G. Kadziene // *Zemdirbyste-Agriculture*. – Vol. 95. – № 4 (2008). – P. 29–45.
9. *Lal R. Kimble, J.M.* Conservation tillage for carbon sequestration / J.M. Lal R. Kimble // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. – 1997 – Vol. 49. – P. 243–253.
10. *Reicosky, D.C.* Fall tillage method: effect on short-term carbon dioxide flux from soil / D.C. Reicosky, M.I. Lindstrom // *Agronomy journal*. – 1993. – Vol. 85. – P. 1237–1243.
11. *Lopes de Gerenyu, V.O.* Effect of soil temperature and moisture on  $\text{CO}_2$  evolution rate of cultivated Phaeozem: analysis of a long-term field experiment / V.O. Lopes de Gerenyu, I. N. Kurganova, L.N. Rozanova, V.N. Kudeyarov // *Plant, Soil and Environment*. – 2005. – Vol. 51(5). – P. 213–219.
12. *Raich, J.W.* Intrannual variability in global soil respiration / J.W. Raich, C.S. Potter, D. Bhagavatti // *Global Change Biology*. – 2002. – Vol. 8. – P. 800–812.
13. *Kudeyarov, V.N.* Carbon dioxide emissions and net primary production of Russian terrestrial ecosystems / V.N. Kudeyarov, I.N. Kurganova // *Biology and Fertility of Soils*. – 1998. – Vol. 27. – P. 246–250.

14. Федоров–Давыдов, Д. Г. Дыхательная активность тундровых биоценозов и почв Колымской низменности / Д.Г. Федоров–Давыдов // Почвоведение. – 1998. – № 3. – С. 291–301.

15. Rustad, L.E. Controls on soil respiration: implication for climate change / L.E. Rustad, T.G. Huntington, R.D. Boone // Biogeochemistry. – 2000. – Vol. 48. – P. 1–6.

16. Паников, Н.С. Биологическая продуктивность систематически удобряемого сенокосного луга на аллювиальной луговой почве / Н.С. Паников, Г.А. Соловьев, В.Д. Афремова // Вестник Моск. ун-та. Сер. Почвоведение. – 1989. – № 1. – С. 58–66.

17. Спосіб визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту: пат. 98998 Україна, МПК G01F 1/76 (2006/01) / П.І. Трофименко, Ф.І. Борисов; заявник і патентовласник Житомирський національний агроекологічний університет. – № у 2014 13566; заявл. 17.12.2014; опубл. 12.05.2015 // Бюл. № 9.

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

## SOIL RESPIRATION INTENSITY OF THE LEFT-BANK POLISSYA UNDER THE CONDITIONS OF AGROCENOSIS

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

### Summary

The problems related to determining soil respiration intensity (SRI) of the Left-bank Polissya of Ukraine, as well as to establishing the regularities of the formation and stipulation of emission losses of organic carbon by soils under the conditions of the agrocenosis are presented.

The original technique used in the paper makes it possible to not only determine the values of CO<sub>2</sub> emission from soils, but to calculate the values of errors that appear in the process of measurements.

The research results prove that in 2013 the values of SRI from the basic soils of the Left-bank Polissya of Ukraine varied considerably depending on the soil type, land type, farm crop and respiration intensity. It has been revealed that in the period of the investigation SRI in the soddy mid-podzolic gley sandy soil on the ancient alluvium amounted to 1,130±0,633 kg/ha/h, whereas in the peaty bog well-degraded soil on the recent alluvium it amounted to 13,955±1,318 kg/ha/h.

It has been established that in 2014 under the conditions of moisture deficiency the range of SRI values in the above soil types narrowed down considerably, thus amounting to 2,78±0,35 and 6,76±0,58 kg/ha/h respectively.

It has been revealed that an integrated error which proves most significant as to its value appears due to the imperfection of the device and the equipment, as well as due to ΔCO<sub>2</sub> value (the difference between the finite and the initial concentration in the chamber). The total value of the errors ranges from 60,6 to 93,4% of the error total value.

Поступила 09.09.2015

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМА ОПОДЗОЛЕННОГО В УСЛОВИЯХ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ И ОВОЩНОГО СЕВООБОРОТА ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ

Ю.А. Афанасьев

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

### ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в Украине для орошения сельскохозяйственных культур широко используют капельный способ полива. При капельном орошении, которое характеризуется локальным характером увлажнения почвы, формируется достаточно сложный характер движения влаги с растворенными в ней солями и питательными веществами [1–4].

По сравнению с традиционными способами полива (дождеванием, поверхностным поливом) капельное орошение имеет ряд преимуществ:

- экономия поливной воды (от 50% до 5-кратной), электроэнергии (50–70%) и удобрений (30–50%). Эффективность водопотребления растениями достигает 90–98%, так как вода поступает непосредственно к корневой системе;
- обеспечение необходимых объемов водоподачи и удобрений в соответствии с физиологическими потребностями растений на основе создания оптимального водного и питательного режимов почвы, что, в свою очередь, обеспечивает существенное (от 30% до 5-кратного) увеличение урожайности сельскохозяйственных культур при улучшении качества продукции;
- высокий уровень механизации и автоматизации технологических процессов (полив, внесение удобрений, химических мелиорантов, средств защиты растений) и на этой основе высокая степень контроля экологических нагрузок на окружающую среду;
- сокращение применения средств защиты растений, поскольку существенно уменьшается засоренность (земля между поливными лентами остается сухой) и поражения растений грибными и бактериальными болезнями;
- возможность использования слабоминерализованных вод, которые являются непригодными для полива другими способами орошения;
- отсутствие поверхностного стока, который исключает эрозию почв и поднятия грунтовых вод;
- возможность освоения земель склонов со сложным рельефом (с уклоном до 30°), а также малопригодных (маломощных, песчаных, супесчаных, рекультивированных) земель [1, 3, 5].

Важным элементом технологии выращивания сельскохозяйственных культур с применением капельного орошения является рациональная схема посева (высадки), определение характера размещения растений, площади их питания, параметров оптимальной густоты, уровня технологичности в процессе ухода за

растениями и т.п., которые напрямую зависят от почвенно-экологических свойств. Однако, для условий Левобережной Лесостепи Украины на сегодняшний день не существует научно обоснованных рекомендаций по выращиванию овощных культур при капельном орошении, которые учитывают весь спектр влияния данного способа влагообеспечения на почвенно-экологическое состояние земель [6–9].

Опыт применения систем капельного орошения, а также литературные источники, свидетельствуют, что в некоторых случаях могут наблюдаться тенденции накопления водорастворимых солей, изменения состава поглощающего комплекса, то есть развитие процессов засоления и осолонцевания почвы, скорость и направление которых зависят от количественных и качественных показателей оросительной воды, режима орошения, количества выпадения осенне-зимних осадков [6, 8]. При этом технические особенности применения систем капельного орошения способствуют появлению пространственно-ограниченных участков локального проявления ирригационных процессов, которые образуются в местах образования контура увлажнения и чередуются с неорошаемыми участками, а в некоторых ситуациях смыкаются между собой.

Цель исследований – оценка состояния чернозема оподзоленного Левобережной Лесостепи Украины при капельном орошении в овощном севообороте.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования выполнялись на Харьковском стационарном опыте института овощеводства и бахчеводства НААН Украины на протяжении вегетационных периодов 2004–2010 гг.

Метеоусловия по годам исследований были неодинаковыми, как благоприятными для нормального роста и развития большинства овощных культур и формирования высокого уровня урожайности (2004, 2005, 2007, 2008 гг.), так и неблагоприятными (2006, 2009, 2010 гг.). Сумма атмосферных осадков за вегетационный период составила: 2004 г. – 276 мм; 2005 г. – 304 мм; 2006 г. – 224 мм; 2007 г. – 283 мм; 2008 г. – 202 мм; 2009 г. – 175 мм; 2010 г. – 259 мм, а сумма температур соответственно 2469 °С, 2515 °С, 2358 °С, 2682 °С, 2392 °С, 2562 °С, 2395 °С. Погодные условия вегетационных периодов 2004–2010 гг. несколько отличались, благодаря чему удалось установить изменения почвенных свойств под влиянием различных режимов капельного орошения и внесения удобрений, а также их совместного действия.

Объектами исследований являются чернозем оподзоленный среднесуглинистый, оросительные и подпочвенные воды, овощные культуры. Почва опытного участка является незасоленной, несолонцеватой, малогумусной. Общее содержание водорастворимых солей в верхнем полуметровом слое составляет 0,05–0,08%, токсичных солей – 0,02–0,05%, рН водный – 6,8–7,5, сумма поглощенных катионов – 20–25 мэкв/100 г почвы, содержание  $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$  от суммы – 1,5–2,3%, содержание гумуса – 2,9–3,4%, подвижных форм фосфора и калия – 88–105 и 67–87 мг/кг почвы соответственно. Плотность сложения пахотного слоя – 1,3–1,35 г/см<sup>3</sup>, НВ – 23% в пахотном слое и 25% в подпахотном и глубже.

Опытный участок представлен 8 полями севооборота площадью 0,75 га каждый. В севооборот включены томаты, лук, морковь, баклажан, огурец, свекла



столовая, а также промежуточные культуры – ячмень с подсевом люцерны, люцерна 2-го года. На каждом из опытных полей (кроме ячменя и люцерны) схема опыта предусматривает три различных режима капельного орошения (90–85% НВ, 80–75% НВ, 70–65 % НВ) в сочетании с удобрением вразброс, локально и без удобрения (9 вариантов), неорошаемые варианты внесения удобрений (2 варианта), а также абсолютный контроль. Дозы удобрений рассчитывались индивидуально для каждой из выращиваемых культур [14]. Площадь опытной делянки – 0,04 га, учетной делянки – 37,2 м<sup>2</sup>.

Отбор почвенных образцов для определения агрохимических, физико-химических, агрофизических свойств проводился в 2 срока на стационарных площадках в период сева и уборки урожая овощных культур в соответствии с требованиями к отбору образцов почвы [12]. Для учета дифференцированного влияния образовавшегося при капельном орошении контура увлажнения отбор на орошаемых вариантах проводился в точке водовыпуска, в ряду культур, на границе контура увлажнения, в неорошаемом междурядье по глубинам 0–25, 25–50, 50–75 и 75–100 см в 3-кратной повторности на каждом из вариантов.

В отобранных почвенных образцах определяли солевой состав методом водной вытяжки (ГОСТ 26424–ГОСТ26428); обменно-поглощенные катионы – методом Шолленбергера в модификации ННЦ ИПА имени А.Н. Соколовского [13]; азот нитратный и аммонийный (ДСТУ 4729) [12]; подвижные формы фосфора и калия – методом Чирикова (ДСТУ 4115) [12]; содержание органического вещества почвы – методом И.В. Тюрина (ДСТУ 4289) [12]; структурно-агрегатный состав почв – методом Савинова (ДСТУ 4744) [12]; плотность сложения – методом режущего кольца по Качинскому [13].

Для орошения используется пресная поливная вода из р. Мжа, которая является пригодной (класс) по агрономическим и экологическим критериям [10]. По солевому составу оросительная вода хлоридно-гидрокарбонатная магниевое-кальциевая, рН 7,8–8,0, минерализация 0,7–0,8 г/дм<sup>3</sup>, пригодна для орошения по всем агрономическим критериям (кроме опасности ощелачивания в жаркие периоды года – существует опасность подщелачивания почвы до слабого уровня). Грунтовые воды имеют нейтральную реакцию (рН 7,0–7,3), минерализацию – 0,8–1,0 г/дм<sup>3</sup>, сульфатно-гидрокарбонатный магниевое-кальциевый солевой состав [10].

Контроль температурного режима проводили путем измерения температуры почвы по слоям 0–5 и 5–10 см термометром электрическим транзисторным типа ТЕТ–2 под поливной лентой, в ряду культур и междурядье в 5-кратной повторности на каждом варианте в течение суток через каждые 3 часа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Контроль уровней залегания грунтовых вод (УГВ) проводился ежемесячно в течение вегетационного периода в двух стационарных скважинах, расположенных в высшей и низшей точках опытного участка. За период исследований установлено, что УГВ в апреле-мае находится на отметке от 3,1–3,2 м в самой высокой точке до 2,5–2,6 м в самой низкой. Летние месяцы характеризуются постепенным снижением УГВ до предела 3,7–3,8 м и 3,1–3,2 м соответственно. В осенний срок



наблюдения УГВ имеет некоторую тенденцию подъема до 3,4–3,5 м и 2,8–2,9 м соответственно. В целом по опытному участку перепад УГВ между высшей и низшей точками наблюдения составляет 0,55–0,65 м независимо от срока наблюдения. За вегетационный период, в течение которого проводились поливы капельным орошением, влияния последних на УГВ не выявлено, что связано с соблюдением поливных норм для поддержания влажности в расчетном слое почвы и недопущением инфильтрационных потерь влаги.

Солевой режим почвы при капельном орошении характеризуется тенденцией выщелачивания в течение вегетационного периода водорастворимых солей за пределы верхнего полуметрового слоя под воздействием атмосферных осадков и поливов пресной водой (1-й класс качества), а также некоторого их накопления в пахотном и подпахотном слоях междурядий по сравнению с зоной оросительной ленты и рядке культур. Основные солевые характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Солевые характеристики чернозема опідзоленого среднесуглинистого**

Способорошения	Глубина слоя, см	Срок наблюдения <sup>1</sup>	CaCO <sub>3</sub> , %	Общие соли, %	Токсичные соли, %	pH	Ca/Na	%Na + K от суммы поглощенных катионов	
Без орошения	0–25	1	0,40	0,04	0,02	7,10	1,6	3,4	
		2	0,32	0,03	0,02	7,20	1,0	3,0	
	25–50	1	0,40	0,03	0,02	7,25	1,4	2,2	
		2	0,48	0,04	0,03	7,15	1,1	2,6	
Капельное орошение, режим 80–75% НВ	0–25	1	водовыпуск	0,57	0,04	0,02	7,00	1,2	3,3
			рядок	0,48	0,03	0,01	7,00	2,9	2,7
			междурядье	0,48	0,04	0,01	7,00	3,1	3,1
		2	водовыпуск	0,32	0,04	0,03	7,30	1,0	2,9
			рядок	0,32	0,03	0,02	7,20	1,2	2,4
			граница контура	0,16	0,05	0,02	7,05	1,3	2,5
	25–50	1	междурядье	0,48	0,03	0,01	7,20	2,0	3,0
			водовыпуск	0,73	0,02	0,01	6,90	1,7	2,8
			рядок	0,48	0,03	0,01	7,00	2,4	2,8
		2	междурядье	0,65	0,03	0,01	7,00	2,0	3,1
			водовыпуск	1,15	0,04	0,02	7,15	1,5	2,2
			рядок	2,18	0,03	0,01	7,15	2,3	1,9
		граница контура	1,37	0,05	0,02	7,05	1,7	2,1	
		междурядье	1,37	0,04	0,01	7,20	2,9	2,5	

Примечание. <sup>1</sup> 1 – май, 2 – сентябрь.

Так, данные таблицы 1 показывают, что в пределах зоны влияния контура увлажнения, рядке культур и неорошаемом междурядье реакция почвенного раствора является нейтральной или слабощелочной (pH 6,9–7,3), содержание водо-

растворимых солей до начала поливов колеблется в пределах 0,02–0,03%, в том числе токсичных солей – 0,01–0,03%. В поствегетационный период наблюдается некоторое повышение содержания водорастворимых солей в 0,03–0,05% в пределах образованного контура увлажнения с тенденцией к локализации последних на его внешней границе. В неорошаемых междурядьях подобные изменения малозаметны и не являются существенными. К началу следующего вегетационного сезона вышеупомянутые изменения полностью нивелируются за счет осенне-зимних осадков. В качественном составе водорастворимых солей под влиянием орошения прослеживается тенденция сужения соотношения Ca:Na за счет водорастворимого натрия в осенний срок наблюдения, однако, в течение осенне-зимнего периода этот показатель восстанавливается до исходного уровня (сезонно-пульсационный режим).

Уровень солонцеватости пахотного и подпахотного слоев почвы в целом по опыту ниже слабого, но в некоторых случаях достигает предела слабого уровня (отдельные сроки и глубины на орошении). На удобренных фонах имеет место повышенное содержание  $K^+$  в ППК, что вызвано не столько влиянием орошения, а преимущественно внесением минеральных удобрений. Различия между режимами капельного орошения по этим показателям незначительны.

Наблюдение за динамикой питательного режима проводилось в начале и в конце вегетационного периода, а также по основным фазам развития овощных культур (табл. 2).

Таблица 2

**Агрохимические характеристики чернозема оподзоленного среднесуглинистого**

Способ орошения	Глубина слоя, см	Срок наблюдения <sup>1</sup>	Гумус общий, %	Содержание, мг/кг почвы				
				N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Без орошения	0–25	1	3,3	5,4	11,9	124	77	
		2	3,1	10,0	11,2	95	69	
	25–50	1	2,9	8,2	8,9	104	66	
		2	3,0	6,4	3,2	57	74	
Капельное орошение, режим 80–75% НВ	0–25	1	водовыпуск	3,1	12,1	22,1	175	102
			рядок	3,4	7,7	20,5	157	144
			междурядье	2,9	5,2	27,5	175	107
		2	водовыпуск	3,1	0,9	6,5	167	86
			рядок	3,1	0,8	5,2	172	104
			граница контура	3,1	2,2	7,0	152	75
	25–50	1	междурядье	3,1	1,7	4,7	172	117
			водовыпуск	3,1	7,5	17,4	100	78
			рядок	2,8	8,0	6,0	77	69
		2	междурядье	3,4	5,7	8,2	57	69
			водовыпуск	2,8	2,3	6,6	115	67
			рядок	2,9	1,7	6,0	132	67
			граница контура	3,4	1,3	9,2	131	75
			междурядье	2,9	0,6	9,6	119	65

Примечание. <sup>1</sup> 1 – май, 2 – сентябрь.

Содержание нитратных и аммиачных форм азота в вариантах капельного орошения характеризуется тенденцией пространственного перераспределения в течение вегетационного периода под влиянием пульсационного режима, образовавшейся зоны увлажнения с локализацией в междурядьях в осенний срок. Содержание подвижных форм фосфора является оптимальным в варианте капельного орошения в сочетании с локальным внесением удобрений, где наблюдается повышенный уровень. Динамика подвижных форм калия аналогичная динамике фосфора, однако, тенденции повышенного содержания при локальном внесении почти отсутствуют. Закономерности изменения содержания гумуса по вариантам опыта и срокам наблюдения не установлены.

Наблюдение за водным режимом опытных участков проводилось с использованием тензиометричного и термостатно-весового методов. К началу полива пространственное распределение влаги на варианте капельного орошения с поддержанием влажности на уровне 80–75% НВ в слое 0–40 см достаточно равномерным в горизонтальном направлении (водовыпуск–рядок культур–граница контура увлажнения). Однако, в зоне междурядья (0–40 см), которое не подвергается воздействию капельного орошения, влажность почти постоянно остается на уровне 55–60% НВ, что является критическим показателем, кроме периодов воздействия природных осадков. В вертикальном направлении влажность увеличивается с глубиной на всех контрольных точках капельного орошения без исключения от 80–75% НВ (на некоторых вариантах 70–65% НВ) в поверхностном слое до устойчивых 90–85% НВ на глубине 90–100 см. Поскольку уровень влажности почвы в нижних слоях является достаточно стабильным, возможной причиной этого является капиллярный подъем грунтовых вод.

Неорошаемые варианты опыта (абсолютный контроль, NPK взброс, NPK локально) имеют одинаковые характеристики по показателю влажности. В зоне рядка культур поверхностные слои имеют 70–60% НВ, в зоне междурядья – 60–50% НВ. В вертикальном направлении наблюдается постепенное увеличение влажности до 85–80% НВ на глубинах 0,8–1,0 м (рис.).

После проведения полива капельным орошением влажность в течение следующих 3–4 часов в зоне ленты и рядка культур остается на уровне 100–95% НВ, а на границе контура увлажнения в слое 0–10 см – на уровне 70–65% НВ. Однако слои 20–50 см приобретают влажность близкую к максимальной, что объясняется некоторым горизонтальным растеканием. Влияние полива на зону междурядья является незначительным, однако на некоторых вариантах с расчетным слоем увлажнения 60 см наблюдается некоторое повышение влажности на глубинах 30–60 см.

Под влиянием капельного орошения содержание агрономически ценных воздушно-сухих агрегатов размером 0,25–10 мм и 1–3 мм в слое почвы 0–15 см по сравнению с неорошаемых контролем увеличивается в зоне поливной ленты, то есть в месте непосредственного контакта воды с грунтом (рост коэффициента структурности на 1,6 по сравнению с неорошаемых контролем) (табл. 3).

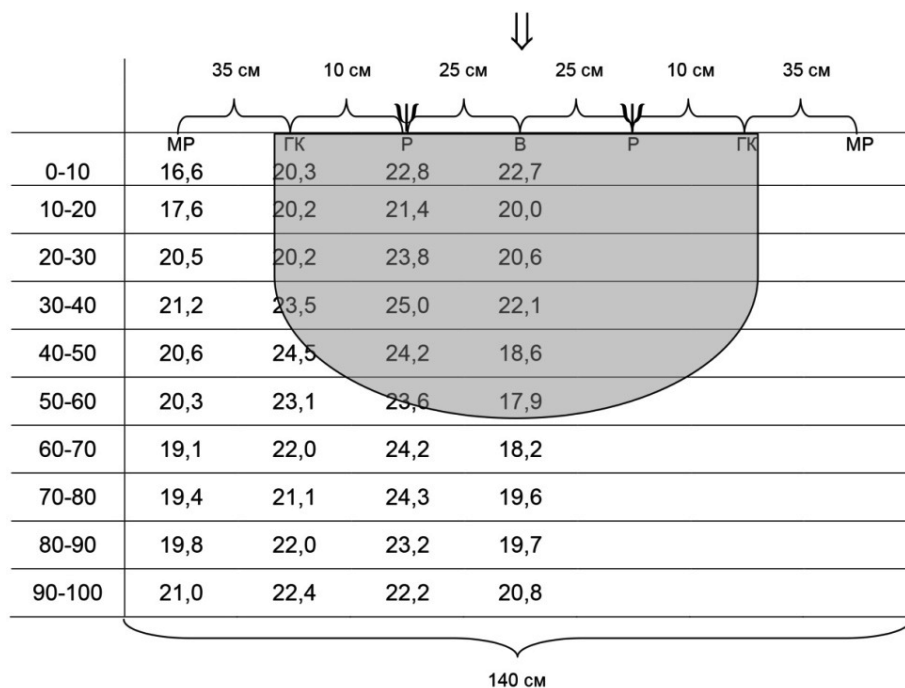


Рис. Пространственное распределение влаги при капельном орошении (режим 80–75% НВ)

Таблица 3

**Структурно–агрегатный состав чернозема оподзоленного (Режим 80–75% НВ + НРК локально)**

Контрольная точка	Глубина, см	Содержание агрономически ценных воздушно-сухих агрегатов размером, мм, %		Коэффициент структурности, $K_c$	Коэффициент водоустойчивости, $K_b$
		0,25–10	1–3		
Без орошения	0–15	72,56	25,27	2,64	0,10
Капельное, водовыпуск		80,26	33,96	4,25	0,10
Капельное, рядок		74,21	28,08	2,98	0,11
Капельное, междурядье		64,88	24,28	1,93	0,10
Без орошения	15–30	72,45	22,67	2,64	0,11
Капельное, водовыпуск		78,65	26,86	3,91	0,14
Капельное, рядок		79,20	29,05	3,92	0,12
Капельное, междурядье		54,57	13,91	1,22	0,10
Без орошения	30–45	72,14	20,85	2,66	0,14
Капельное, водовыпуск		75,48	25,49	3,17	0,12
Капельное, рядок		70,81	21,69	2,53	0,12
Капельное, междурядье		69,42	23,03	2,28	0,11

В рядке культур это улучшение было незначительным (рост  $K_s$  на 0,3), а в междурядье количество агрономически ценных агрегатов существенно уменьшилось (снижение  $K_s$  на 0,9), что было вызвано, вероятно, влиянием проходов сельскохозяйственной техники. По содержанию воздушно-сухих агрегатов размером 0,25–10 мм исследуемый грунт была не деградированным на неорошаемом контроле, в зонах ленты и рядка культур при капельном орошении, однако наблюдалась слабая степень деградации в неорошаемых междурядьях.

Водостойкость агрегатов по вариантам опыта в слое 0–15 см существенно не отличалась (колебания коэффициента водостойкости ( $K_v$ ) в пределах 0,09–0,11).

В нижней части пахотного слоя (15–30 см) закономерности изменений структурного состояния исследуемого грунта были аналогичными слою 0–15 см, только в зоне междурядья почва достигла средней степени деградации по содержанию агрегатов 0,25–10 мм и коэффициент водостойкости в зоне водовыпуска вырос до 0,14 (больше на 0,03 по сравнению с неорошаемых контролем).

Плотность сложения в слое 0–10 см в вариантах без орошения в начале вегетационного сезона находится на уровне 1,22–1,24 г/см<sup>3</sup>, в зоне водовыпуска, рядка культур и в неорошаемом междурядье при капельном орошении этот показатель находится в аналогичных пределах. При определении данного показателя в конце вегетации установлено, что в вариантах без орошения наблюдается повышение показателя плотности сложения до 1,35–1,37 г/см<sup>3</sup>. В зоне водовыпуска при капельном орошении величины составили 1,26–1,27 г/см<sup>3</sup>, в зоне водовыпуска и на границе контура увлажнения – 1,27–1,28 г/см<sup>3</sup>, и только в неорошаемых междурядьях этот показатель осенью составил 1,33 г/см<sup>3</sup>, что обусловлено проходами сельскохозяйственной техники. На глубинах 10–20 см и 20–30 см наблюдаются аналогичные тенденции весенне-осенних изменений плотности сложения, однако степень их выраженности с глубиной уменьшается. В слое 30–40 см существенные изменения в сезонной динамике отсутствуют, показатель стабилен, составляет 1,30–1,32 г/см<sup>3</sup> в течение всего вегетационного периода и не испытывает существенных изменений в зоне водовыпуска, рядке, на границе контура увлажнения и в междурядье. Многолетним наблюдениям доказано, что к началу нового вегетационного сезона величины данного показателя соответствуют величинам весеннего срока предыдущего года, то есть полностью восстанавливаются до исходных значений.

## ВЫВОДЫ

1. Применение капельного орошения в овощном севообороте при условии поливов оросительными водами высокого качества (1 класс качества по агрономическим и экологическим показателям) не вызывает существенных изменений в солевом составе почв, а также в составе поглощенных оснований. При этом возможны только классификационно несущественные сезонные колебания по этим показателям, которые полностью нивелируются в осенне-зимний сезон под влиянием природных осадков.

2. Динамика питательного режима почв в условиях капельного орошения тесно связана с образовавшимся контуром увлажнения, который способствует

более продуктивному использованию питательных элементов растениями благодаря их более высокой доступности в почвенном растворе. Также при капельном орошении возможно существенное снижение количества вносимых удобрений, поскольку они доставляются непосредственно в корнеобитаемую зону растений путем фертигации.

3. Поддержание постоянного уровня НВ при капельном орошении возможно благодаря более частым поливам низкими оросительными нормами, что способствует существенной экономии ресурсов и оросительной воды на единицу полученной продукции. При этом сформированный контур увлажнения полностью охватывает корнеобитаемый слой овощных культур и обеспечивает постоянное поддержание влажности почвы в пределах 80–75% НВ, что для большинства культур является оптимальным.

4. Варианты локального внесения удобрений на всех режимах капельного орошения показали наивысшую урожайность или близкую к вариантам сплошного внесения удобрений. Поскольку при локальном внесении имеется 50% экономия удобрений, такая схема применения удобрений в овощном севообороте для исследуемого типа почв в условиях капельного орошения может быть рекомендована как оптимальная.

5. Влияние капельного орошения на агрофизические свойства почв при использовании оросительных вод высокого качества носит местный характер и в сравнении с неорошаемым контролем способствует сохранению постоянства структурно-агрегатного состава, а также поддержанию плотности сложения почв на приемлемом для возделываемых культур уровне в корнеобитаемом слое. В неорошаемых междурядьях капельное орошение влияния не имеет, однако там, как и на неорошаемых участках, наблюдается существенное повышение значений плотности сложения, а также некоторое ухудшение структурно-агрегатного состава почв, что связано с механическим влиянием многоходовых проходов сельхозмашин.

6. Сочетание режима влажности 80–75% НВ при капельном орошении и локального внесения удобрений является экономически наиболее оправданным, а также наиболее целесообразным с почвенно-экологических позиций, что дает возможность рекомендовать такое сочетание агротехнических приемов как оптимальное при выращивании овощных культур на черноземах оподзоленных Левобережной Лесостепи Украины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ромашенко, М.І.* Зрошення земель в Україні. Стан та шляхи поліпшення / М.І. Ромашенко, С.А. Балюк. – Київ, 2000. – 112 с.
2. *Рябков, С.В.* Аналіз процесів засолення та осолонцювання ґрунту за краплинного зрошення мінералізованими водами // Меліорація і водного сподарство. – 2004. – Вип. 91. – С. 74–82.
3. *Николаева, С.А.* Изменение структуры черноземов при орошении / С.А. Николаева, Е.М. Самойлова // Орошаемые черноземы. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 150 с.
4. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України / За науковою ред. С.А. Балюка, М.І. Ромашенка, В.А. Сташука. – К.: Аграрна наука, 2009. – С.313–349.

5. *Ромащенко, М.І.* Технології вирощування овочевих культур при краплинному зрошенні в умовах Запорізької області / М.І. Ромащенко, В.М. Корюненко, О.Г. Матвієць. – К., 2003. – 118 с.
6. Інструкція з проведення ґрунтово-сольової зйомки на зрошуваних землях України ВНД 33–5.5–11–02. Державний Комітет України по водному господарству. – К., 2002. – 80 с.
7. *Ромащенко, М.І.* Обоснование методики изучения почвообразовательных процессов в условиях локального увлажнения / М.І. Ромащенко, В.Н. Корюненко, С.Ф. Носыко // Тез. докл. IV съезда почвоведов и агрохимиков Украины. – Харьков, 1994. – С. 134–135.
8. Методика оцінки і прогнозу еколого-меліоративного стану меліорованих земель. Ч 1. Методика оцінки та прогнозу еколого-меліоративного стану і стійкості земель при зрошенні: посібник 2 до ВБН 33–5.5–01–97. – К., 2002. – С. 9–23
9. Рекомендації щодо обстеження еколого-меліоративного стану земель в умовах краплинного зрошення: рекомендації / С.А. Балюк [та ін.]. – Харків, 2012. – 20 с.
10. Зрошення. Якість води для систем краплинного зрошення. Агрохімічні, екологічні та технічні критерії ДСТУ 7591:2014. – [Чинний від 2015–07–01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 14 с. (Національний стандарт України)
11. Спосіб відбору ґрунтових зразків в насадженнях багаторічних культур за умов краплинного зрошення: рекомендації / С.А. Балюк [та ін.] – Харків: Міськдрук, 2013. – 24 с.
12. Перелік основних нормативних документів в галузі ґрунтознавства, агрохімії та охорони ґрунтів / Укладачі: С.А. Балюк, М.Є. Лазебна. – Харків, 2014. – 81 с.
13. Методики визначення складу та властивостей ґрунтів: 2 кн.; за ред. С.А. Балюка. – Харків, 2004. – Кн. 1. – 214 с.
14. Выращивание овощных культур в лесостепи Украины при орошении: метод. указания. – Харьков, 1977. – 40 с.

## **EVALUATION OF PODZOLIC CHERNOZEM UNDER DRIP IRRIGATION AND VEGETABLE CROP ROTATION OF LEFT-BANKFOREST STEPPE OF UKRAINE**

**Yu.A. Afanasyev**

### **Summary**

It is determined regularities changes of salt, nutritious, water regimes, agrophysical, physical and chemical properties of chernozem podzols in the drip irrigation by first class water and different fertilizer systems in crop rotation conditions. Variants of an optimum combination of regimes drip irrigation and fertilizer systems which provide high productivity of vegetable crops are determined.

*Поступила 12.11.2015*



## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.81.095.337:632.116

### ПОСТУПЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ С АТМОСФЕРНЫМИ ОСАДКАМИ И ИХ ПОТЕРИ ПРИ ВЫМЫВАНИИ ИЗ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ РАЗНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Г.В. Пироговская, О.И. Исаева

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

#### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что поступление элементов питания с атмосферными осадками является приходной статьей расчета баланса элементов питания в земледелии, а потери при вымывании – расходной статьей.

В методике расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь при расчете хозяйственного баланса учитывается следующий приход элементов питания с атмосферными осадками (По) по данным Республиканского гидрометеоцентра, в том числе:  $N_{\text{общ}}$  – 9,4 (5,5–16,4) кг/га,  $P_2O_5$  – 0,5,  $K_2O$  – 10,3 (1,8–26,2),  $CaO$  – 25,3 (6,6–95,1),  $MgO$  – 5,0 (1,4–9,7) кг/га,  $(SO_4)$  – 36,0 (14,9–57,9) кг/га [1].

Среднегодовые потери с 1 га при вымывании (Рвыщ.) которые учитываются при расчете баланса по данным лизиметрических исследований за период 1980–2005 гг. в зависимости от типа и гранулометрического состава пахотных почв потери, составляют:  $N_{\text{общ}}$  – 6,3–40,9 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,1–0,25,  $K_2O$  – 3,9–32,9,  $CaO$  – 52,2–136,8,  $MgO$  – 10,2–25,2,  $SO_4$  – 20,0–43,1 кг/га [1].

Цель исследований – определить количество поступления элементов питания и микроэлементов с атмосферными осадками и их потери при вымывании из слоя 1,0–1,5 м дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава за длительный период (1981–2012 гг.)

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии», которая расположена в южной части г. Минска в период с 1981 по 2012 гг. Станция введена в эксплуатацию в 1980 году, включает 48 насыпных лизиметра, цилиндрической формы из сборных железобетонных колец с глубиной почвенного профиля 1,0 и 1,5 м. Колодцы лизиметров имеют внутренний диаметр 2,0 м, площадь – 3,14 м<sup>2</sup>.

В течение времени эксплуатации лизиметрической станции систематически проводились измерения количества выпавших атмосферных осадков (осадкомер

Третьякова) и учет количества инфильтрационных вод ( $\text{л}/\text{м}^2$ ) из наиболее распространенных типов почв Республики Беларусь.

Объекты исследований – дерново-подзолистые почвы разного гранулометрического состава, атмосферные осадки, инфильтрационные воды (почвенные растворы).

Содержание элементов питания и микроэлементов в атмосферных осадках, их концентрация в инфильтрационных водах из слоя 1,0–1,5 м дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава измерялись в двукратной повторности, для дерново-подзолистых песчаных почв в четырехкратной повторности. Методы исследований – визуальный, химический, системный. Статистическая обработка результатов осуществлялась согласно методике проведения полевого опыта Б.А. Доспехова с использованием MS Excel 2010.

### РЕУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным лизиметрических исследований на станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» установлено, что в среднем (за 1981–2012 гг.) ежегодно с атмосферными осадками поступает около 176 кг/га химических элементов и соединений, в том числе: азота – 25,8 (нитратного – 10,9 и аммонийного – 14,9) кг/га, калия – 9,0 кг/га, фосфора – 0,80 кг/га, кальция – 34,0 кг/га, магния – 4,1 кг/га, сульфатов – 54,7 кг/га, хлоридов – 40,7 и натрия – 7,2 кг/га. Колебания поступления этих элементов с атмосферными осадками в течение длительного времени наблюдений находились в пределах: общего азота – 11,1 (1983 г.) – 77,9 (2008 г.) кг/га, азота нитратного – от 4,2 (2011 г.) до 52,9 (1993 г.) и аммонийного – 4,0 (1983 г.) – 48,3 (2008 г.) кг/га, калия ( $\text{K}_2\text{O}$ ) – 3,0 (2009 г.) – 41,7 (1997 г.), фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) – 0,02 (1986 г.) – 1,40 (1997 г.), кальция – 3,4 (1987 г.) – 121,3 (2003 г.), магния – 0,10 (1988 г.) – 19,2 (1981 г.), сульфатов – 7,9 (2007 г.) – 133,1 (1982 г.), хлоридов – 0,70 (1981 г.) – 384,0 (2008 г.) и натрия ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) – 2,8 (2008 г.) – 25,6 (1996 г.) кг/га. С атмосферными осадками больше всего на поверхность почвы поступало сульфатов, далее хлоридов, кальция и общего азота (табл. 1).

Таблица 1

**Поступление химических элементов с осадками на лизиметрической станции, г. Минск (среднее за 1981–2012 гг.)**

Год	Поступление, кг/га									
	$\text{NO}_3$	$\text{NH}_4$	$\text{N}_{\text{общ}}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{P}_2\text{O}_5$	Ca	Mg	Cl	$\text{SO}_4$	$\text{Na}_2\text{O}$
1981	12,7	7,6	20,3	18,2	0,31	78,5	19,2	0,70	57,1	5,1
1982	7,4	11,9	19,3	9,4	0,06	69,9	16,1	9,0	133,1	4,6
1983	7,1	4,0	11,1	8,8	0,14	24,0	2,6	29,7	32,9	5,3
1984	6,8	11,3	18,1	5,1	0,11	12,7	1,8	31,8	49,3	4,5
1985	6,6	9,8	16,4	7,1	0,55	23,8	2,9	24,0	92,3	5,9
1986	5,2	9,9	15,1	6,9	0,02	16,4	4,1	19,1	59,1	3,0
1987	6,0	10,9	16,9	6,0	0,17	3,4	0,8	56,5	62,5	6,2
1988	6,0	10,3	16,3	5,6	5,61	18,5	0,10	61,3	63,6	6,7
1989	6,3	8,2	14,5	6,4	0,11	16,8	1,4	18,0	29,2	4,1
1990	5,1	13,2	18,3	9,9	0,46	8,3	2,1	17,9	50,4	6,5

Год	Поступление, кг/га									
	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	N <sub>общ</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> O
1991	5,6	7,4	13,0	5,5	0,16	44,6	2,3	22,2	42,7	6,6
1992	7,5	7,6	15,1	7,2	0,31	23,1	2,7	42,0	49,9	6,9
1993	52,9	8,0	60,9	11,2	0,31	21,1	1,5	50,0	74,9	9,9
1994	6,8	16,8	23,6	9,3	0,08	18,3	4,0	19,6	68,1	6,9
1995	10,6	10,1	20,7	6,1	0,62	6,5	0,8	33,5	62,4	3,3
1996	10,3	15,1	25,4	35,6	0,59	6,4	1,6	19,0	65,1	25,6
1997	20,1	12,8	32,9	41,7	1,40	27,8	8,1	15,8	40,5	3,6
1998	14,2	11,3	25,5	9,0	1,37	2,3	0,6	20,0	44,5	10,6
1999	8,2	12,6	20,8	6,0	0,58	15,9	1,4	11,6	50,0	6,6
2000	10,8	12,5	23,3	6,2	0,51	2,8	0,10	6,7	63,1	7,0
2001	11,0	16,9	27,9	5,1	1,25	37,7	2,8	7,9	29,2	6,0
2002	8,9	6,9	15,8	5,0	0,61	38,4	3,3	9,8	41,5	5,4
2003	12,0	15,8	27,8	6,3	1,00	121,3	8,2	14,0	22,1	9,9
2004	8,1	5,7	13,8	2,5	1,03	76,4	12,7	18,6	51,2	8,3
2005	11,4	7,2	18,6	4,3	0,86	66,1	2,4	11,1	9,7	5,2
2006	8,3	10,7	19,0	5,6	0,97	56,5	4,6	56,3	12,4	4,1
2007	9,0	23,1	32,1	1,8	0,71	41,6	0,80	191,3	7,9	5,8
2008	29,6	48,3	77,9	8,2	0,92	103,7	9,9	384,0	123,6	2,8
2009	10,3	35,8	46,1	3,0	0,19	15,1	1,5	14,4	25,7	3,4
2010	13,4	40,3	53,7	13,2	1,33	22,6	3,4	5,2	129,9	24,1
2011	4,2	41,9	46,1	7,9	1,76	12,0	2,8	не опр.	49,7	10,6
2012	7,3	12,3	19,6	4,2	1,60	55,4	5,0	не опр.	57,1	5,4
<b>Среднее</b>	<b>10,9</b>	<b>14,9</b>	<b>25,8</b>	<b>9,0</b>	<b>0,80</b>	<b>34,0</b>	<b>4,1</b>	<b>40,7</b>	<b>54,7</b>	<b>7,2</b>

Наибольшее количество химических элементов поступает с атмосферными осадками во влажные по степени увлажнения годы и в слабозасушливые. В оптимальные по степени увлажнения годы отмечается снижение поступления азота, кальция, магния, хлоридов и сульфатов в 1,3–2,8 раза (в зависимости от элемента), в засушливые годы – уменьшается количество всех элементов в 1,1–3,2 раза по сравнению с поступлением элементов с осадками во влажные по степени увлажнения годы (табл. 2).

Таблица 2

**Поступление химических элементов с осадками в различные по степени увлажнения годы, 1981–2012 гг.**

Год	Поступление, кг/га									
	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	N <sub>общ</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> O
<i>Влажные по степени увлажнения годы</i>										
1982	7,4	11,9	19,3	9,4	0,06	69,9	16,1	9,0	133,1	4,6
1985	6,6	9,8	16,5	7,1	0,55	23,8	2,9	24,0	92,3	5,9
1990	5,1	13,2	18,4	9,9	0,46	8,3	2,1	17,9	50,4	6,5
1993	52,9	8,0	60,9	11,2	0,31	21,1	1,5	50,0	74,9	9,9
1998	14,2	11,3	25,5	9,0	1,37	2,3	0,6	20,0	44,5	10,6
2006	8,3	10,7	19,0	5,6	0,97	56,5	4,6	56,3	12,4	4,1
2008	29,6	48,3	77,9	8,2	0,92	103,7	9,9	384,0	123,6	2,8
2009	10,3	35,8	46,1	3,0	0,19	15,1	1,5	14,4	25,7	3,4
<b>среднее</b>	<b>16,8</b>	<b>18,6</b>	<b>35,5</b>	<b>7,9</b>	<b>0,6</b>	<b>37,6</b>	<b>4,9</b>	<b>72,0</b>	<b>69,6</b>	<b>6,0</b>

ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Окончание табл. 2

Год	Поступление, кг/га									
	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	N <sub>общ</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> O
<i>Оптимальные по степени увлажнения годы</i>										
1984	6,8	11,3	18,1	5,1	0,11	12,7	1,8	31,8	49,3	4,5
1987	6,0	10,9	16,9	6,0	0,17	3,4	0,8	56,5	62,5	6,2
1988	6,0	10,3	16,3	5,6	5,61	18,5	0,10	61,3	63,6	6,7
1989	6,3	8,2	14,5	6,4	0,11	16,8	1,4	18,0	29,2	4,1
1996	10,3	15,1	25,4	35,6	0,59	6,4	1,6	19,0	65,1	25,6
2001	11,0	16,9	27,9	5,1	1,25	37,7	2,8	7,9	29,2	6,0
2004	8,1	5,7	13,8	2,5	1,03	76,4	12,7	18,6	51,2	8,3
2005	11,4	7,2	18,6	4,3	0,86	66,1	2,4	11,1	9,7	5,2
2010	13,4	40,3	53,7	13,2	1,33	22,6	3,4	5,2	129,9	24,1
<b>среднее</b>	<b>8,8</b>	<b>14,0</b>	<b>22,8</b>	<b>9,3</b>	<b>1,2</b>	<b>29,0</b>	<b>3,0</b>	<b>25,5</b>	<b>54,4</b>	<b>10,1</b>
Влажные / оптимальные, раз	1,9	1,3	1,6	0,9	0,5	1,3	1,6	2,8	1,3	0,6
<i>Слабозасушливые по степени увлажнения годы</i>										
1981	12,7	7,6	20,3	18,2	0,31	78,5	19,2	0,70	57,1	5,1
1986	5,2	9,9	15,1	6,9	0,02	16,4	4,1	19,1	59,1	3,0
1991	5,6	7,4	13,0	5,5	0,16	44,6	2,3	22,2	42,7	6,6
1994	6,8	16,8	23,6	9,3	0,08	18,3	4,0	19,6	68,1	6,9
1997	20,1	12,8	32,9	41,7	1,40	27,8	8,1	15,8	40,5	3,6
2003	12,0	15,8	27,8	6,3	1,00	121,3	8,2	14,0	22,1	9,9
2007	9,0	23,1	32,1	1,8	0,71	41,6	0,80	191,3	7,9	5,8
2011	4,2	41,9	46,1	7,9	1,76	12,0	2,8	–	49,7	10,6
2012	7,3	12,3	19,6	4,2	1,60	55,4	5,0	–	57,1	5,4
<b>среднее</b>	<b>9,2</b>	<b>16,4</b>	<b>25,6</b>	<b>11,3</b>	<b>0,8</b>	<b>46,2</b>	<b>6,1</b>	<b>40,4</b>	<b>44,9</b>	<b>6,3</b>
<i>Засушливые</i>										
1983	7,1	4,0	11,1	8,8	0,14	24,0	2,6	29,7	32,9	5,3
1992	7,5	7,6	15,1	7,2	0,31	23,1	2,7	42,0	49,9	6,9
1995	10,6	10,1	20,7	6,1	0,62	6,5	0,8	33,5	62,4	3,3
2000	10,8	12,5	23,3	6,2	0,51	2,8	0,10	6,7	63,1	7,0
<b>среднее</b>	<b>9,0</b>	<b>8,6</b>	<b>17,6</b>	<b>7,1</b>	<b>0,4</b>	<b>14,1</b>	<b>1,6</b>	<b>28,0</b>	<b>52,1</b>	<b>5,6</b>
Влажные / оптимальные, раз	1,9	2,2	2,0	1,1	1,5	2,7	3,2	2,6	1,3	1,1
<i>Очень засушливые</i>										
1999	8,2	12,6	20,8	6,0	0,58	15,9	1,4	11,6	50,0	6,6
2002	8,9	6,9	15,8	5,0	0,61	38,4	3,3	9,8	41,5	5,4
<b>среднее</b>	<b>8,6</b>	<b>9,8</b>	<b>18,4</b>	<b>5,5</b>	<b>0,6</b>	<b>27,2</b>	<b>2,4</b>	<b>10,7</b>	<b>45,8</b>	<b>6,0</b>

Определение содержания микроэлементов в атмосферных осадках и их поступление на поверхность почвы проводилось на лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» и экспериментальной базе им. Суворова (35 км от г. Минска) в 2011–2015 гг.

Концентрация микроэлементов в атмосферных осадках (средние данные за 5 лет – 2011–2015 гг.) в г. Минске изменялась по месяцам. Содержание их варьировало в пределах: марганца от 0,023 (декабрь) до 0,043 (январь) мг/л, а в среднем за год – 0,030 мг/л; соответственно, меди – от 0,009 (ноябрь) до 0,065 (май), при средних значениях за год 0,029 мг/л; цинка – от 0,156 (май)

до 1,458 (ноябрь), средних – 0,486 мг/л, кобальта от 0,012 (февраль) до 0,067 (май) и средних – 0,029 мг/л. С атмосферными осадками в среднем за год (январь–декабрь) на поверхность почвы поступило марганца – 0,17 кг/га, меди – 0,18, цинка – 3,55 и кобальта – 0,19 кг/га (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание микроэлементов в атмосферных осадках и их поступление, среднее за 2011–2015 гг.**

Месяц	Содержание, мг/л				Поступление, кг/га			
	Mn	Cu	Zn	Co	Mn	Cu	Zn	Co
г. Минск (среднее за 2011–2015 гг.)								
Январь	0,043	0,018	0,474	0,014	0,021	0,014	0,274	0,011
Февраль	0,029	0,019	0,196	0,012	0,009	0,007	0,064	0,009
Март	0,034	0,038	0,601	0,040	0,008	0,008	0,212	0,004
Апрель	0,038	0,016	0,261	0,017	0,018	0,012	0,660	0,016
Май	0,031	0,065	0,156	0,067	0,021	0,042	0,981	0,042
Июнь	0,027	0,054	0,322	0,018	0,017	0,051	0,366	0,016
Июль	0,029	0,037	0,452	0,015	0,017	0,015	0,249	0,008
Август	0,027	0,030	0,306	0,023	0,017	0,011	0,315	0,022
Сентябрь	0,026	0,014	0,499	0,038	0,014	0,004	0,160	0,013
Октябрь	0,024	0,015	0,928	0,050	0,007	0,010	0,102	0,020
Ноябрь	0,030	0,009	1,458	0,025	0,013	0,005	0,091	0,008
Декабрь	0,023	0,027	0,181	0,023	0,011	0,005	0,080	0,016
<b>Среднее, Минск</b>	<b>0,030</b>	<b>0,029</b>	<b>0,486</b>	<b>0,029</b>	–	–	–	–
<b>Сумма, Минск</b>	–	–	–	–	<b>0,17</b>	<b>0,18</b>	<b>3,55</b>	<b>0,19</b>
Экспериментальная база им. Суворова (среднее за 2011–2013 гг.)								
Январь	0,024	0,023	0,290	0,025	0,011	0,005	0,148	0,005
Февраль	0,034	0,060	0,466	0,004	0,013	0,007	0,188	0,000
Март	0,049	0,039	0,314	0,034	0,014	0,008	0,100	0,003
Апрель	0,029	0,031	0,406	0,010	0,018	0,017	0,144	0,003
Май	0,039	0,080	0,263	0,050	0,028	0,032	0,255	0,008
Июнь	0,023	0,077	0,372	0,060	0,027	0,074	0,319	0,027
Июль	0,027	0,066	0,312	0,023	0,010	0,017	0,066	0,002
Август	0,026	0,027	0,152	0,009	0,006	0,006	0,053	0,002
Сентябрь	0,061	0,012	4,262	0,056	0,016	0,003	0,313	0,008
Октябрь	0,031	0,009	1,175	0,032	0,015	0,002	0,344	0,008
Ноябрь	0,033	0,005	1,764	0,039	0,013	0,001	0,847	0,001
Декабрь	0,023	0,014	0,378	0,081	0,011	0,004	0,145	0,013
<b>Среднее, з/б Суворова</b>	<b>0,033</b>	<b>0,037</b>	<b>0,846</b>	<b>0,035</b>	–	–	–	–
<b>Сумма, з/б Суворова</b>	–	–	–	–	<b>0,18</b>	<b>0,18</b>	<b>2,92</b>	<b>0,08</b>

Что касается среднегодовых концентраций микроэлементов в атмосферных осадках в экспериментальной базе им. Суворова за 2011–2013 гг., то по всем микроэлементам они были выше, чем в г. Минске за 2011–2015 гг. С атмосферными осадками в среднем за 3 года на поверхность почвы ежегодно поступало марганца 0,18 кг/га, меди – 0,18, цинка – 2,92 и кобальта – 0,08 кг/га. При этом поступление

меди с осадками на поверхность почвы было в 1,1 раза, цинка – в 1,2 и кобальта – в 2,3 раза ниже, чем в г. Минске (табл. 3).

Для расчета хозяйственного баланса в Республике Беларусь используются следующие величины потерь элементов питания при вымывании (Рвыщ.), кг/га. Для дерново-подзолистых *легкосуглинистых* почв:  $N_{\text{общ}}$  – 16,  $P_2O_5$  – 0,2,  $K_2O$  – 11, CaO – 64, MgO – 13,  $SO_4$  – 24 кг/га; *супесчаных, развивающихся на связных породах*:  $N_{\text{общ}}$  – 18,  $P_2O_5$  – 0,1,  $K_2O$  – 20, CaO – 65, MgO – 14,  $SO_4$  – 25 кг/га; *супесчаных, развивающихся на рыхлых породах*:  $N_{\text{общ}}$  – 20,  $P_2O_5$  – 0,1,  $K_2O$  – 26, CaO – 69, MgO – 15,  $SO_4$  – 26 кг/га; *песчаных, развивающихся на песках*:  $N_{\text{общ}}$  – 39,  $P_2O_5$  – 0,1,  $K_2O$  – 33, CaO – 78, MgO – 25,  $SO_4$  – 34 кг/га.

По данным многолетних лизиметрических исследований (1981–2012 гг.) среднегодовые потери (за 32 г.) элементов (Рвыщ.) из слоя (1,0–1,5 м) дерново-подзолистых почв разного гранулометрического составили (табл. 4):

**из дерново-подзолистых суглинистых почв:**

- *легкосуглинистой, развивающейся на мощном лессовидном суглинке*:  $N_{\text{общ}}$  – 12,2 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,13,  $K_2O$  – 6,7, Ca – 44,4 (CaO – 62,1), Mg – 9,3 (MgO – 15,4),  $SO_4$  – 21,6 (S – 7,2), Na – 21,0, Cl – 48,3, гидрокарбонатов ( $HCO_3$ ) – 31,2, кг/га, при потерях водорастворимого органического вещества (ВОВ) 14,3 кг/га и сухом остатке – 161,1 кг/га;

- *легкосуглинистой, развивающейся на мощном лессовидном суглинке (агрозем)*:  $N_{\text{общ}}$  – 18,8 кг/га,  $P_2O_5$  – 1,04,  $K_2O$  – 12,6, Ca – 56,1 (CaO – 78,5), Mg – 14,2 (MgO – 23,5),  $SO_4$  – 22,4 (S – 7,5), Na – 17,6, Cl – 42,8, гидрокарбонатов – 54,0 кг/га, ВОВ – 18,0 кг/га и сухом остатке – 239,6 кг/га;

- *легкосуглинистой, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 0,75 м моренным суглинком*:  $N_{\text{общ}}$  – 27,7 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,13,  $K_2O$  – 7,7, Ca – 68,4 (CaO – 95,7), Mg – 15,1 (MgO – 25,1),  $SO_4$  – 25,6 (S – 8,6), Na – 26,1, Cl – 56,9, гидрокарбонатов – 74,6, ВОВ – 22,1 кг/га, сухом остатке – 217,8 кг/га;

- *легкосуглинистой, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с 0,5 м рыхлым песком*:  $N_{\text{общ}}$  – 25,0 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,10,  $K_2O$  – 8,5, Ca – 56,9 (CaO – 79,6), Mg – 11,8 (MgO – 19,6),  $SO_4$  – 22,1 (S – 7,4), Na – 21,7, Cl – 44,9, гидрокарбонатов – 35,0, ВОВ – 20,7 и сухом остатке – 217,8 кг/га.

Для сравнения: из почвообразующей породы (лессовидный суглинок, взятый из глубины 1,5–3,0 м):  $N_{\text{общ}}$  – 11,1 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,12,  $K_2O$  – 11,7, Ca – 57,4 (CaO – 80,3), Mg – 16,0 (MgO – 26,5),  $SO_4$  – 19,0 (S – 6,3), Na – 23,0, Cl – 53,1, гидрокарбонатов – 118,4, ВОВ – 19,7 кг/га, сухом остатке – 254,0 кг/га;

**из дерново-подзолистых супесчаных почв:**

- *супесчаной, развивающейся на супеси связной, подстилаемой с глубины 0,45 м прослойкой песка на контакте, а с глубины 0,70 м моренным суглинком*:  $N_{\text{общ}}$  – 34,8 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,25,  $K_2O$  – 10,4, Ca – 109,4 (CaO – 153,1), Mg – 17,4 (MgO – 28,8),  $SO_4$  – 26,2 (S – 8,8), Na – 21,6, Cl – 53,5, гидрокарбонатов – 154,4, ВОВ – 26,4 и сухом остатке – 416,7 кг/га;

- *супесчаной, развивающейся на супеси рыхлой, сменяемой с глубины 0,3 м связным песком, а с глубины 0,5 м рыхлым песком*:  $N_{\text{общ}}$  – 29,1 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,1,  $K_2O$  – 28,7, Ca – 55,5 (CaO – 77,6), Mg – 19,6 (MgO – 32,5),  $SO_4$  – 24,1 (S – 8,0), Na – 25,7, Cl – 59,3, гидрокарбонатов – 53,6, ВОВ – 24,7 и сухом остатке – 313,7 кг/га;

Таблица 4

**Потери химических элементов из слоя 1,0–1,5 м дерново-подзолистых почв Республики Беларусь  
(среднее из лизиметров 1,0–1,5 м, за 1981–2012 гг.)**

Название почвы	Сухой остаток*, кг/га	ВОВ, кг/га	Потери при вымывании, кг/га										N <sub>общ</sub>
			K <sub>2</sub> O	Na	Ca	Mg	N-NH <sub>4</sub>	Cl	N-NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
1. Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном суглинке, лиз. 1, 2	161,1	14,3	6,7	21,0	44,4	9,3	0,26	48,3	11,6	21,6	31,2	0,129	12,2
2. Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном суглинке (агрозем), лиз. 33, 34	295,0	18,0	12,6	17,6	56,1	14,2	0,33	42,8	18,5	22,4	54,0	1,038	18,8
3. Почвообразующая порода (лессовидный суглинок с глубины 1,5–3,0 м), лиз. 11,12	254,0	19,7	11,7	23,0	57,4	16,0	0,32	53,1	10,8	19,0	118,4	0,123	11,1
4. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 0,75 м моренным суглинком, лиз. 3, 4	217,8	22,1	7,7	26,1	68,4	15,1	0,50	56,9	27,2	25,6	74,6	0,125	27,7
5. Дерново-палево-подзолистая суглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с 0,5 м рыхлым песком, лиз. 5, 6	217,8	20,7	8,5	21,7	56,9	11,8	0,49	44,9	24,6	22,1	35,0	0,095	25,0
6. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси связной, подстилаемой с глубины 0,45 м прослойкой песка на контакте, а с глубины 0,70 м моренным суглинком, лиз. 7, 8	416,7	26,4	10,4	21,6	109,4	17,4	0,64	53,5	34,2	26,2	154,4	0,251	34,8
7. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси рыхлой, сменяемой с глубины 0,3 м связным песком, а с глубины 0,5 м рыхлым песком, лиз. 9, 10	313,7	24,7	28,7	25,7	55,5	19,6	0,46	59,3	28,6	24,1	53,6	0,084	29,1
8. Дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на связанном песке, сменяемом с глубины 0,25 м рыхлым песком, лиз. 13–16	558,9	31,3	40,8	27,1	69,3	20,4	1,10	59,7	39,9	31,0	71,8	0,137	40,9
НСР <sub>05</sub>	27,6	2,3	0,9	1,5	6,1	0,9	0,03	3,4	2,0	1,6	6,6	0,01	1,7

Примечание. \* сухой остаток – по средним данным за 1981–1991 гг.



**из песчаных почв:**

• *песчаных, развивающихся на связном песке, сменяемом с глубины 0,25 м рыхлым песком: N<sub>общ</sub> – 40,9 кг/га, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,14, K<sub>2</sub>O – 40,8, Ca – 69,3 (CaO – 97,0), Mg – 20,4 (MgO – 33,8), SO<sub>4</sub> – 31,0 (S – 10,4), Na – 27,1, Cl – 59,7, гидрокарбонатов – 71,8, ВОВ – 31,3 и сухом остатке – 558,9 кг/га.*

Следует учитывать, что потери элементов питания при вымывании из слоя 1,0–1,5 м дерново-подзолистых существенно изменяются в зависимости от степени увлажнения года, что наглядно видно на примере потерь общего азота (табл. 5).

Таблица 5

**Потери при вымывании азота общего с лизиметрическими водами из слоя 1,0–1,5 м пахотных почв в различные по степени увлажнения годы (1981–2012 гг.)**

Название почв	Потери при вымывании общего азота, кг/га					
	степень увлажнения года					
	влаж-ные	опти-мальные	сла-боза-сушли-вые	за-суш-ли-вые	очень за-суш-ли-вые	соотно-шение, влажных/опти-мальным, раз
1. Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном суглинке, лиз. 1, 2	19,3	11,3	8,8	4,2	10,3	1,71
2. Дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на мощном лессовидном суглинке (агрозем), лиз. 33, 34	29,6	18,4	14,6	6,9	10,9	1,61
3. Почвообразующая порода (лессовидный суглинок с глубины 1,5–3,0 м), лиз. 11,12	20,3	8,2	8,7	5,7	3,3	2,48
4. Дерново-подзолистая суглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 0,75 м моренным суглинком, лиз. 3, 4	38,0	19,6	24,2	27,7	35,0	1,94
5. Дерново-палево-подзолистая суглинистая, развивающаяся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с 0,5 м рыхлым песком, лиз. 5, 6	33,2	12,8	27,2	23,6	36,5	2,59
6. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси связной, подстилаемой с глубины 0,45 м прослойкой песка на контакте, а с глубины 0,70 м моренным суглинком, лиз. 7, 8	47,7	21,8	31,0	40,0	43,5	2,19
7. Дерново-подзолистая супесчаная, развивающаяся на супеси рыхлой, сменяемой с глубины 0,3 м связным песком, а с глубины 0,5 м рыхлым песком, лиз. 9, 10	43,0	22,8	20,0	39,0	35,6	1,89
8. Дерново-подзолистая песчаная, развивающаяся на связном песке, сменяемом с глубины 0,25 м рыхлым песком, лиз. 13–16	48,9	36,4	29,9	53,4	43,5	1,34

*Примечание.* Влажные годы – 1982, 1985, 1990, 1993, 1998, 2006, 2008, 2009; оптимальные – 1984, 1987, 1988, 1989, 1996, 2001, 2004, 2005, 2010 гг.; слабозасушливые – 1981, 1986, 1991, 1994, 1997, 2003, 2007, 2011, 2012 гг.; засушливые – 1983, 1992, 1995, 2000 гг.; очень засушливые – 1999, 2002 гг.

Во влажные годы потери азота за счет вымывания увеличиваются в 1,3–2,6 раза (в зависимости от гранулометрического состава). Аналогичные закономерности прослеживаются по вымыванию и других элементов питания.

Результатами лизиметрических исследований, проведенных на станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» в период 2011–2015 гг., установлены незначительные потери при вымывании марганца, меди, цинка и кобальта из слоя 1,0–1,5 м изучаемых почв (табл. 6)

Таблица 6

**Потери микроэлементов при вымывании из дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава, кг/га в год (2011–2015 гг.)**

Вариант	Потери, кг/га в год			
	медь	марганец	цинк	кобальт
<i>Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва</i>				
Контроль	0,006	0,020	0,091	0,024
Стандартные удобрения	0,004	0,014	0,045	0,034
<i>Дерново-подзолистая связносупесчаная почва</i>				
Контроль	0,012	0,021	0,046	0,023
Стандартные удобрения	0,006	0,018	0,047	0,026
<i>Дерново-подзолистая рыхлосупесчаная почва</i>				
Контроль	0,008	0,024	0,063	0,015
Стандартные удобрения	0,005	0,016	0,071	0,015
<i>Среднее</i>				
Контроль	0,009	0,022	0,067	0,021
Стандартные удобрения	0,005	0,016	0,054	0,025

В частности, потери микроэлементов из дерново-подзолистой легкосуглинистой, развивающейся на легких лессовидных суглинках почвы составили: в контрольном варианте без удобрений: марганца – 20 г/га, в варианте со стандартными туками (в оптимальных дозах под культуры севооборота) – 14 г/га, меди – 6 и 4 г/га, цинка – 94 и 45 г/га, кобальта – 24 и 34 г/га; из связносупесчаной, подстилаемой с глубины с глубины 0,70 м моренным суглинком: марганца – 21 (контроль) и 18 (с удобрениями) г/га, меди – 12 и 6, цинка – 46 и 47, кобальта – 23 и 26 г/га; рыхлосупесчаной, подстилаемой с глубины 0,25 м рыхлым песком – марганца 24 (контроль) и 16 (удобрениями) г/га, меди – 8 и 5, цинка – 63 и 71, кобальта – 15 г/га (в варианте без удобрений и с удобрениями).

## ВЫВОДЫ

На основании проведенных многолетних лизиметрических исследований и полученных экспериментальных данных по поступлению элементов питания и их потерям при вымывании (1981–2012 гг.) и микроэлементов (2011–2015 гг.) при расчете баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь рекомендуется внести поправки:

1. В приходную статью баланса – внести корректировки по содержанию элементов питания в атмосферных осадках (По), в том числе: азота – 25,8 (нитратно-

го – 10,2, аммонийного – 14,9) кг/га,  $P_2O_5$  – 0,8,  $K_2O$  – 9,0, Ca – 34,0 (CaO 47,6), Mg – 4,1 (MgO – 6,8) и  $SO_4$  – 54,7 (S – 18,3) кг/га;

2. В расходную статью баланса необходимо внести поправки по среднегодовым потерям элементов питания с 1 га пахотных почв (Рвыщ.), полученные в среднем по обобщенным многолетним данным:

- для дерново-подзолистых суглинистых:  $N_{общ}$  – 16 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,13,  $K_2O$  – 10, CaO – 70, Mg – 20,  $SO_4$  – 22 кг/га;

- для дерново-подзолистых суглинистых и связносупесчаных, развивающихся на связных породах:  $N_{общ}$  – 26 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,16,  $K_2O$  – 10, CaO – 110, Mg – 25,  $SO_4$  – 25 кг/га;

- для дерново-подзолистых супесчаных, развивающихся на рыхлых породах:  $N_{общ}$  – 29 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,10,  $K_2O$  – 29, CaO – 78, Mg – 33,  $SO_4$  – 24 кг/га;

- для дерново-подзолистых песчаных:  $N_{общ}$  – 41 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,14,  $K_2O$  – 41, CaO – 97, Mg – 34,  $SO_4$  – 31 кг/га;

3. Для сельхозпроизводителей важно учитывать и потери при вымывании других элементов и соединений (водорастворимого органического вещества – ВОВ, натрия, хлоридов и гидрокарбонатов), сведения, по потерям которых приведены в таблице 4.

4. Получены новые экспериментальные данные по поступлению микроэлементов с атмосферными осадками (Минск, лизиметрическая станция и экспериментальная база им. Суворова) и их потери при вымывании в среднем за 5 лет (2011–2015 гг.). Поступление микроэлементов с атмосферными осадками (Пм) составило: марганца – 178 г/га, меди – 180, цинка – 3238, кобальта – 133 г/га; потери при вымывании из слоя 1,0–1,5 м дерново-подзолистых суглинистых и связносупесчаных почв – марганца – 18 г/га, меди – 7, цинка – 57 и кобальта – 27 г/га; из дерново-подзолистых рыхлосупесчаных – марганца – 20 г/га, меди – 7, цинка – 67 и кобальта – 15 г/га.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина, Е.В.* Руководство по химическому анализу почв / Е.В. Аринушкина. – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: МГУ, 1970. – 487 с.
2. *Новиков, Ю.В.* Методы исследования качества воды водоемов / Ю.В. Новиков, К.О. Ласточкина, З.Н. Болдина. – М.: Медицина, 1990. – 256 с.
3. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.]. – Минск: РУП «Институт почвоведения и агрохимии», 2007. – 24 с.
4. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
5. *Пироговская, Г.В.* Инfiltrация атмосферных осадков из дерново-глеевых, торфянисто-глеевых и торфяных почв под монокультурой многолетних бобово-злаковых трав / Г.В. Пироговская // Воспроизводство плодородия почв и их охрана в условиях современного земледелия: материалы Международной научно-практической конференции и V съезда почвоведов и агрохимиков, Минск, 22–26 июня, 2015 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии; редкол.: В.В. Лапа (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Ч. 1. – С. 193–196.

6. Изменение почвенных показателей и запас элементов питания в процессе длительного сельскохозяйственного использования (1980–2012 гг.) / Г.В. Пироговская, О.И. Исаева // Воспроизводство плодородия почв и их охрана в условиях современного земледелия: материалы Международной научно-практической конференции и V съезда почвоведов и агрохимиков, г. Минск, 22–26 июня, 2015 г. / Ин-т почвоведения и агрохимии; редкол.: В.В. Лапа (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Ч. 2. – С. 201–204.

7. Потери элементов питания растений / И.А. Шильников [и др.]. – М.: LAP Lambert academic Publishing, 2015. – 502 с.

## **ENTER OF MACRO AND MICROELEMENTS WITH ATMOSPHERIC PRECIPITATION AND THEIR LOSSES BY REMOVAL FROM SOD-PODSOLIC SOILS OF DIFFERENT TEXTURE**

**G.V. Pirogovskaja, A.I. Isayeva**

### **Summary**

The enter of macro and microelements with atmospheric precipitation and their losses by removal in subsoil waters depending on texture of sod-podzolic soils, forms and doses of applied fertilizers (according to the long-term supervision lead on lysimeter station in Minsk during 1981–2015) are presented.

*Поступила 27.11.2015*

УДК 631.8:631.51:631.445

## **ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ В КОРОТКОРОТАЦИОННОМ СЕВООБОРОТЕ НА ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО**

**А.И. Фатеев<sup>1</sup>, Я.В. Бородина<sup>1</sup>, В.М. Мартыненко<sup>2</sup>, Н.Г. Собко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского», г. Харьков, Украина*

<sup>2</sup>*Сумский филиал ГУ «Институт охраны почв Украины», г. Сумы, Украина*

<sup>3</sup>*Институт сельского хозяйства Северного Востока, г. Сумы, Украина*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Высокопродуктивное устойчивое развитие аграрного производства определяется в первую очередь плодородием почвы. Под плодородием понимают способность почвы обеспечивать растения питательными веществами, водой, воздухом, теплом и благоприятными фитосанитарными условиями, которые не-

обходимы для нормальной их жизнедеятельности. Она выражается в количестве веществ и энергии, которые почва имеет для обеспечения определенного уровня продуктивности растений на протяжении многолетнего периода [2]. Состояние плодородия почв в значительной степени определяется запасом гумуса и элементов питания – азота, фосфора, калия, кальция, магния, микроэлементов.

В пахотных почвах плодородие выступает как совокупная функция естественных и антропогенных факторов. Под их влиянием она способна изменяться и поэтому сохранение и повышение плодородия почв требует постоянной заботы аграриев.

В системе мероприятий, которые направлены на повышение плодородия почв и их продуктивности, наиболее важными и эффективными являются применения удобрений и мелиорантов. Это обеспечивает повышение содержания подвижных форм питательных элементов, их общие запасы в почве и улучшает питательный режим [1, 3, 5–7].

В данное время актуальным является поиск альтернативных подходов к улучшению плодородия почвы, усовершенствования систем удобрения и обработки почвы, в направлении энергоэкономии, внедрения элементов биологического земледелия, с использованием в качестве удобрения соломы и другой побочной продукции на фоне внесения невысоких норм минеральных удобрений.

В современной земледелии назрела необходимость перехода к новым ресурсосберегающим технологиям выращивания культур, в которых широко используется принцип минимизации технологических операций. Это не только экономит ресурсы, но и, что не менее важно, дает возможность все необходимые технологические операции выполнить вовремя.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – агрохимические свойства чернозема типичного в короткоротационном севообороте. Исследования проводили в стационарном опыте Сумского института агропромышленного производства НААН Украины, который был заложен в 2005 году. Почвенный покров опытного поля, где проводились исследования, представлен черноземом типичным глубоким среднегумусным крупнопылевато-среднесуглинистым на карбонатном лессе. Глубина гумусного горизонта – 40–46 см, гумусированной части профиля – 127–132 см, содержание гумуса в слое 0–20 см – до 5%, гидролитическая кислотность – 3,7 мг-экв./100 г почвы,  $pH_{\text{сол.}}$  – 5,3,  $pH_{\text{вод.}}$  – 6,8, содержание общего азота – 0,26 %, валового фосфора – 0,18%, калия – 2,2 %, легкогидролизуемого азота по Корнфилду – 112 мг/кг почвы, подвижных  $P_2O_5$  и  $K_2O$  по Чирикову – 190 и 106 мг/кг почвы. Гранулометрический состав почвы характеризуется такими показателями: физической глины – 49,1–52,1%, ила – 23,4–25,5%.

В опыте изучали органическую и минеральную системы удобрения в четырехпольном зерносвекловичном севообороте со следующим чередованием культур: ячмень яровой + эспарцет – эспарцет – пшеница озимая – свекла сахарная. За контроль был принят вариант, где удобрения не применяли. Вторым вариантом была органическая система удобрения, которая предусматривает применение сидератов (сидеральный эспарцетный пар под пшеницу озимую) и нетоварной

части продукции растениеводства (соломы пшеницы озимой под свеклу сахарную и ботвы свеклы под ячмень яровой с подсевом эспарцета). Третьим вариантом была минеральная система удобрения с применением умеренных доз минеральных удобрений (припосевное внесение под пшеницу озимую, свеклу сахарную и ячмень яровой с подсевом эспарцета в дозе  $N_{15}P_{15}K_{15}$  а также подкормка пшеницы озимой и ячменя ярового в дозе  $N_{30}$  и свеклы сахарной в два срока по  $N_{30}$ .

Разные системы удобрения культур севооборота изучали при двух системах обработки почвы: 1) пахота на глубину 25–27 см; 2) поверхностная обработка дисковыми орудиями – на 6–8 см.

Почвенные образцы отбирали из слоев почвы 0–10, 10–20 и 20–30 см в начале и конце ротации. Количество повторений – 3, посевная площадь участка – 100 м<sup>2</sup>, учетная – 50 м<sup>2</sup>. Размещение вариантов систематическое.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За четырехлетнюю ротацию существенных изменений содержания гумуса в слое 0–30 см не произошло (табл. 1). Но как на контроле, так и при органической и минеральной системе удобрения на фоне поверхностной обработки наблюдается существенное уменьшение содержания гумуса в слоях 10–20 и 20–30 см. На фоне пахоты существенных изменений содержания гумуса не наблюдается. То есть при применении поверхностной обработки в некоторой степени происходит дифференциация содержания гумуса в отдельных слоях почвы.

Таблица 1

**Динамика содержания гумуса в почве полевого севооборота при разных системах его удобрения и обработки почвы, %**

Система удобрения (Фактор А)	Слой почвы, см	Культуры севооборота		
		начало ротации	конец ротации	
			система обработки (Фактор Б)	
			отвальная	минимальная
Без удобрений (контроль)	0–10	4,6	4,4	4,5
	10–20	4,4	4,4	4,1
	20–30	4,2	4,2	4,0
Органическая	0–10	4,6	4,6	4,6
	10–20	4,4	4,5	4,4
	20–30	4,4	4,4	4,2
Минеральная	0–10	4,6	4,5	4,5
	10–20	4,2	4,3	4,2
	20–30	4,2	4,2	4,1

*Примечание.* НСР<sub>05</sub> для слоя почвы 0–10 см – 0,2%; 10–20 см – 0,2%; 20–30 см – 0,2%.

В зависимости от факторов, которые изучали в опыте, содержание легкогидролизуемого азота изменялось в пределах от 114–117 мг/кг до 104 – 115 мг/кг.

Из данных табл. 2 видно, что наибольшее снижение содержания соединений легкогидролизуемого азота в почве наблюдается в слоях 10–20 и 20–30 см на

фоне поверхностной обработки и на варианте без удобрений в целом в слое 0–30 см.

Таблица 2

**Динамика содержания легкогидролизуемого азота в почве полевого севооборота при разных системах его удобрения и обработки почвы, мг/кг**

Система удобрения (Фактор А)	Слой почвы, см	Культуры севооборота		
		начало ротации	конец ротации	
			система обработки (Фактор Б)	
		отвальная	минимальная	
Без удобрений (контроль)	0–10	117	108	112
	10–20	114	107	107
	20–30	114	107	108
Органическая	0–10	116	115	114
	10–20	116	113	106
	20–30	114	111	104
Минеральная	0–10	116	114	106
	10–20	116	111	104
	20–30	115	110	104

Примечание. НСР<sub>05</sub> фактор А – 6; фактор Б – 5; АБ – 11.

На фоне органической системы удобрения в слое 0–10 см снижения содержания азота не происходит за счет концентрации здесь остатков зеленой массы эспарцета и соломы пшеницы озимой.

Таблица 3

**Динамика содержания подвижных соединений фосфора в почве полевого севооборота при разных системах его удобрения и обработки почвы, мг/кг**

Система удобрения (Фактор А)	Слой почвы, см	Культуры севооборота		
		начало ротации	конец ротации	
			система обработки (Фактор Б)	
		отвальная	минимальная	
Без удобрений (контроль)	0–10	134	130	134
	10–20	132	131	114
	20–30	126	122	112
Органическая	0–10	136	132	142
	10–20	132	130	117
	20–30	124	124	122
Минеральная	0–10	134	135	140
	10–20	130	129	118
	20–30	125	126	119

Примечание. НСР<sub>05</sub> фактор А – 8; фактор Б – 6; АБ – 14.

Изучение фосфатного режима почвы показало, что чернозем типичный в период проведения полевого опыта имел содержание подвижных соединений фосфора в слое 0–30 см 124–134 мг/кг (табл. 3). Это свидетельствует о повышенной степени обеспеченности ими растений. При этом по окончании ротации



севооборота отмечена тенденция к снижению содержания подвижных соединений фосфатов на фоне пахоты в варианте без удобрений, в меньшей степени это заметно при органической и минеральной системах удобрения. Но на фоне поверхностной обработки происходит постепенная дифференциация пахотного слоя по содержанию фосфатов. В частности, на участках без внесения удобрений содержание подвижных фосфатов в конце ротации севооборота в слое почвы 0–10 см, было более высоким в сравнении со слоем 20–30 см на 22 мг/кг. Такие же тенденции, но более выраженные, были отмечены так же при органической и минеральной системе удобрения.

Это можно объяснить концентрацией в верхнем слое почвы остатков зеленой массы эспарцета и соломы пшеницы озимой и достаточно низким его поступлением из органических и минеральных удобрений из слоя почвы 0–10 см.

Исследования калийного режима почвы показали, что в черноземе типичном в период проведения опыта содержание подвижных соединений калия изменялось от 68 до 114 мг/кг (табл. 4).

Согласно принятой градации это соответствовало средней и повышенной степени обеспеченности растений этим элементом питания.

Таблица 4

**Динамика содержания подвижных соединений калия в почве полевого севооборота при разных системах его удобрения и обработки почвы, мг/кг**

Система удобрения (Фактор А)	Слой почвы, см	Культуры севооборота		
		начало ротации	конец ротации	
			система обработки (Фактор Б)	
			отвальная	минимальная
Без удобрений (контроль)	0–10	110	98	102
	10–20	90	91	87
	20–30	68	74	70
Органическая	0–10	114	104	112
	10–20	94	96	89
	20–30	69	71	70
Минеральная	0–10	108	101	98
	10–20	94	90	84
	20–30	72	68	72

*Примечание.* НСР<sub>05</sub> фактор А – 7; фактор Б – 5; АБ – 12.

В динамике во всех вариантах опыта отмечено снижение содержания подвижных соединений калия. Это можно объяснить выносом его урожаями, культурами севооборота, особенно свеклой сахарной.

В частности, в слое почвы 0–10 см его содержание за ротацию полевого севооборота снизилось на пахоте на участках без удобрений от 108 до 98 мг/кг, а при органической и минеральной системах удобрения – от 114 до 104 и от 106 до 101 мг/кг соответственно.

Аналогичные изменения были отмечены и при минимальной системе обработки почвы, за исключением варианта с органической системой удобрения, что можно объяснить значительным возвращением в почву калия с нетоварной частью урожая.

Несмотря на то, что калий способен больше, чем фосфор передвигаться в профиле почвы, нами также отмечена дифференциация пахотного слоя как при пахоте, так и при поверхностной системе обработки почвы. В первом случае это объясняется биологическим перемещением из нижних слоев почвы, а во втором – также еще и дополнительным поступлением с нетоварной частью урожая, оставленной на поле в качестве удобрения и минеральными удобрениями.

## ВЫВОДЫ

Применение минеральных удобрений в рядки и подкормки, а также сидеральной культуры и побочной продукции после четырех лет исследований не отразилось на содержании гумуса в черноземе типичном как на фоне пахоты, так и поверхностной обработки. Отмечена лишь тенденция к уменьшению количества гумуса в слоях 10–20 и 20–30 см.

Установлено уменьшение содержания легкогидролизуемого азота в сравнении с исходным, в большей мере в варианте без удобрений и на пахоте, а также во всех вариантах – при поверхностной обработке почвы.

Распределение подвижных соединений фосфора в слое 0–30 см происходило в зависимости от способа обработки – более равномерно по слоям почвы при пахоте и с большей концентрацией в верхнем 0–10 см слое – при поверхностной обработке почвы.

Достоверное уменьшение содержания подвижного калия отмечено только в варианте с внесением минеральных удобрений в рядки и в подкормку при поверхностной обработке почвы. В других вариантах наблюдалась только тенденция к снижению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аркуша, В.Е.* И. Влияние длительного возделывания на неудобренном фоне культур зерносвекловичного севооборота на их урожай и агрохимические показатели чернозёма реградированного / В.Е. Аркуша, А.И. Буджерак // *Агрохимия*. – 1998. – № 11. – С. 11–17.
2. *Балаев, А.Д.* Родючість ґрунту, її кількісна та якісна оцінка / А.Д. Балаев // *Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. випуск до VII з'їзду УТТГА, книга третя*. – Харків, 2006. – С. 4–6.
3. Влияние удобрений на урожайность культур, баланс элементов питания и плодородие почвы в Лесостепи Украины / Л.А. Барштейн [и др.] // *Агрохимия*. – 1997. – № 7. – С. 12–19.
4. *Держави, Л.М.* О комплексной оценке плодородия пахотных земель / Л.М. Державин, А.С. Фрид // *Агрохимия*. – 2001. – № 9. – С. 5–12.
5. *Лісовий, М.В.* Застосування мінеральних добрив та відновлення родючості ґрунтів в умовах сучасного землеробства / М.В. Лісовий // *Вісник аграрної науки*. – 1998. – № 3. – С. 15–17.
6. *Польовий, В.М.* Оптимізація систем удобрення у сучасному землеробстві / В.М. Польовий. – Рівне: Волинські обереги, 2007. – 320 с.

7. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства. За ред. В. В. Медведєва, М. В. Лісового. – Харків: Штрих, 2001. – 98 с.

## **EFFECT OF FERTILIZER AND SOIL CULTIVATION SYSTEMS IN SHORT CROP ROTATION ON NUTRIENT REGIME OF TYPICAL BLACK SOIL**

**A.I. Fateev, J.V. Borodina, V.M. Martynenko, M.G. Sobko**

### **Summary**

Results of researches of efficiency of the organic (green manure, post-harvest residues) and mineral (moderate rate) fertilizers in short-term rotation on the background of plowing and surface soil treatment are given. It is established that significant changes of humus content in 0–30 cm soil layer has not occurred. In general, for the four-year crop rotation period a content decrease of alkali-hydrolysable nitrogen, mobile forms of phosphorus and potassium in the soil is observed.

*Поступила 27.11.2015*

УДК 631.41

## **ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ МИГРАЦИИ <sup>137</sup>CS И <sup>90</sup>SR В СИСТЕМЕ ПОЧВА–РАСТЕНИЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ**

**Н.Н. Цыбулько**

*Департамент по ликвидации последствий катастрофы  
на Чернобыльской АЭС Министерства по чрезвычайным ситуациям,  
г. Минск, Республика Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Количественные закономерности изменения подвижности и биологической доступности радионуклидов оцениваются на основании двух показателей – содержания их доступных растениям соединений в почве и величине коэффициентов перехода в растения (*K<sub>p</sub>* или *TF* – *трансфер-фактор*), представляющий отношение концентрации радионуклида в растении к плотности загрязнения почвы этим радионуклидом в расчете на единицу площади [1].

Растения поглощают из почвы подвижные (доступные) формы радионуклидов, в основном, из почвенного раствора, присутствующие в зоне распространения корневых систем. Интенсивность перехода радионуклидов в растения в первую очередь зависит от содержания их и других элементов в почвенном растворе, а распределение между твердой фазой почвы и почвенным раствором определяется процессами сорбции–десорбции, осаждения–раство-

рения труднорастворимых соединений, коагуляции–пептизации коллоидных частиц.

Основная масса  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  выпала на почвенный покров в прочносвязанной форме в составе твердых топливных частиц, а также значительная часть являлась компонентом аэрозолей (конденсационных выпадений), характерных для районов, удаленных от реактора [2].

Поверхностный контакт и перемешивание радиоактивных частиц с почвой привело к их трансформации – выщелачиванию из связанного состояния, сорбции почвенным поглощающим комплексом (ППК), окислами металлов и минералами [3].

Главным механизмом поглощения  $^{90}\text{Sr}$  твердой фазой почвы является ионный обмен. Часть его вступила во взаимодействие с ППК и участвовала в процессах сорбции и комплексообразования с минеральными и органическими компонентами почвы. Нерастворимая фракция  $^{90}\text{Sr}$  на начальном этапе не участвовала в обменных процессах с ППК, а водорастворимая – постепенно перешла в обменную форму. Сорбция  $^{90}\text{Sr}$  зависит от концентрации в почве других катионов и анионов. В настоящее время содержание доступных форм (преимущественно обменной)  $^{90}\text{Sr}$  в дерново-подзолистых почвах достигает 70%, в торфяно-болотных почвах – 50% [4].

Поведение в почве и доступность растениям  $^{137}\text{Cs}$  отличается от  $^{90}\text{Sr}$  тем, что он активно фиксируется почвой, особенно в первый период после поступления в почву. В результате физико-химических реакций происходит не только ионообменное связывание  $^{137}\text{Cs}$ , но и необменная сорбция твердой фазой почвы. За послеаварийный период формы  $^{137}\text{Cs}$  подверглись существенной трансформации. Произошло снижение доли водорастворимых и обменных форм, доступных для растений, и увеличение фиксированных малодоступных форм. Удельный вес прочно фиксированного  $^{137}\text{Cs}$  в почвах колеблется от 75 до 95%.

Подвижность радионуклидов в почве определяется во многом свойствами самой почвы и происходящими в ней физико-химическими процессами. С увеличением степени гидроморфности почвы (от автоморфных к гидроморфным) удельный вес доступных растениям форм радионуклидов возрастает [5, 6]. На дерново-подзолистых супесчаных автоморфной и глееватой почвах установлено, что содержание доступного растениям  $^{137}\text{Cs}$  (водорастворимая, обменная, подвижная) составляет в среднем 9–11%, недоступных форм (необменная, фиксированная) – 89–91%. Между автоморфной и полугидроморфной почвами достоверные различия по содержанию форм  $^{137}\text{Cs}$  отмечались только по водорастворимой и подвижной формам. Автоморфная почва характеризовалась более высоким содержанием водорастворимой формы и меньшим – подвижной формы [7, 8].

В последние годы не отмечается значимых различий в перераспределении радионуклидов в почве по формам, что указывает на установление их динамического равновесия [5].

На интенсивность перехода радионуклидов в растения существенно влияют генетические особенности почв. Высокие параметры миграции радионуклидов в растения характерны для торфяно-болотных почв, что связано с их высокой емкостью катионного обмена при низком поверхностном заряде. Это приводит

к адсорбции значительных количеств веществ в доступных растениям формах [9, 10].

Основными показателями почв одного генетического типа, влияющими на доступность радионуклидов, являются гранулометрический и минералогический состав, агрохимические свойства, режим увлажнения [11–13]. В зависимости от гранулометрического состава накопление радионуклидов растениями может изменяться в 1,5–2 раза и более [14].

Цель работы – установить временные изменения параметров (коэффициентов) перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в сельскохозяйственные культуры.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследований являлись коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  из почвы в продукцию сельскохозяйственных культур, которые являются нормативной базой для прогноза загрязнения растениеводческой продукции. Коэффициенты перехода радионуклидов дифференцированы по генетическим типам почв и их гранулометрическому составу. Кроме этого переход  $^{137}\text{Cs}$  в продукцию растениеводства изменяется в зависимости от обеспеченности почвы подвижным калием ( $\text{K}_2\text{O}$ ), а переход  $^{90}\text{Sr}$  – в зависимости от кислотности почвы ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ).

Проведен сравнительный анализ значений коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , которые были приняты в качестве нормативов для прогноза загрязнения растениеводческой продукции в руководствах и рекомендациях по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель. Анализ проводили на трех группах сельскохозяйственных культур – зерновых (озимая пшеница, озимая рожь, ячмень, овес), пропашных (картофель, кормовая свекла) и многолетних злаковых травах.

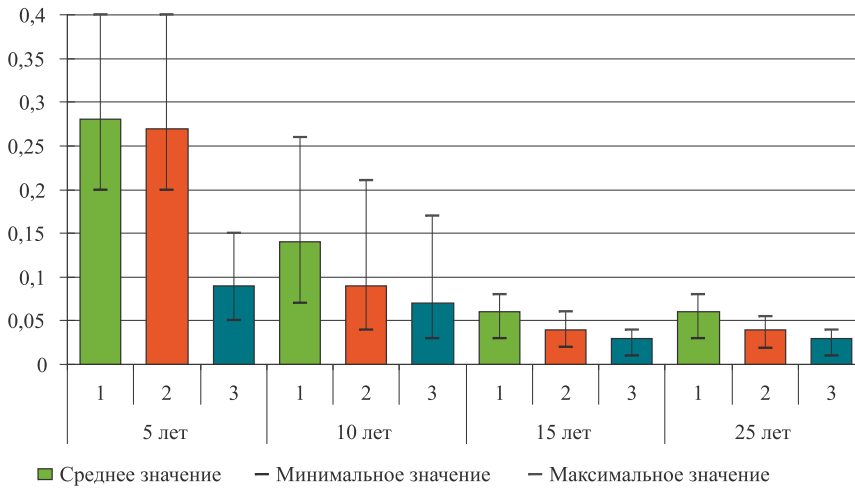
Принимали усредненные значения коэффициентов перехода для групп культур при среднем содержании  $\text{K}_2\text{O}$  (141–200 мг/кг почвы – в дерново-подзолистых почвах и 251–500 мг/кг – в торфяно-болотных почвах) и слабокислой реакции среды для дерново-подзолистых почв ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – 5,51–6,0) и кислой реакции – для торфяно-болотной почвы ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – 4,31–4,7).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Динамика коэффициентов перехода $^{137}\text{Cs}$ из почвы в растения

Установлено, что за многолетний период (1991–2011 гг.) произошли существенные изменения в биологической доступности и количественных параметрах миграции  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва–растение. В первые годы после аварии (1987–1990 гг.) на пахотных землях переход  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры (озимую пшеницу, озимую рожь, ячмень овес) на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава колебался от 0,05–0,15 Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup> на суглинистых почвах до 0,2–0,4 Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup> – на песчаных и супесчаных почвах. Переход  $^{137}\text{Cs}$  в клубни картофеля изменялся от 0,15 на суглинистых почвах до 0,3 – на легких песчаных и супесчаных почвах (рис. 1).

**Зерновые культуры**



**Картофель**

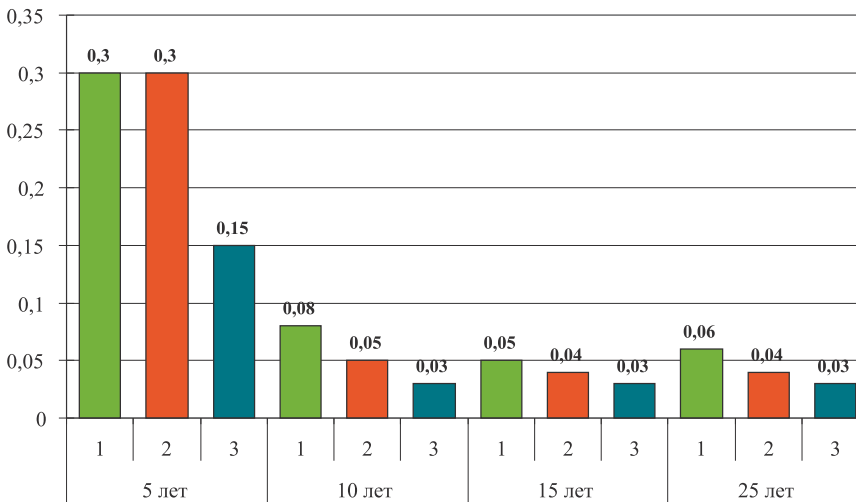


Рис. 1. Динамика коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг:  $\text{кБк}/\text{м}^2$ ) из дерново-подзолистой почвы в зерновые культуры и картофель: 1 – песчаная почва, 2 – супесчаная почва, 3 – суглинистая почва

С течением времени по мере физико-химической трансформации  $^{137}\text{Cs}$  в почве (в первую очередь необменной фиксации) и уменьшения доли водорастворимых и обменных форм, доступных для растений, произошло существенное снижение коэффициентов перехода его в продукцию сельскохозяйственных культур. Уже через 10 лет после выпадений параметры поступления  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры сократились в 2–3 раза на песчаных и супесчаных почвах и в 1,2–1,3 раза – на суглинистых почвах. Переход радионуклида в клубни картофеля уменьшился в 3,7–6 раз.

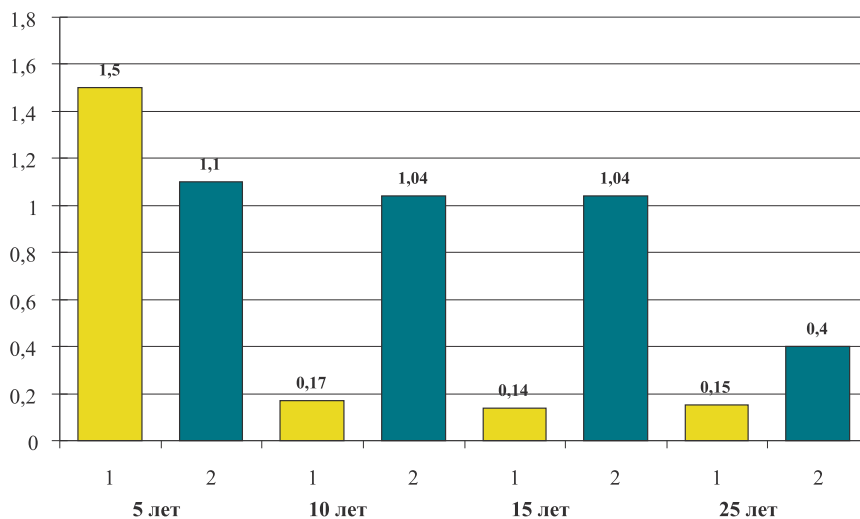


Рис. 2. Динамика коэффициентов перехода  $^{137}\text{Cs}$  (Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup>) в зеленую массу многолетних злаковых трав на дерново-подзолистой супесчаной (1) и торфяно-болотной (2) почвах

Наиболее жестко нормируются по содержанию радионуклидов продовольственные сельскохозяйственные культуры – зерновые, зернобобовые и картофель. В настоящее время наступило динамическое равновесие биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  в дерново-подзолистых почвах и коэффициенты перехода его в растения практически стабилизировались и изменяются незначительно.

На хорошо окультуренных дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах зерновые культуры (озимую рожь, озимую пшеницу, яровую пшеницу, ячмень, овес) на продовольственные цели можно возделывать без ограничений при плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  до 40 Ки/км<sup>2</sup>.

При выращивании картофеля на продовольственные цели содержание  $^{137}\text{Cs}$  в клубнях не должно превышать 80 Бк/кг. На дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах при обеспеченности подвижным калием 140–300 мг/кг плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  не лимитируется. На песчаных почвах нормативно чистый картофель можно получить при плотности загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  не более 27 Ки/км<sup>2</sup>.

Следует отметить, что на торфяно-болотных почвах в сравнении с дерново-подзолистыми биологическая доступность  $^{137}\text{Cs}$  за длительный послеаварийный период практически не снизилась. Как показывают данные, представленные на рис. 2, коэффициенты перехода его в зеленую массу многолетних злаковых трав значительно выше, чем на дерново-подзолистых песчаных и супесчаных почвах. И даже спустя 25–26 лет после аварийных выпадений переход  $^{137}\text{Cs}$  в растения на торфяно-болотных почвах в 2,7 раза выше, чем на дерново-подзолистых супесчаных почвах.

Существуют разные предположения относительно высокого накопления  $^{137}\text{Cs}$  растениями на торфяно-болотных почвах, а также стабильно высокой подвижности и доступности его во времени. Объясняется это низкой сорбционной способностью органического вещества торфяных почв, отсутствием или ничтожно ма-



лым содержанием природных минеральных сорбентов, способных фиксировать радионуклид. Предполагается также, что высокая доступность  $^{137}\text{Cs}$  обусловлена высоким содержанием в торфяных почвах органических кислот, способных образовывать высокоподвижные радионуклид-органические соединения. Имеются и другие точки зрения по данному вопросу [9, 14–16].

### Динамика коэффициентов перехода $^{90}\text{Sr}$ из почвы в растения

Как отмечалось выше, главным механизмом поглощения  $^{90}\text{Sr}$  твердой фазой почвы является ионный обмен и в настоящее время содержание доступных форм (преимущественно обменной)  $^{90}\text{Sr}$  в дерново-подзолистых почвах достигает 70%, в торфяно-болотных почвах – 50%. В связи с высокой подвижностью в почве параметры поступления его в растения на порядок выше по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$ . В первый 3–5-летний период после аварии коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  в зерновые культуры из дерново-подзолистых почв колебались в зависимости от их гранулометрического состава в среднем от 1,7 до 3,2 Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup>. В последующий период наблюдалось их снижение в среднем в 2,5–2,7 раза на песчаных и супесчаных почвах и в 1,7 раза – на суглинистых почвах и стабилизация (рис. 3).

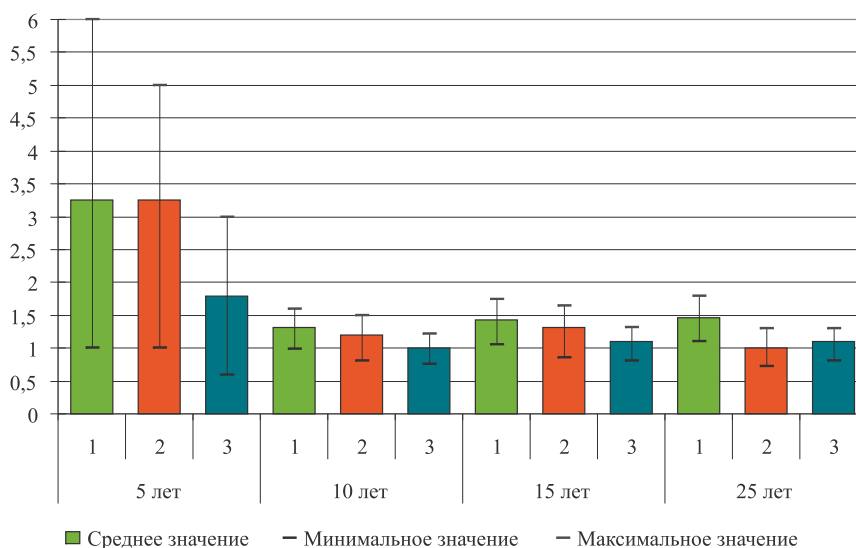


Рис. 3. Динамика коэффициентов перехода  $^{90}\text{Sr}$  (Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup>) из дерново-подзолистой почвы в зерновые культуры:  
1 – песчаная почва, 2 – супесчаная почва, 3 – суглинистая почва

В настоящее время коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  в зерновые культуры из дерново-подзолистых почв колеблются в пределах 0,8–1,4 Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup> на суглинистых почвах и 1,1–1,8 Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup> – на песчаных почвах. Следует отметить, что они на 2,5 порядка выше, чем коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в зерновые культуры, что осложняет получение растениеводческой продукции в пределах допустимых уровней. Даже при плотности загрязнения 11,1 кБк/м<sup>2</sup> (0,25–0,30 Ки/км<sup>2</sup>)

на легких по гранулометрическому составу почвах с низким уровнем плодородия существует риск получения продовольственного зерна с превышением РДУ–99 по содержанию  $^{90}\text{Sr}$  (11 Бк/кг).

В начальный послеаварийный период высоким накоплением  $^{90}\text{Sr}$  отличались картофель и кормовые корнеплоды. Коэффициенты перехода составляли в среднем 2,6 и 6 Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup> соответственно. В дальнейшем произошло существенное их снижение – в клубни картофеля в 15 раз, в кормовые корнеплоды – в 8,5–9,0 раз. Однако коэффициент перехода  $^{90}\text{Sr}$  в клубни картофеля значительно (в 5 раз) выше по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$  (рис. 4).

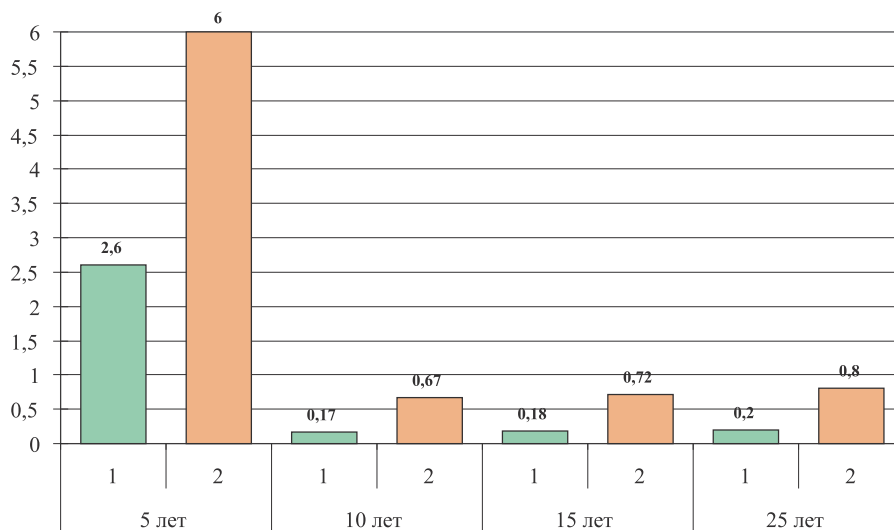


Рис. 4. Динамика коэффициентов перехода  $^{90}\text{Sr}$  (Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup>) из дерново-подзолистой супесчаной почвы в клубни картофеля (1) и корнеплоды свеклы кормовой (2)

При выращивании картофеля на продовольственные цели содержание  $^{90}\text{Sr}$  в клубнях не должно превышать 3,7 Бк/кг. На слабокислых и нейтральных суглинистых почвах продовольственный картофель можно получить при плотности загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  до 29,6 кБк/м<sup>2</sup> (до 0,8 Ки/км<sup>2</sup>). На дерново-подзолистых супесчаных и песчаных почвах плотность загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  ограничивается пределами 22,0 кБк/м<sup>2</sup> (0,6 Ки/км<sup>2</sup>). Непригодны для возделывания картофеля загрязненные радионуклидами торфяные почвы.

В зеленую массу многолетних злаковых трав параметры поступления  $^{90}\text{Sr}$  за послеаварийный период уменьшились на дерново-подзолистых супесчаных почвах в среднем в 2,9 раза, на торфяно-болотных почвах – в 9 раз. Представленные на рисунке 5 данные показывают, что как в первые годы после аварийных выпадений, так и в последующем, коэффициенты перехода  $^{90}\text{Sr}$  в зеленую массу трав на торфяных почвах были в 1,3–1,6 раза выше, чем на дерново-подзолистых супесчаных почвах. В настоящее время в связи с процессами трансформации радионуклида в почве переход его в травы на торфяных почвах ниже, чем на дерново-подзолистых почвах (рис. 5).

Следует отметить, что на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах при обеспеченности подвижным калием 140–300 мг/кг использование зеленой массы большинства видов трав для получения цельного молока уровнем загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  не лимитируется. В то же время использование зеленой массы существенно ограничивается плотностью загрязнения почвы  $^{90}\text{Sr}$ . На дерново-подзолистых почвах при оптимальных агрохимических показателях для получения цельного молока предельная плотность загрязнения  $^{90}\text{Sr}$  при возделывании многолетних злаковых и бобово-злаковых трав составляет 18,5–29,6 кБк/м<sup>2</sup> (0,5–0,8 Ки/км<sup>2</sup>).

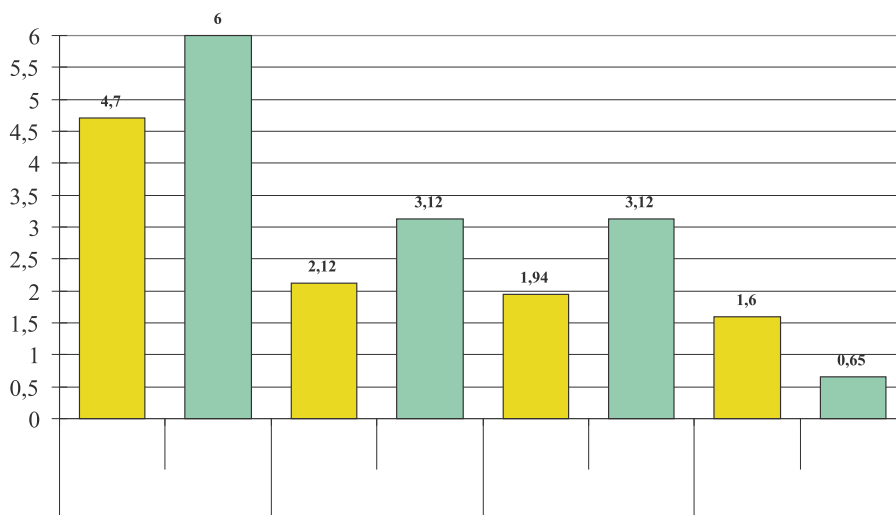


Рис. 5. Динамика коэффициентов перехода  $^{90}\text{Sr}$  (Бк/кг: кБк/м<sup>2</sup>) из дерново-подзолистой супесчаной (1) и торфяно-болотной (2) почв в зеленую массу многолетних злаковых трав

## ВЫВОДЫ

1. За послеаварийный период произошло существенное снижение биологической доступности и интенсивности миграции  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва–растение вследствие необменной фиксации и уменьшения водорастворимых и обменных форм в почве. Коэффициенты перехода его сократились на дерново-подзолистых почвах в зависимости от их гранулометрического состава в среднем в зерновые культуры в 3,0–6,7 раза, в клубни картофеля – в 5,0–7,5 раза. На торфяно-болотных почвах доступность  $^{137}\text{Cs}$  снизилась не так существенно – в среднем 2,5 раза и в целом переход радионуклида в растения на этих почвах в 2,7 раза выше, чем на дерново-подзолистых почвах.

2. Показатели поступления  $^{90}\text{Sr}$  в растения наиболее интенсивно снижались сразу после аварийных выпадений, что обусловлено в основном трансформацией водорастворимых соединений его в обменные формы, а за последние 20 лет практически не уменьшились, а в некоторых случаях даже возрастают. В связи с высокой подвижностью  $^{90}\text{Sr}$  в почве (50% и более находится в обменной фор-

ме) коэффициенты перехода его в сельскохозяйственные культуры существенно выше по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$  – в зерновые культуры более чем на порядок, в клубни картофеля – в среднем в 5 раз.

3. В настоящее время параметры биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  стабилизировались и не наблюдается их существенных изменений. Поэтому исходя из современной ситуации и коэффициентов перехода этих радионуклидов из почвы в растения, можно заключить, что основные проблемы, связанные с получением нормативно чистой продукции растениеводства могут возникать на почвах, загрязненных  $^{90}\text{Sr}$ , и на торфяно-болотных почвах, загрязненных  $^{137}\text{Cs}$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санжарова, Н.И. Динамика биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  в системе почва–растение после аварии на Чернобыльской АЭС / Н.И. Санжарова, С.В. Фесенко, Р.М. Алексахин // Доклады академии наук. – 1994. – Т. 338. – № 4. – С. 564–566.

2. Голиков, Ю.Н. Радиоактивная загрязненность и радиационная обстановка ландшафтных комплексов Гомельской и Могилевской областей / Ю.Н. Голиков, П.И. Дацкевич, В.М. Долгов // Тез. докл. респ. науч.-практ. конф. по радиобиологии и радиоэкологии. – Минск. – 1990. – С. 74.

3. Фесенко, С.В. Оценка периодов полуснижения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в корнеобитаемом слое почв луговых экосистем / С.В. Фесенко, Н.И. Спиридонов, Н.И. Санжарова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1997. – Т. 37. – № 2. – С. 267–280.

4. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление: национальный доклад; под ред. В.Е. Шевчука, В.Л. Гурачевского. – Минск: Комитет по проблемам преодоления последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь. – 2006. – 112 с.

5. Ликвидация последствий чернобыльской аварии в АПК Белоруссии / Г.В. Васильюк [и др.] // Агрохимический вестник. – 2001. – № 3. – С. 12–16.

6. Подоляк, А.Г. Влияние органических удобрений на аккумуляцию  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в травостое суходольного луга на дерново-подзолистой супесчаной почве / А.Г. Подоляк [и др.] // Агрохимия. – 2005. – № 11. – С. 66–75.

7. Цыбулько, Н.Н. Содержание форм  $^{137}\text{Cs}$  в дерново-подзолистой супесчаной почве разной степени гидроморфности / Н.Н. Цыбулько, С.С. Лазаревич, А.В. Ермоленко // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2009. – № 1. – С. 63–66.

8. Цыбулько, Н.Н. Влияние степени гидроморфности и систем основной обработки дерново-подзолистой супесчаной почвы на содержание в ней форм  $^{137}\text{Cs}$  / Н.Н. Цыбулько, А.В. Ермоленко, С.С. Лазаревич // Вестник БГСХА. – 2010. – № 4. – С. 56–60.

9. Вирченко, Е.П. Радионуклид-органические соединения в почвах зоны влияния Чернобыльской АЭС / Е.П. Вирченко, Г.И. Агапкина // Почвоведение. – 1993. – № 1. – С. 13–17.

10. Действие фульво- и гуминовых кислот на механизмы накопления радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  растительными клетками / Г.А. Соколик [и др.] // Радиоэкология

торфяных почв: материалы Междунар. конф. / Санкт-Петербургский гос. аграр. ун-т. – СПб., 1994. – С. 23–24.

11. *Моисеев, И.Т.* Изучение поведения  $^{137}\text{Cs}$  в почвах и его поступления в сельскохозяйственные культуры в зависимости от различных факторов / И.Т. Моисеев, Г.И. Агапкина, Л.А. Рерих // *Агрехимия*. – 1994. – № 2. – С. 103–118.

12. *Шмигельская, И.Д.* Накопление радионуклидов растениями в зависимости от направленности процессов почвообразования и степени гидроморфизма / И.Д. Шмигельская, В.Ю. Агеец // *Почвы, их эволюция, охрана и повышение производительной способности в современных социально-экономических условиях: материалы I съезда Белорус. общества почвоведов*, Минск, 9–10 октября 1995 г. / Акад. аграр. наук. РБ, науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии; редкол.: В.Ю. Агеец [и др.]. – Минск, 1995. – С. 272.

13. Шмигельская, И.Д. Загрязнение многолетних злаковых трав цезием-137 и стронцием-90 в зависимости от типов и свойств почв / И.Д. Шмигельская, И.А. Ефимова, Т.В. Арастович // *Почвенные исследования и применение удобрений: сб. науч. тр.* / БелНИИПА. – Минск, 2002. – Вып. 26. – С. 270–269.

14. *Агеец, В.Ю.* Система радиозкологических контрмер в агрофере Беларуси / В.Ю. Агеец. – Минск, 2001. – 250 с.

15. *Осипов, В.Б.* Особенности поведения цезия-137 и стронция-90 в торфяных почвах низинных и верховых болот / В.Б. Овсянников, С.В. Круглов, Е.В. Просянников // *Радиобиологический съезд: тезисы докладов*. – Пущино, 1993. – С. 748–749.

16. Доступность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  растениями из различных компонентов почвы / Ю.И. Бондарь [и др.] // *Почвоведение*. – 2000. – № 4. – С. 439–445.

## TIME DYNAMICS OF PARAMETERS OF MIGRATION $^{137}\text{CS}$ AND $^{90}\text{SR}$ IN SYSTEM SOIL-PLANT: THE COMPARATIVE ANALYSIS

N.N. Tsybulko

### Summary

It is established, that for after emergency the period there was an essential decrease in biological availability and intensity of migration  $^{137}\text{Cs}$  in system soil-plant owing to not exchange fixing and reduction of water-soluble and exchange forms in soil. Transfer factors were reduced on sod-podzolic soils in grain crops in 3,0–6,7 times, in potato tubers – in 5,0–7,5 times. On peat soils availability  $^{137}\text{Cs}$  has decreased on the average 2,5 times. Transition  $^{137}\text{Cs}$  in plants on these soils in 2,7 times above, than on sod-podzolic soils. Receipt indicators  $^{90}\text{Sr}$  in plants most intensively decreased right after emergency losses, further they were stabilized. In connection with high mobility  $^{90}\text{Sr}$  in soil (50% and more are in the exchange form) transfer factors in agricultural crops essentially above in comparison with  $^{137}\text{Cs}$  – in grain crops on 2,5–3 order, in potato tubers – on the average in 5 times.

Поступила 26.10.2015

## СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА В ЧЕРНОЗЕМЕ ОПОДЗОЛЕННОМ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ В ПОЛЕВОМ СЕВООБОРОТЕ

Г.Н. Господаренко, И.В. Прокопчук

*Уманский национальный университет садоводства,  
г. Умань, Украина*

### ВВЕДЕНИЕ

По своим природным свойствам черноземы относятся к почвам с высоким уровнем плодородия, однако сейчас наблюдается негативная тенденция к их ухудшению под воздействием длительного сельскохозяйственного использования. Удобрения имеют разностороннее влияние на процессы трансформации органических веществ почвы, меняя комплекс показателей, характеризующих его гумусовое состояние. Органические и минеральные удобрения является одним из наиболее значимых факторов антропогенного воздействия на почву [1]. Поэтому в качестве оптимизации эффективного плодородия весьма важное значение имеет система удобрения. Одни ученые [2, 3] утверждают, что в связи с применением только физиологически кислых минеральных удобрений потери гумуса могут составлять 4–12%, другие [4, 5] отмечают, что регулярное применение минеральных удобрений стабилизирует и оказывает положительное влияние на содержание гумуса в почве.

Трансформация гумуса приводит к изменению направлений и интенсивности протекания биохимических процессов, отражается на свойствах и режимах почвы [6]. Поэтому актуальной проблемой является выявление направлений трансформации гумуса под влиянием сельскохозяйственного использования и позволяет разработать меры оптимизации параметров основных показателей гумусового состояния.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования гумусного состояния проводили после длительного (с 1964 г.) применения удобрений в стационарном опыте кафедры агрохимии и почвоведения Уманского национального университета садоводства, заложенном на черноземе оподзоленном тяжелосугинистом на лессе [7]. Основой его является 10-польный полевой севооборот, развернутый во времени и пространстве: ячмень ярый + клевер луговой, клевер луговой, пшеница озимая, свекла сахарная, кукуруза, горох, пшеница озимая, кукуруза на силос, пшеница озимая, сахарная свекла. В севообороте применяется минеральная с внесением на 1 га площади  $N_{45}P_{45}K_{45}$ ;  $N_{90}P_{90}K_{90}$  и  $N_{135}P_{135}K_{135}$ , органическая (Навоз 9 т; 13,5 т, 18 т) и органоминеральная (Навоз 4,5 т +  $N_{22}P_{34}K_{18}$ ; Навоз 9 т +  $N_{45}P_{68}K_{36}$ ; Навоз 13,5 т +  $N_{68}P_{101}K_{54}$ ) системы удобрения.

Образцы почвы для изучения основных показателей гумусного состояния отбирали до глубины 100 см через каждые 20 см. Содержание общего гумуса оп-

ределяли сжиганием в бихромате калия с последующим титрованием хромовой кислоты в присутствии фенолантрапиловой кислоты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований показали, что длительное систематическое использование почвы в сельскохозяйственном производстве способствует снижению содержания гумуса по сравнению с показателями на момент закладки опыта (табл. 1). При этом системы удобрения, которые изучались по-разному, влияли на содержание гумуса. Так, при минеральной системе в слое почвы 0–20 см содержание гумуса уменьшилось на 0,47–0,55 абс. % по сравнению с его содержанием на момент закладки опыта, однако если сравнить с контролем, то отмечено незначительное увеличение (на 0,03–0,11 абс. %), то есть в пределах ошибки опыта. Подобное влияние минеральных удобрений на содержание гумуса в почве наблюдали и другие ученые [8].

Применение полуперепревшего навоза способствовало сохранению содержания гумуса в почве на уровне 2,88–3,24%. При этом содержание гумуса зависело от нормы его внесения и было выше с ее повышением. В варианте опыта с высокой нормой навоза (18 т/га) содержание гумуса было на уровне показателя на момент закладки опыта (3,31%). Это свидетельствует о том, что внесение органических удобрений является источником энергетического материала для микроорганизмов почвы, которые способствуют усилению процесса гумусообразования. Совместное внесение органических и минеральных удобрений наиболее существенно среди вариантов, которые изучались в опыте, способствовало образованию и накоплению гумуса в почве. Так, в слое почвы 0–20 см на первом уровне органоминеральной системы удобрения содержание гумуса составило 3,16%, что на 0,43 абс. % больше по сравнению с контрольным вариантом.

Таблица 1

### Содержание гумуса в почве после длительного (50 лет) применения удобрений в полевом севообороте, %

Вариант опыта	Шар почвы, см				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100
На момент закладки опыта	3,31	3,00	2,74	1,98	1,58
Без удобрения (контроль)	2,73	2,43	2,19	1,90	1,56
N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	2,76	2,65	2,39	1,93	1,56
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	2,80	2,61	2,38	1,94	1,54
N <sub>135</sub> P <sub>135</sub> K <sub>135</sub>	2,84	2,69	2,36	1,93	1,58
Навоз 9 т	2,88	2,73	2,40	1,94	1,58
Навоз 13,5 т	3,03	2,80	2,39	1,95	1,59
Навоз 18 т	3,24	2,95	2,51	1,98	1,55
Навоз 4,5 т + N <sub>22</sub> P <sub>34</sub> K <sub>18</sub>	3,16	2,91	2,63	1,98	1,55
Навоз 9 т + N <sub>45</sub> P <sub>68</sub> K <sub>36</sub>	3,34	3,03	2,79	1,98	1,58
Навоз 13,5 т + N <sub>67</sub> P <sub>102</sub> K <sub>54</sub>	3,39	3,14	2,89	1,99	1,56
НСР <sub>05</sub>	0,15	0,14	0,12	0,10	0,08



В варианте опыта Навоз 9 т +  $N_{45}P_{68}K_{36}$  содержание гумуса составило 3,34%, что на 0,61 абс. % превышает контроль. В варианте опыта, где на фоне 13,5 т/га навоза вносится  $N_{67}P_{102}K_{54}$ , содержание гумуса составляло 3,39%. Таким образом, совместное внесение органических и минеральных удобрений обеспечивает высокое содержание гумуса в почве. Аналогичные данные были получены и другими учеными [9]. Следует также отметить, что изменения в содержании гумуса по профилю почвы были отмечены до глубины 60 см.

Современное гумусное состояние черноземных почв является результатом многовековой эволюции почв под влиянием антропогенной деятельности человека. Одним из главных информативных показателей гумусного состояния – запасы гумуса, которые объективно показывают общую тенденцию к ухудшению или улучшению гумусного состояния почвы, а также свидетельствуют об общих резервах питательных веществ в почве [10].

Самые высокие запасы гумуса в слое почвы 0–20 см характерны для вариантов органоминеральной системы удобрения – 80,3–83,4 т/га, в слое 0–100 см его запасы составляли от 308,8 до 322,2 т/га (табл. 2).

Таблица 2

**Запасы гумуса в почве после длительного (50 лет) применения удобрений в полевом севообороте, т/га**

Вариант опыта	Шар почвы, см					
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	0–100
На момент закладки опыта	82,1	75,0	68,0	48,7	39,2	312,9
Без удобрений (контроль)	69,3	64,6	54,8	47,1	38,7	274,5
$N_{45}P_{45}K_{45}$	70,1	70,0	59,3	47,5	38,7	285,5
$N_{90}P_{90}K_{90}$	72,2	68,4	59,5	47,7	38,2	286,0
$N_{135}P_{135}K_{135}$	74,4	71,6	59,0	47,9	39,2	292,0
Навоз 9 т	70,8	68,8	60,0	47,7	39,2	286,6
Навоз 13,5 т	73,9	69,4	59,3	48,4	39,4	290,4
Навоз 18 т	78,4	73,2	62,2	48,7	38,4	301,0
Навоз 4,5 т + $N_{22}P_{34}K_{18}$	80,3	75,7	65,8	48,7	38,4	308,8
Навоз 9 т + $N_{45}P_{68}K_{36}$	82,8	77,0	69,2	49,1	39,2	317,3
Навоз 13,5 т + $N_{67}P_{102}K_{54}$	83,4	79,1	71,7	49,4	38,7	322,2

Несколько меньше они были в вариантах органической системы удобрения 70,8–78,4 т/га, а в метровом слое – 286,6–301,0 т/га. Среди систем, которые изучались в опыте наименьшими запасами гумуса, характеризовались варианты минеральной системы удобрения. Самые низкие запасы гумуса были в черноземе оподзоленном в варианте без применения удобрений и в слое почвы 0–20 см составляли 69,3 т/га, а в слое 0–100 см – 274,5 т/га. Такие низкие значения объясняются тем, что в этом варианте источником органического вещества являются только пожнивные остатки культур полевого севооборота, которые также были незначительными в связи с низкими урожаями культур.

Одним из важных показателей с практической точки зрения, который четко отражает процессы гумификации или минерализации гумуса является среднегодовые изменения запасов гумуса в почве в зависимости от удобрения (табл. 3).

Таблица 3

**Изменение запасов гумуса в почве в зависимости от удобрений  
за период 1965–2014 гг., т/га в год**

Вариант опыта	Шар почвы, см				
	0–20	20–40	0–40	40–100	0–100
Без удобрений (контроль)	–0,25	–0,21	–0,46	–0,31	–0,77
N <sub>45</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	–0,24	–0,10	–0,34	–0,21	–0,55
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	–0,20	–0,13	–0,33	–0,21	–0,54
N <sub>135</sub> P <sub>135</sub> K <sub>135</sub>	–0,15	–0,07	–0,22	–0,20	–0,42
Навоз 9 т	–0,22	–0,12	–0,35	–0,18	–0,53
Навоз 13,5 т	–0,16	–0,11	–0,27	–0,18	–0,45
Навоз 18 т	–0,07	–0,04	–0,11	–0,13	–0,24
Навоз 4,5 т + N <sub>22</sub> P <sub>34</sub> K <sub>18</sub>	–0,04	0,01	–0,02	–0,06	–0,08
Навоз 9 т + N <sub>45</sub> P <sub>68</sub> K <sub>36</sub>	0,01	0,04	0,05	0,03	0,09
Навоз 13,5 т + N <sub>67</sub> P <sub>102</sub> K <sub>54</sub>	0,03	0,08	0,11	0,08	0,19

Изменения запасов гумуса в условиях длительных стационарных опытов дают объективное представление о скорости и характере прохождения процессов гумификации. Как показали расчеты, в слое почвы 0–20 см запасы гумуса по сравнению с запасами на момент закладки опыта уменьшаются на всех уровнях и системах удобрения со скоростью от 0,04 до 0,25 т/га в год. Исключением оказалась органоминеральная система удобрения второго и третьего уровней, где было отмечено незначительное увеличение запасов гумуса на 0,01–0,03 т/(га·год).

Поддержание высокого уровня гумусованности почвы обеспечивает высокую интенсивность биохимических процессов, связанных с обеспечением растений элементами питания и поддержания высокого уровня эффективного плодородия. Трансформация навоза в гумус в значительной степени определяется системой применения удобрений, действием и последствием их, выращиваемыми культурами, активностью почвенных микроорганизмов. Расчет изогумусовых коэффициентов (количество гумуса которое образуется в почве с единицы сухого вещества навоза, %) показал, что при органической системе удобрения для слоя почвы 0–20 см он составлял всего 1,3–4,0%, что свидетельствует об относительно невысокой трансформации навоза в гумус при внесении одних только органических удобрений (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние норм удобрений и систем удобрения на изогумусовый коэффициент навоза (1964–2014 гг.), %**

Вариант опыта	Шар почвы, см				
	0–20	20–40	0–40	40–100	0–100
Навоз 9 т	1,3	3,7	5,0	5,6	10,7
Навоз 13,5 т	2,7	2,8	5,6	3,9	9,4
Навоз 18 т	4,0	3,8	7,8	3,9	11,7
Навоз 4,5 т + N <sub>22</sub> P <sub>34</sub> K <sub>18</sub>	19,4	19,6	39,0	21,9	60,9
Навоз 9 т + N <sub>45</sub> P <sub>68</sub> K <sub>36</sub>	12,0	11,0	22,9	15,0	38,0
Навоз 13,5 т + N <sub>67</sub> P <sub>102</sub> K <sub>54</sub>	8,3	8,6	16,9	11,4	28,3

При сочетании органических удобрений с минеральными показатель изогумусового коэффициента значительно возрастает до 8,3% на третьем уровне, до 19,4% на первом уровне органоминеральной системы удобрения. Аналогичные данные были получены и другими учеными [11], где показано, что из-за совместного внесения навоза и минеральных удобрений гумуса в почве накапливается больше, чем при внесении только навоза.

## ВЫВОДЫ

Длительное сельскохозяйственное использование почвы в полевом севообороте без применения удобрений приводит к уменьшению содержания и запасов гумуса в почве. Изменения проходят в слое почвы 0–60 см. При разных уровнях и системах удобрения уменьшаются среднегодовые потери гумуса. Только во втором и третьем уровнях органоминеральной системы наблюдается компенсация минерализации гумуса его новообразованием. Расчет изогумусового коэффициента показывает, что более эффективной с точки зрения накопления гумуса в почве является органоминеральная система удобрения. Изогумусовый коэффициент навоза для слоя почвы 0–100 см при этом составляет 28,3–60,9% в зависимости от нормы его внесения и нормы минеральных удобрений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бульо, В.С. Напрями трансформації органічної речовини у сірому лісовому ґрунті під впливом різних систем удобрення / В.С. Бульо, В.В. Сорочинський // Педігрне і гірське землеробство і тваринництво. – 2004. – Вип. 46. – С. 3–9.
2. Носко, Б.С. Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии в условиях Украины / Б.С. Носко, Г.Я. Чесняк // Земледелие. – 1988. – № 1. – С. 27–28.
3. Когут, Б.М. Влияние длительного сельскохозяйственного использования на гумусовое состояние чернозема типичного / Б.М. Когут // Органическое вещество пахотных почв. – М., 1987. – С. 118–126.
4. Хлыстовский, А.Д. Плодородие почвы при длительном применении удобрений и известии / А.Д. Хлыстовский. – М.: Наука, 1992. – 192 с.
5. Лыков, А.М. Органическое вещество и плодородие почвы в интенсивном земледелии / А.М. Лыков, Б.П. Бойчан, С.М. Вьюгин. – М.: ВНИИТЭИСХ, 1984. – 58 с.
6. Скрильник, Є.В. Трансформація гумусового стану ґрунтів та їх енергоємності під впливом різних систем удобрення / Є.В. Скрильник, В.В. Шимель // Агрохімія і ґрунтознавство: спец. випуск Охороні ґрунтів – державну підтримку. – Харків, 2010. – Кн. 3. – С. 282 – 284.
7. Стационарні польові дослідження України. Реєстр тестатів. – К.: Аграрна наука, 2014. – 146 с.
8. Шедей, Л.О. Вплив добрив на гумусовий стан і азотний фонд чорнозему опідзоленого та продуктивність сівозміни за традиційного і ресурсозберігаючого землеробства: автореф. дис. ... на здобуття наук ступеня канд. с.-г. наук: спец. 06.01.04 – агрохімія / Л.О. Шедей. – Харків, 2005. – 22 с.

9. Тараріко, Ю.О. Вплив систематичного застосування органічних і мінеральних добрив на біологічні процеси та гумусний стан чорнозему типового / Ю.О. Тараріко, Л.Д. Глущенко // Вісник аграрної науки. – 2002. – № 11. – С. 18–20.

10. Підвальна, Г.С. Гумусовий стан автоморфних ґрунтів Пасмового Побужжя: монографія / Г.С. Підвальна, С.П. Позняк. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2004. – 192 с.

11. Багаутдинов, Ф.Я. Гумусовое состояние серой лесной почвы и чернозема типичного при внесении органических и минеральных удобрений / Ф.Я. Багаутдинов // Агрехимия. – 1993. – № 12. – С. 68–75.

## HUMUS CONTENT IN PODZOLIC CHERNOZEM AFTER LONG FERTILIZER APPLICATION IN CROP ROTATION

H.N. Hospodarenko, I.V. Prokopchuk

### Summary

The article is devoted to the analysis of humus and changes of its reserves in podzolic chernozem in a prolonged agricultural use. Reduction of humus and its stocks in comparison with the data at the time of carrying of the experiment, due to increasing of mineralization process and the low return had organic residues to soil. Fertilizing systems that were studied in the experiment, different influence on humus conditions. The best dynamic stabilization observed by organo-mineral fertilizer system in the versions of 9 tons of manure and manure +  $N_{45}P_{68}K_{36}$  13,5 t +  $N_{67}P_{102}K_{54}$ .

Поступила 07.09.2015

УДК 631.45

## ПРИЕМЫ РАСШИРЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ПЛОДОРОДИЯ ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ ПРИАМУРЬЯ

Т.А. Асеева

*Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровский край, п. Восточный, Россия*

### ВВЕДЕНИЕ

Пахотные почвы Среднего Приамурья характеризуются низким естественным плодородием, как правило, они кислые, слабооструктуренные, большей частью тяжелосуглинистые, в периоды муссонных дождей переувлажняются, и, как следствие этого, переуплотняются. Гумус в почвах неустойчивого состава и при интенсивной обработке почв быстро разрушается.

Анализ современного состояния сельскохозяйственных угодий в Хабаровском крае, оценка динамики изменения качественных показателей земель свидетельствуют о тенденции ухудшения общей экологической обстановки в земледелии региона и снижения уровня плодородия пахотных почв [1].

Многочисленные научные исследования и опыт практического земледелия показывают, что к важным факторам, определяющим уровень почвенного плодородия, относится органическое вещество почвы, и главным образом, гумус. Особенно роль гумуса усиливается в условиях дефицита применения удобрений и других средств химизации [2, 3]. Среди многочисленных его функций на первый план выходят такие, как способность обеспечивать растения углеродом, элементами минерального питания, ростовыми веществами, регулировать водно-воздушные, тепловые и физические свойства [3]. Установлена тесная взаимосвязь между содержанием гумуса и водопропускной способностью агрегатов и предельной полевой влагоемкостью.

Важнейшим средством восстановления и поддержания плодородия почвы является севооборот. В настоящее время в практике сложилось стойкое убеждение, что использование многовидовых севооборотов и средообразующих возможностей культивируемых растений характерно только для экстенсивного способа ведения сельского хозяйства. Между тем, в условиях сокращения видового разнообразия агроэкосистемы и перехода к монокультуре резко ухудшаются многие свойства почвы. Только в севооборотах в полной мере реализуются средоулучшающие и ресурсовосстанавливающие функции культурных растений: накопления органического вещества в почве, биологической фиксации атмосферного азота, использования труднодоступных элементов минерального питания, усиления структурообразующих и почвозащитных свойств, повышения фитосанитарной роли [4].

В условиях Приамурья проблема расширенного воспроизводства плодородия сезонно-мерзлотных почв представляет большой и практический, и методический интерес, в связи с чем целью наших исследований стало изучение и разработка приемов, обеспечивающих сохранение и повышение плодородия почвы в сложных почвенноклиматических условиях Среднего Приамурья.

## **МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Исследования по изучению влияния различных типов севооборотов на изменение плодородия почвы и продуктивность культур в севообороте проводили в полевых и специализированных севооборотах (табл. 1 и 3), расположенных на лугово-бурой оподзоленно-глеевой тяжелосуглинистой почве. Мощность гумусового горизонта – до 20 см, содержание гумуса – до 4% и более, реакция среды кислая (рН сол. < 4,5), гидролитическая кислотность – 10–12 мг-экв./100 г почвы, сумма обменных оснований – 15–17 мг-экв./100 г почвы, обеспеченность подвижным фосфором низкая, а обменным калием высокая и очень высокая. Водно-воздушный режим регулируется мелиоративными и агро-мелиоративными приемами.

Схемы севооборотов

Наименование севооборотов	Чередование культур в севообороте
1. 3-польный	Овес, пшеница, соя
2. 5-польный с кукурузой	Кукуруза, соя, пшеница, соя, овес
3. 5-польный с клевером	Клевер, соя, пшеница, соя, овес + клевер
4. 5-польный кормовой	Пшеница, овес + мн травы, мн. травы 1 г.п., мн. травы 2 г. п., соя
5. 2-польный пропашной	Соя, кукуруза
6. Бессменный	Кукуруза
<i>Малопольные специализированные зерно-соевые севообороты</i>	
7. 3-польный	Овес, соя, овес
8. 2-польный	Соя, овес
9. 3-польный	Овес, соя, соя
10. Бессменный	Овес
11. Бессменный	Соя

В севооборотах возделывались: яровая пшеница Хабаровчанка, овес Тигровый, кукуруза Бирсу на зеленую массу и соя Марината.

Исследования по изучению влияния различных систем удобрений при длительном их применении на изменение содержания органического вещества в сезонно-мерзлотных почвах проводились в длительных стационарных опытах Географической сети РФ, заложенных в 1963–1965 гг. последовательно на трех полях семипольного полевого севооборота. Чередование культур в 7 ротации было следующим: однолетние травы, яровая пшеница, соя, ячмень с подсевом трав, травы 1-го года пользования, травы 2-го года пользования, соя, овес. За все годы исследований было внесено  $N_{2355}P_{2550}K_{1755}$  кг д.в./га, органических удобрений и извести за первые четыре ротации соответственно 220 т/га (120 т/га навоза и 100 т/га торфокомпоста) и 18 т/га, или 2,25 г.к. Побочная продукция всех культур запахивалась. Для расчета баланса гумуса и азота был использован расчетный метод [5], в основу которого положены уравнения регрессии для определения основной продукции, справочные данные по содержанию азота в различных частях растений, коэффициенты гумификации растительных остатков и подстилочного навоза, коэффициенты пересчета органических удобрений на подстилочный навоз. Содержание гумуса определялось в соответствии с ГОСТ 26213–91 на приборе-11.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате полевых исследований установлено, что наиболее благоприятные условия для пополнения запасов гумуса складываются в севооборотах, где отмечен большой приход органического вещества в почву и меньшая его минерализация: 3-польный, 5-польные с клевером и двумя полями многолетних трав, 3-польный зерно-соевый (табл. 2). Баланс гумуса в этом случае положительный.

**Влияние типа севооборота на содержание гумуса и азота в почве  
(2003–2008 гг.)**

Тип севооборота	%	
	гумус	N <sub>общ</sub>
1. 3-польный	4,1	0,14
2. 5-польный с кукурузой	4,0	0,15
3. 5-польный с клевером	4,6	0,16
4. 5-польный кормовой	4,9	0,24
5. 2-польный пропашной	3,9	0,17
6. Кукуруза бессменно	3,2	0,15
<i>Малопольные специализированные зерно-соевые севообороты</i>		
7. 3-польный	4,0	0,20
8. 2-польный	3,7	0,18
9. 3-польный	3,6	0,18
10. Соя бессменно	3,2	0,14
11. Овес бессменно	3,4	0,17

Два поля многолетних трав в севообороте способствуют росту содержания общего азота в пахотном горизонте почвы до 0,24%. Здесь же отмечается и самое высокое содержание гумуса 4,9%. Бессменное возделывание пропашных культур резко ухудшают качественные показатели почвы.

Степень влияния различных систем удобрений на изменение содержания органического вещества в пахотном горизонте тяжелосуглинистой почвы зависит от возделываемой в севообороте культуры.

При возделывании овса в полевом севообороте суммарное поступление (солома, корневые и пожнивные остатки) в почву органической массы изменялось, в зависимости от применяемой системы удобрений и урожайности, от 14,6 до 84,1 ц/га. Из этого количества в почву поступило 0,26–1,51 т/га гумуса. С учетом потери гумуса при его минерализации, под посевами овса накоплению его способствовали в основном минеральные удобрения как в одностороннем порядке, так и в сочетании с известковой и органической системами (табл. 3).

**Влияние различных систем удобрений при возделывании овса  
на воспроизводство гумуса в почве (2010–2012 гг.)**

Вариант	Поступление в почву сухого вещества, ц/га	Воспроизводство гумуса, т/га	Минерализация гумуса, т/га	Баланс гумуса, ± т/га
1. Контроль б/у	14,6	0,26	0,8	-0,54
2. Навоз +ТФК 220 т/га п/д О	48,7	0,88	0,8	+0,08
3. N <sub>32</sub> P <sub>32</sub> K <sub>32</sub> М	77,7	1,40	0,8	+0,60
4. Са по 2,25 г.к. п/д И	24,9	0,45	0,8	-0,35
5. О + М	84,1	1,51	0,8	+0,71
6. О + И	57,2	1,02	0,8	+0,22
7. И + М	66,8	1,20	0,8	+0,40
8. О + И + М	70,1	1,26	0,8	+0,46



При возделывании сои в полевом севообороте поступление в почву органической массы было значительно ниже, чем при возделывании овса (табл. 4).

Таблица 4

**Влияние различных систем удобрений при возделывании сои на воспроизводство гумуса в почве (2009–2011 гг.)**

Вариант	Поступление в почву сухого вещества, ц/га	Воспроизводство гумуса, т/га	Минерализация гумуса, т/га	Баланс гумуса, ± т/га
1. Контроль б/у	32,9	0,66	1,0	-0,34
2. ТФК по 100 т/га п/д О	39,9	0,80	1,0	-0,20
3. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> М	38,9	0,78	1,0	-0,22
4. Са по 2,25 г.к. п/д И	33,3	0,67	1,0	-0,33
5. О + М	35,7	0,71	1,0	-0,29
6. О + И	40,9	0,82	1,0	-0,18
7. И + М	36,4	0,73	1,0	-0,27
8. О + И + М	38,9	0,78	1,0	-0,22

За счет гумификации органических остатков сои образовалось, в зависимости от применяемой системы удобрений, от 0,66 до 0,82 т/га гумуса. В процессе вегетации сои под ее посевами минерализовалось 1,0 т/га гумуса. Не зависимо от систем удобрений, минерализация гумуса превысила поступление его в почву за счет гумификации. По всем вариантам отмечено снижение содержания гумуса в почве на 0,18–0,34 т/га в год.

Эти данные подтверждаются многолетними наблюдениями за содержанием гумуса в почве в стационарных полевых опытах (рис. 1).

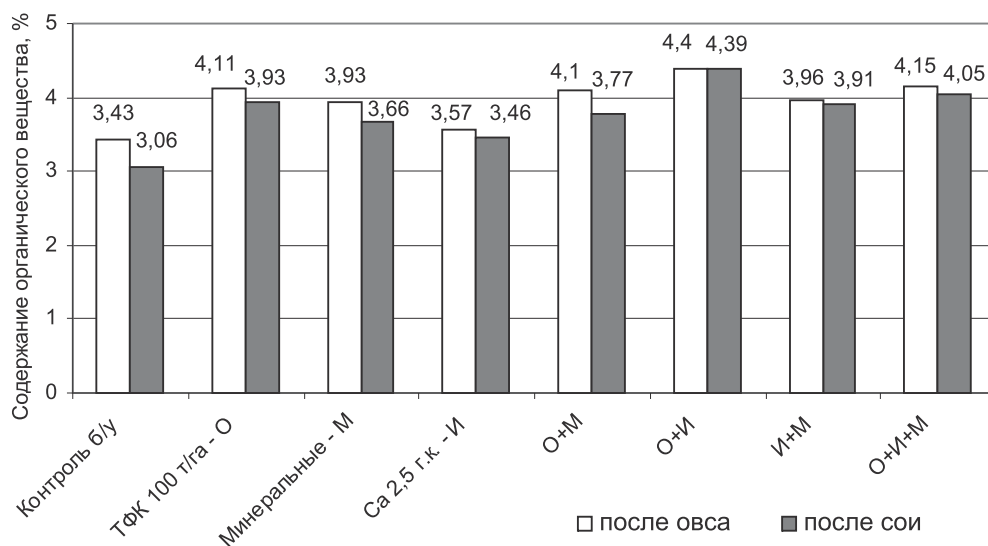


Рис. 1. Влияние возделываемых культур на содержание гумуса в почве в зависимости от применяемой системы удобрений

Содержание гумуса в почве после возделывания сои в контрольном варианте ниже, чем после возделывания овса на 0,37%. По сравнению с контрольным вариантом применение любой системы удобрений способствует накоплению органического вещества в пахотном горизонте почвы. Максимальное его увеличение отмечено при длительном использовании органической системы удобрений в полевом севообороте как в одностороннем порядке, так и в сочетании с минеральной и известковой системами. В этом случае дополнительно в пахотном слое почвы накопилось под овсом 0,68–0,97%, под соей – 0,87–1,33% органического вещества.

Как одностороннее систематическое внесение минеральных удобрений, так и последствие длительного применения известковых удобрений обеспечивают повышение содержания органического вещества в почве не более чем на 0,4% по сравнению с контрольным вариантом. Максимальное содержание органического вещества в почве отмечается при длительном использовании органо-известковой системы удобрений 4,39–4,40%, что выше, чем в контрольном варианте на 0,97–1,33% в зависимости от возделываемой культуры.

В свою очередь, уровень плодородия почвы оказывает влияние на эффективность применяемых систем удобрений. Так, при возделывании овса достоверная прибавка зерна по сравнению с контрольным вариантом получена только при систематическом применении минеральных удобрений как в одностороннем порядке, так и в сочетании с известковой и органической системами удобрений. Дополнительно получено 6,9–11,6 ц/га зерна (табл. 5). Максимальный рост урожайности обеспечило систематическое применение минеральных удобрений по последствию известкования почвы, рост урожайности относительно контроля составил 37%. Расчет корреляционной зависимости между урожаем овса и содержанием органического вещества в пахотном горизонте почвы показал, что между этими показателями существует средняя корреляционная зависимость ( $r = 0,52$ ).

Таблица 5

**Влияние различных систем удобрений на урожайность овса и сои  
(в среднем за три года)**

Вариант	Урожайность овса, ц/га	Прибавка урожая овса, ц/га	Урожайность сои, ц/га	Прибавка урожая сои, ц/га
1. Контроль б/у	31,3	–	15,0	–
2. ТФК по 100 т/га п/д О	35,4	4,1	17,5	2,5
3. НРК М	38,2	6,9	25,9	10,9
4. Са по 2,25 г.к. п/д И	32,4	1,1	18,1	3,1
5. О + М	38,9	7,6	26,4	11,4
6. О + И	35,1	3,8	19,2	4,2
7. И + М	42,9	11,6	27,7	12,7
8. О + И + М	41,8	10,5	30,9	15,9
НСР 0,5 ц/га	3,8		3,2	

Соя, как и овес, отзывчивы на систематическое применение минеральных удобрений. Эффективность их возрастает при использовании по последствию известковых удобрений. Максимальная урожайность 30,9 ц/га получена при воз-

делывании сои по полной системе удобрений. Между урожайностью сои и содержанием органического вещества в почве под ее посевами также установлена средняя корреляционная зависимость –  $r = 0,52$ .

Многочисленные данные свидетельствуют о том, что виды растений с высокой средоулучшающей способностью улучшают физические и химические свойства почвы. Важным показателем физических свойств почвы является количество водопрочных агрегатов в пахотном слое.

В экспериментальных севооборотах при изучении влияния чередования культур в севооборотах на количество водопрочных агрегатов установили, что наиболее благоприятные условия для образования водопрочных агрегатов складывались в пятипольном севообороте под многолетними травами (табл. 6).

Таблица 6

**Содержание водопрочных агрегатов (более 0,25 мм) в пахотном слое почвы в зависимости от типа севооборота и культуры**

Культура	Севооборот	Содержание агрегатов, %
Пшеница	3-польный	34,8
	5-польный с кукурузой	33,4
	5-польный с клевером	35,9
Овес	3-польный	37,5
	5-польный с кукурузой	38,4
	5-польный с клевером	36,0
Соя	3-польный	35,1
	5-польный с кукурузой по кукурузе	36,8
	5-польный с кукурузой по пшенице	31,1
	5-польный с клевером по клеверу	34,9
	5-польный с клевером по пшенице	31,4
	2-польный	35,0
Кукуруза	Постоянный участок	28,1
	5-польный	36,4
	2-польный	30,9
Клевер	5-польный	47,0
Соя	5-польный	39,0
Многол. травы 2-го г.п.	Кормовой севооборот	50,8
Многол. травы 1-го г.п.		49,6
Овес + мн. травы		37,1
Овес		39,0

При выращивании культур бесменно содержание водопрочных агрегатов заметно снижается. Так, в пахотном слое почвы при бесменном возделывании кукурузы их количество составило 28,1%.

В специализированных зерно-соевых севооборотах при бесменном возделывании овса и сои физические свойства почвы заметно ухудшались (табл. 7). Количество водопрочных агрегатов снизилось под овсом на 9,3–11,9%, под соей – на 7,1–10,0% в сравнении с зерно-соевыми звеньями севооборотов.

Таблица 7

**Содержание водопрочных агрегатов (более 25 мм) в пахотном слое почвы  
в специализированных зерно-соевых оборотах**

Севооборот	Содержание водопрочных агрегатов по культурам, %	
	овес	соя
3-польный по овсу	38,3	35,5
3-польный по сое	40,3	34,2
2-польный	38,7	36,2
3-польный	37,4	37,1
Бесменный	29,0	27,1

Химические свойства почвы также претерпевали заметные изменения под влиянием типа севооборота, особенно блок кислотно-щелочных свойств. Наиболее благоприятно они складывались при чередовании культур в 5-польном кормовом севообороте (табл. 8).

Таблица 8

**Изменение агрохимических свойств лугово-бурой тяжелосуглинистой почвы  
под влиянием севооборота**

Тип севооборота	%		РН сол.	Мг/экв на 100 г почвы		% V	Мг/100 г почвы	
	гумус	N <sub>общ</sub>		Hг	ΣCa +Mq		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1. 3-польный	4,1	0,14	4,4	6,7	17,1	71,1	4,1	29,3
2. 5-польный с кукурузой	4,0	0,15	4,5	6,4	17,6	74,0	3,5	25,0
3. 5-польный с клевером	4,6	0,16	4,3	7,2	14,8	67,0	3,0	10,6
4. 5-польный кормовой	4,9	0,24	5,2	4,4	17,2	80,0	3,2	25,6
5. 2-польный пропашной	3,9	0,17	4,2	8,8	14,2	62,0	3,9	10,8
6. Кукуруза бесменно	3,2	0,15	4,5	6,4	13,6	67,0	4,0	10,1
Малопольные специализированные зерно-соевые севообороты								
7. 3-польный	4,0	0,20	4,8	3,6	17,8	83,5	4,9	31,3
8. 2-польный	3,7	0,18	4,7	3,4	17,7	83,5	4,4	33,5
9. 3-польный	3,6	0,18	4,7	3,3	17,4	84,0	4,0	36,0
10. Соя бесменно	3,2	0,14	4,6	3,4	16,7	84,0	3,3	28,9
11. Овес бесменно	3,4	0,17	4,6	3,5	15,8	82,0	3,8	35,1

Два поля многолетних трав в севообороте способствуют снижению кислотности почвенного раствора, снижению гидролитической кислотности почвы и повышению обеспеченности обменными основаниями почвенного поглощающего комплекса. Под их влиянием возрастает содержание гумуса и общего азота в пахотном горизонте почвы. Возделывание кукурузы бесменно и ее чередование с соей в 2-польном севообороте резко ухудшают качественные показатели почвы. Ухудшаются кислотно-щелочные свойства и обеспеченность почвенного поглощающего комплекса обменными основаниями. Возделывание кукурузы в севообороте снижает обеспеченность пахотного горизонта обменным калием до 101–108 кг/га.

В малопольных специализированных севооборотах агрохимические свойства почвы более стабильны. Несколько ухудшаются они при бесменных посевах овса и сои.

Улучшение показателей плодородия почв в севооборотах способствует росту их производительности. Продуктивность севооборотов определяется набором культур в них (табл. 9).

Самая низкая продуктивность получена в 3-польном зерно-соевом севообороте: средняя урожайность зерна возделываемых в нем культур составила 22,8 ц/га, а выход кормовых единиц с 1 га севооборотной площади не превысил 30,9 ц/га. Увеличение севооборотных полей до 5 и набора культур, возделываемых на полях, повысили сбор зерна в них на 4,3–7,6 ц/га и выход кормовых единиц с 1 га севооборотной площади – на 1,5–6,4 ц/га.

Наиболее продуктивным был 5-польный кормовой севооборот с двумя полями многолетних трав. Урожай зерна составил 30,4 ц/га, а кормовых единиц – 32,4 ц/га с 1 га севооборотной площади.

Таблица 9

**Влияние набора культур на продуктивность севооборотной площади**

Севооборот	С 1 га севооборотной площади, ц/га	
	урожайность,	выход кормовых единиц
<i>Полевые севообороты</i>		
1. 3-польный зерно-соевый	22,8	26,0
2. 5-польный с кукурузой	27,6	30,9
3. 5-польный с клевером	27,1	27,5
4. 5-польный кормовой	30,4	32,4
5. 2-польный пропашной	27,7	30,2
6. Бессменно кукуруза	31,9 (197,8 зел.м.)	31,9
<i>Специализированные севообороты</i>		
7. 3-польный, 33% сои	24,0	26,3
8. 2-польный, 50% сои	23,8	27,0
9. 3-польный, 66% сои	19,4	23,0
10. Бессменно соя	9,5	13,1
11. Бессменно овес	19,6	19,6

Продуктивность малопольных специализированных севооборотов определяется долей в их структуре сои. С увеличением доли сои с 33 до 66% снизилась урожайность зерна с севооборотной площади на 0,2–4,4 ц/га. В бессменных посевах сои урожайность зерна снижается на 14,5 ц/га, или на 152,6%. С такой же фактически закономерностью уменьшается выход кормовых единиц с 1 га севооборотной площади. Неэффективны и бессменные посева овса. Урожайность зерна в них с 1 га севооборотной площади стабилизировалась на уровне 3-польного севооборота с 66% содержанием сои. При этом выход кормовых единиц снизился на 3,4 ц/га.

**ВЫВОДЫ**

Расширенному воспроизводству плодородия тяжелосуглинистых почв в экстремальных условиях Среднем Приамурье способствует возделывание сельскохозяйственных культур в полевых севооборотах. Содержание гумуса по сравнению с бессменным возделыванием кукурузы в 3-польном, 5-польном с клевером

и двумя полями многолетних трав, 3-польном зерно-соевом севооборотах, где отмечен большой приход органического вещества и меньшая его минерализация, было выше на 25,0–53,1%.

Увеличению поступления в почву органической массы возделываемых в полевом севообороте культур способствует систематическое применение удобрений. Применение минеральных удобрений как в одностороннем порядке, так и по длительному последствию органической и известковой систем удобрений при возделывании овса обеспечило повышение содержания гумуса на 1,2–1,4 т/га, под соей соответственно на 0,73–0,80 т/га.

Возделывание в севообороте пропашных культур и бессменные посевы сельскохозяйственных культур приводят к ухудшению физических и химических свойств сезонно-мерзлотных почв Среднего Приамурья.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асеева, Т.А. Современное состояние сельскохозяйственных земель Хабаровского края / Т.А. Асеева, Л.В. Ким // Пути повышения эффективности научных исследований на Дальнем Востоке. – Новосибирск, 2003. – Т. 2. – С. 78–84.
2. Асеева, Т.А. Гумусное состояние пахотных почв Хабаровского края в зависимости от типа севооборота и времени его освоения / Т.А. Асеева // Плодородие. – 2008. – № 6(54). – С. 4–6.
3. Фокин, А.Д. О роли органического вещества почв в функционировании природных и сельскохозяйственных экосистем / А.Д. Фокин // Почвоведение. – 1994. – № 4. – С. 40–45.
4. Тюрин, И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии почвы / И.В. Тюрин. – М.: Наука, 1965. – 320с.
5. Методические указания расчета баланса гумуса при разработке внутрихозяйственного устройства. – М., 1989. – 25с.

### METHODS OF EXPANDING REPRODUCTION OF HEAVY LOAMY SOILS FERTILITY OF THE PRIAMURYE REGION

T.A. Aseeva

#### Summary

The data on the influence of the type of crop rotation, different fertilizers systems, crop type on the organic matter quantity in the topsoil, its physical and chemical properties are shown.

It is determined that the cultivation of row crops in the rotation and unchanging agricultural crops lead to deterioration of the physical and chemical properties of seasonally frozen soil of the Middle Priamurye region. Cultivation of perennial grasses in crop rotation can save and improve soil properties.

Поступила 10.07.2015

## ВЛИЯНИЕ ЗАПАШКИ ПОБОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРЕДШЕСТВЕННИКА И ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯЧМЕНЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

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

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

### ВВЕДЕНИЕ

Яровой ячмень (*Hordeum sativum* L.) – наиболее скороспелая и пластичная зерновая культура из выращиваемых в Республике Беларусь. Среди ранних яровых зерновых он дает наиболее высокие и устойчивые по годам урожаи. Зерно ячменя в настоящее время широко используют для продовольственных, технических и кормовых целей, в том числе в пивоваренной промышленности, при производстве перловой и ячневой круп, однако основное количество его зерна в нашей стране идет на кормовые цели [1, 2]. Ячмень относится к ценнейшим концентрированным кормам для животных, так как содержит полноценный белок и богат крахмалом.

Среди зерновых культур по посевным площадям и валовым сборам зерна ячмень занимает четвертое место в мире после пшеницы, риса, кукурузы. По данным ФАО, 42–48% ежегодных валовых сборов ячменя расходуется на промышленную переработку, включающую приготовление различных комбикормов, 6–8% на производство пива, 15% – на пищевые и 16% – непосредственно на кормовые цели.

В 2014 г. ячмень в Республике Беларусь возделывался на площади 498,4 тыс. га, или 58,6% к площади яровых зерновых, урожайность зерна составила 36,7 ц/га. Важным условием формирования высокопродуктивных посевов является применение оптимальных доз фосфорных и калийных удобрений. Однако, в последние годы в связи с недостатком финансов в сельскохозяйственных организациях республики, дозы минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры снижаются. Так, в 2014 г. под ячмень на 1 га внесено с минеральными удобрениями 225 кг д.в. NPK, или 76,3% к 2013 г. Поэтому назрела необходимость учитывать все альтернативные источники поступления элементов питания в почву.

В последние годы в республике измельчается на удобрение около 10 млн тонн соломы. С 1 т сухой соломы кроме 470 кг углерода в почву поступают элементы минерального питания, количество которых зависит от вида соломы: N – 4,7–12,0 кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 2,8–6,4 кг, K<sub>2</sub>O – 14,9–25,0 к [3, 4]. При этом высвобождаемый из соломы азот поглощается микроорганизмами, которые ее разлагают, и в первый год после заделки в питание растений практически не участвует. Содержащийся в



послеуборочных остатках калий находится в легкодоступной для растений форме и может участвовать в питании последующей культуры. Исследованиями зарубежных ученых установлено, что не менее половины содержащегося в соломе злаковых культур фосфора представлено легкоусвояемыми соединениями, т.е. в год действия он может быть эффективнее даже водорастворимых форм фосфорных удобрений [5, 6]. Это позволило предположить, что при запашке соломы предшествующей культуры, можно существенно снизить дозы калийных и фосфорных удобрений под последующую культуру.

Учитывая, что ранее такие исследования в Республике Беларусь не проводились, поэтому для того, чтобы усовершенствовать систему удобрения сельскохозяйственных культур, возделываемых после заправки соломы, актуальны детальные полевые исследования.

Цель исследований – оценить влияние компенсирующей дозы азота по листостебельной массе подсолнечника и скорректированных доз фосфорных и калийных удобрений, с учетом их высвобождения в первый год из соломы, на урожайность ячменя.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стационарный технологический опыт заложен в 2010–2011 гг. в двух последовательно открывающихся полях в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района Минской области на дерново-подзолистой супесчаной, развивающейся на рыхлой супеси, подстилаемой с глубины 80 см моренным суглинком, почве. В опыте предусмотрено следующее чередование культур: кукуруза (2011, 2012 гг.) – подсолнечник (2012, 2013 гг.) – ячмень + сидеральный люпин (2013, 2014 гг.) – гречиха + сидеральный люпин (2014, 2015 гг.) – овес голозерный (2015, 2016 гг.). Дозы минеральных удобрений под изучаемые сельскохозяйственные культуры составляют: кукуруза –  $N_{90+30}P_{60}K_{140}$ ; подсолнечник –  $N_{90}P_{60}K_{120}$ ; ячмень –  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ ; гречиха –  $N_{40}P_{50}K_{90}$ ; овес голозерный –  $N_{60+30}P_{50}K_{100}$ . Предшественник кукурузы – ячмень. Схема опыта приведена в таблице 1.

Повторность вариантов в опыте четырехкратная. Общая площадь деланки – 31,2 м<sup>2</sup> (2,6 Ч 12), учетная – 22,0 м<sup>2</sup> (2,2 Ч 10).

Почва опытного участка перед закладкой полевого опыта характеризовалась следующими агрохимическими показателями пахотного слоя: рН<sub>KCl</sub> – 5,7–6,0, содержание гумуса – 2,15–2,64%, подвижных форм P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 120–160 мг/кг почвы, K<sub>2</sub>O – 135–172 мг/кг, обменных форм CaO – 885–1031 мг/кг, MgO – 172–218 мг/кг почвы.

Согласно схеме опыта в 2013–2014 гг. под ячмень запахано 6,1 т/га растительных остатков подсолнечника, внесена компенсирующая доза азота в виде карбамида (N<sub>42</sub>), жидкого навоза КРС (30 т/га). Кроме этого под предшествующие культуры было запахано: в 2010–2011 гг. – 3,1 т соломы ячменя, в 2011–2012 гг. – 6,3 т/га растительных остатков кукурузы, при этом компенсирующие дозы азота в виде карбамида составили по 30 кг д.в./га и жидкого навоза КРС (далее ЖН КРС) по 30 т/га.

Таблица 1

**Влияние удобрений и сроков дополнительного внесения азота при заашке растительных остатков подсолнечника на урожайность зерна ячменя (влажность 14%)**

№ п/п	Вариант	Урожайность, ц/га			Прибавка урожая, ц/га			
		2013 г.	2014 г.	Ш	к контролю	от NPK	от соломы с доп. N	от доп. N
1	Без удобрений (контроль)	21,2	19,9	20,5	–	–	–	–
2	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	49,9	53,5	51,7	31,2	31,2	–	–
3	Солома + Сидераты*	31,8	33,2	32,5	12,0	–	12,0	–
4	Солома + Сидераты* + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	55,1	61,9	58,5	38,0	26,0	6,8	–
5	Солома + Сидераты* + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	52,3	60,7	56,5	36,0	24,0	4,8	–
6	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га	32,8	47,3	40,0	19,5	–	19,5	–
7	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	56,6	64,6	60,6	40,0	20,5	8,9	–
8	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	54,6	66,7	60,6	40,1	20,6	8,9	–
9	Солома + N <sub>42</sub> весной	43,9	49,2	46,5	26,0	–	26,0	15,4
10	Солома + N <sub>42</sub> осенью	32,8	36,9	34,9	14,3	–	14,3	3,8
11	Солома + N <sub>42</sub> осенью + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	57,9	61,9	59,9	39,4	25,0	8,2	4,0
12	Солома + N <sub>42</sub> осенью + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	55,1	64,3	59,7	39,1	24,8	8,0	4,4
13	Солома	29,3	32,8	31,1	10,5	–	10,5	–
14	Солома + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	53,3	58,4	55,8	35,3	24,8	4,1	–
15	Солома + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	51,9	58,7	55,3	34,8	24,2	3,6	–
	HCP <sub>05</sub>	3,1	3,3	3,2	3,2			

Примечание. \* 2-й год последействия сидерального люпина.

Применяемые в опыте органические удобрения имели следующие показатели (в расчете на сухое вещество): жидкий навоз КРС: N – 2,87%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 2,27%, K<sub>2</sub>O – 4,44%, углерод – 30%, влажность – 95%; отношение C/N – 10; солома ячменя (под кукурузу): N – 0,57%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,39%, K<sub>2</sub>O – 1,50%, углерод – 47,1%, влажность – 16%; отношение C/N – 83; солома кукурузы: N – 1,10%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,49%, K<sub>2</sub>O – 1,72%, углерод – 47%, влажность – 16%; отношение C/N – 43; листостебельная масса подсолнечника: N – 0,70%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,29%, K<sub>2</sub>O – 3,36%, углерод – 43,7%, влажность – 16%; отношение C/N – 49; зеленая масасидерального люпина (под кукурузу): N – 2,98%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,45%, K<sub>2</sub>O – 2,35%, углерод – 48%, влажность – 86%; отношение C/N – 16.

Минеральные удобрения в виде карбамида, аммонизированного суперфосфата и хлористого калия внесены весной под предпосевную культивацию. В вариантах, где дозы фосфорных и калийных удобрений скорректированы с учетом содержания фосфора и калия в соломе предшественников, под кукурузу внесли N<sub>90+30</sub>P<sub>50</sub>K<sub>100</sub>, под подсолнечник – N<sub>90</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub>, под ячмень – N<sub>60+30</sub>P<sub>50</sub>K<sub>0</sub>.

Исследования проводили с ячменем Стратус. Посев ячменя произведен сеялкой «Sulky» с нормой высева – 4,0 млн шт. всхожих семян/га (240 кг/га). Обработка посевов против сорняков проведена в фазу кущения культуры гербицидом Кугар (1 л/га).

Химический анализ органических удобрений выполнен в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: определение  $pH_{KCl}$  – по ГОСТ 27979–88; влаги и сухого остатка – по ГОСТ 26713–85; органического вещества – по ГОСТ 27980–88; общего азота – по ГОСТ 26715–85; общего фосфора – по ГОСТ 26717–85; общего калия – по ГОСТ 26718–85. В растительных образцах общий азот, фосфор и калий определяли из одной навески после мокрого озоления серной кислотой; азот – методом Къельдаля (ГОСТ 13496.4–93), фосфор – на спектрофотометре (ГОСТ 28901–91 (ИСО 6490/2–83)), калий – на пламенном фотометре (ГОСТ 30504–97). Экономическая эффективность рассчитана согласно методике [7]. Дисперсионный анализ экспериментальных данных выполняли согласно методике полевого опыта Б.А. Доспехова (1985) с использованием компьютерной программы MS Excel.

Погодные условия в период вегетации ячменя складывались следующим образом: в 2013 г. выпало 248 мм осадков, суммарная температура воздуха составила 1771 °С, ГТК 1,44; в 2014 г. выпало 199 мм осадков, суммарная температура воздуха составила 1738 °С, ГТК 1,22. Основной отличительной особенностью в годы проведения исследований была поздняя весна 2013 г., в результате ячмень посеян 24 апреля, в то время как в 2014 г. – 10 апреля, что и сказалось на величине урожайности культуры.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что в среднем по удобренным вариантам урожайность зерна ячменя в 2014 г. была на 6,4 ц/га (12%) выше по сравнению с 2013 г. В среднем за 2 года, только за счет плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы, при соблюдении элементов технологии возделывания культуры получено 20,5 ц/га зерна ячменя. Внесение минеральных удобрений способствовало дополнительному формированию 31,2 ц/га зерна (табл. 1), при этом на 1 кг NPK получено 11,5 кг зерна ячменя (10,6 кг – в 2013 г., 12,4 кг – в 2014 г.). Чистый доход от внесения минеральных удобрений составил 103 USD/га с рентабельностью 34% (табл. 2). Максимальная урожайность зерна ячменя сформирована в вариантах с применением минеральных удобрений на фоне заправки соломы с компенсирующими дозами азота (в виде ЖН КРС и карбамида) и составила 59,7–60,6 ц/га (вар. 7, 8, 11, 12).

За счет действия и последствия соломы и листостебельной массы предшествующих культур (ячмень, кукуруза, подсолнечник) прибавка урожайности зерна ячменя в среднем за 2 года составила 10,5 ц/га. Осеннее внесение по соломе компенсирующей дозы азота в виде карбамида обеспечило дополнительный рост урожайности на 3,8 ц/га, весеннее – на 15,4 ц/га. Внесение компенсирующей дозы азота по соломе в виде жидкого навоза КРС способствовало дополнительному сбору зерна, по сравнению с контролем, 19,5 ц/га или 9,0 ц/га за счет внесения

жидкого навоза. Все применяемые системы удобрения были высокорентабельны (табл. 2).

В вариантах 5, 8, 12 и 15, где дозы фосфорных и калийных удобрений скорректированы с учетом содержания фосфора и калия в листостебельной массе подсолнечника, которая была запахана под ячмень, урожайность зерна была на уровне полных доз минеральных удобрений в соответствующих вариантах (вар. 4, 7, 11 и 14). В результате, снижение доз фосфорных и калийных удобрений позволило уменьшить затраты на удобрения на 51 USD/га, или на 26% и соответственно увеличить чистый доход и рентабельность (табл. 2).

Таблица 2

**Экономическая эффективность применяемых удобрений при возделывании ячменя на зерно, среднее за 2013–2014 гг.**

№ п/п	Вариант	Общие затраты, USD/га	Чистый доход, USD/га	Рентабельность, %
1	Без удобрений (контроль)	–	–	–
2	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	302	103	34
3	Солома + Сидераты	39	116	294
4	Солома + Сидераты + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	325	169	52
5	Солома + Сидераты + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	267	201	75
6	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га	139	114	82
7	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	407	114	28
8	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	356	166	47
9	Солома + N <sub>42</sub> весной	124	214	172
10	Солома + N <sub>42</sub> осенью	86	100	117
11	Солома + N <sub>42</sub> осенью + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	368	144	39
12	Солома + N <sub>42</sub> осенью + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	316	193	61
13	Солома	35	102	294
14	Солома + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	316	143	45
15	Солома + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	263	189	72

Таким образом, на дерново-подзолистой супесчаной почве при возделывании ячменя, дозы фосфорных и калийных удобрений под культуру целесообразно уменьшать с учетом высвобождения данных элементов из соломы или листостебельной массы предшественника. В результате это позволит уменьшить затраты на удобрения (в опыте на 51 USD/га) без снижения урожайности.

Содержание азота в зерне ячменя, в зависимости от варианта опыта, изменялось в пределах 1,63–2,15%, фосфора – 0,66–0,81%, калия – 0,64–0,68%, кальция – 0,03–0,05%, магния – 0,14–0,16% (табл. 3). Содержание элементов питания в соломе ячменя было следующим: азота – 0,61–0,80%, фосфора – 0,36–0,41%, калия – 1,12–1,63%, кальция – 0,25–0,32%, магния – 0,11–0,25%.

Таблица 3

**Влияние удобрений на химический состав зерна и соломы ячменя,  
среднее за 2013–2014 г.**

№ п/п	Вариант	Зерно, % в сухом веществе					Солома, % в сухом веществе				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
1	Без удобрений	1,63	0,66	0,64	0,03	0,15	0,61	0,36	1,12	0,25	0,20
2	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	1,76	0,70	0,65	0,04	0,14	0,77	0,40	1,43	0,32	0,25
3	Солома + Сидераты	1,72	0,68	0,66	0,04	0,16	0,64	0,37	1,34	0,27	0,19
4	Солома + Сидераты + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	1,97	0,81	0,68	0,04	0,15	0,75	0,40	1,63	0,27	0,11
5	Солома + Сидераты + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	1,97	0,79	0,66	0,04	0,15	0,74	0,39	1,48	0,27	0,20
6	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га	2,02	0,74	0,67	0,04	0,15	0,72	0,39	1,40	0,26	0,15
7	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	2,13	0,78	0,68	0,04	0,14	0,80	0,41	1,62	0,29	0,14
8	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	2,15	0,77	0,67	0,04	0,15	0,78	0,40	1,59	0,32	0,17
9	Солома + N <sub>42</sub> весной	1,83	0,68	0,64	0,04	0,15	0,72	0,37	1,17	0,25	0,17
10	Солома + N <sub>42</sub> осенью	1,75	0,67	0,65	0,03	0,15	0,64	0,37	1,22	0,27	0,18
11	Солома + N <sub>42</sub> осенью + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	1,94	0,80	0,68	0,04	0,15	0,75	0,41	1,57	0,28	0,13
12	Солома + N <sub>42</sub> осенью + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	2,11	0,79	0,66	0,05	0,15	0,75	0,40	1,52	0,29	0,16
13	Солома	1,73	0,74	0,66	0,03	0,15	0,63	0,38	1,35	0,27	0,17
14	Солома + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	1,99	0,81	0,67	0,05	0,14	0,75	0,41	1,56	0,28	0,13
15	Солома + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	1,98	0,80	0,66	0,04	0,15	0,76	0,40	1,50	0,30	0,15
	НСР <sub>05</sub>	0,11	0,06	0,06	0,01	0,01	0,06	0,04	0,12	0,02	0,01

В зависимости от варианта опыта для формирования урожайности ячменя было использовано из почвы и удобрений 36–151 кг азота, 16–61 кг фосфора, 23–114 кг калия, 3,4–17,6 кг кальция и 4,9–15,9 кг магния (табл. 4). В результате нормативный вынос элементов с 1 т зерна и соответствующим количеством соломы в среднем составил 21,5 кг азота, 9,2 кг фосфора, 15,6 кг калия, 2,3 кг кальция и 2,4 кг магния.

Таблица 4

**Влияние удобрений на общий и удельный вынос элементов питания с урожаем  
ячменя, среднее за 2013–2014 г.**

№ п/п	Вариант	Хозяйственный вынос, кг/га					Удельный вынос, кг/т				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
1	Без удобрений	36	16	23	3,4	4,9	17,5	7,6	11,4	1,6	2,4
2	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	104	45	77	12,5	14,5	20,2	8,7	14,9	2,4	2,8
3	Солома + Сидераты	61	26	44	7,0	8,3	18,7	8,0	13,7	2,1	2,6
4	Солома + Сидераты + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	131	58	102	13,5	11,8	22,3	9,9	17,4	2,3	2,0

№ п/п	Вариант	Хозяйственный вынос, кг/га					Удельный вынос, кг/т				
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
5	Солома + Сидераты + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	127	55	93	13,5	15,3	22,4	9,7	16,4	2,4	2,7
6	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га	89	37	60	8,2	9,0	22,2	9,1	14,9	2,0	2,2
7	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	150	61	114	16,1	14,0	24,8	10,1	18,9	2,7	2,3
8	Солома + Жидкий навоз КРС, 30 т/га + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	151	60	112	17,6	15,9	24,9	9,9	18,4	2,9	2,6
9	Солома + N <sub>42</sub> весной	100	41	69	11,4	12,5	21,6	8,9	14,8	2,4	2,7
10	Солома + N <sub>42</sub> осенью	66	28	47	8,0	8,8	19,6	8,3	13,8	2,4	2,6
11	Солома + N <sub>42</sub> осенью + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	131	59	100	13,8	12,9	21,9	9,8	16,7	2,3	2,2
12	Солома + N <sub>42</sub> осенью + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	141	58	97	15,1	14,3	23,6	9,7	16,3	2,5	2,4
13	Солома	62	29	44	6,5	7,7	18,4	8,6	13,0	1,9	2,3
14	Солома + N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	126	56	95	13,9	12,4	22,6	10,0	16,9	2,5	2,2
15	Солома + N <sub>90</sub> P <sub>50</sub> K <sub>0</sub>	125	54	91	14,1	13,3	22,5	9,8	16,5	2,6	2,4
Среднее							21,5	9,2	15,6	2,3	2,4

В результате исследований установлено, что в среднем за 2 года урожайность соломы ячменя в опыте составила 41,2 ц/га. После уборки ячменя в почву с этим количеством соломы возвратилось 1,7 т углерода, 27 кг азота, 14 кг фосфора, 54 кг калия, 10 кг кальция и 6 кг магния. При планировании доз внесения минеральных удобрений под последующую культуру севооборота эти количества элементов питания целесообразно учитывать.

## ВЫВОДЫ

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве в среднем за два года наиболее высокая урожайность зерна ячменя 59,7–60,6 ц/га сформирована в вариантах с применением минеральных удобрений на фоне действия и последствия соломы и листостебельной массы предшественников с компенсирующими дозами азота.

2. В варианте с действием и последствием соломы и листостебельной массы предшественников без компенсирующих доз азота в среднем за два года получено зерна 31,1 ц/га, что на 10,5 ц/га выше, чем в неудобренном варианте. Внесение дополнительного азота по растительным остаткам предшествующих культур обеспечило прибавку урожайности зерна ячменя на 15,4 ц/га при весеннем его внесении и 3,4 ц/га при осеннем внесении. В вариантах с внесением NPK под ячмень дополнительное внесение азота по соломе увеличило урожайность на 4,2 ц/га.

3. Снижение доз фосфорных и калийных удобрений с учетом содержания фосфора и калия в растительных остатках подсолнечника, которые были запа-

ханы под ячмень, обеспечило урожайность зерна ячменя на уровне полных доз минеральных удобрений и позволило снизить затраты на удобрения на 51 USD/га, или на 26%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сенченко, В.Г. Кормовой ячмень поможет снизить дефицит белка в кормах / В.Г. Сенченко, А.А. Зубкович, И.И. Яцкевич // Наше сельское хозяйство. – 2012. – № 3(№ 38). – С. 39–42.
2. Сенченко, В.Г. Возделывание пивоваренного ячменя в Республике Беларусь: аналитический обзор / В. Г. Сенченко. – Минск: Белорусский научный институт внедрения новых форм хозяйствования в АПК, 2002. – 43 с.
3. Высвобождение элементов питания при заделке соломы в дерново-подзолистые почвы в зависимости от ее видового состава и удобрения азотом / Т.М. Серая [и др.] // Агрохимия. – 2013. – № 3 – С. 52–59.
4. Серая, Т.М. Солома – тоже удобрение / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева // Белорусская нива. – 2013. – № 210. – С. 3.
5. Wagar, B.I. Changes with time in the form and availability of residual fertilizer phosphorus on chernozemic soils / B.I. Wagar, J. W.B. Stewart, J.O. Moir // Canad. J. of Soil Sci. – 1986. – V. 66. – № 1. – P. 105–119.
6. Halloran, J.P. Spatial variability of soil phosphorus as influenced by soil texture and management / J.P. Halloran, R.G. Kachanoski, J. W.B. Stewart // Canad. J. of Soil Sci. – 1985. – V. 65. – № 3. – P. 475–487.
7. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Ин-т проблемных исследований в АПК НАН Беларуси, 2010. – 24 с.

## EFFECT OF PLOWING BY-PRODUCT PREDECESSOR AND MINERAL FERTELIZERS DOSES ON THE BARLEY YIELD ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

T.M. Seraya, E.N. Bogatyreva, T.M. Kirdun, O.M. Biryukova,  
Yu.A. Belyavskaya, M.M. Torchilo

### Summary

In studies on sod-podzolic sandy loam soil found that lowering doses of phosphate and potash fertilizers with regard to the content of phosphorus and potassium in the straw plowed predecessor had ensured the grain yield of barley at the level of full doses of mineral fertilizers by a lower cost for fertilizers on 51 USD /ha, or 26%. The use of a compensatory nitrogen dose on plant residues of the precursor in the form of urea provided an increase grain yield of barley on 15,4 c/ha in spring application and 3,4 kg/ha in autumn. In the variants with the NPK application under barley additional amounts of nitrogen on straw increased yields an average of 4,2 c/ha.

Поступила 18.11.2015



## АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕСЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ПОД ЯЧМЕНЬ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ

Л.Н. Иовик<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup>*Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,  
г. Брест, Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

Яровой ячмень является одной из важнейших зерновых культур. В Беларуси его возделывают примерно на 500 тыс. гектаров. Зерно ячменя используют в качестве корма для крупного рогатого скота, свиней и птицы. Кроме того, оно служит сырьем для пивоваренной промышленности и изготовления круп [1]. Около 60–70% от валового сбора зерна расходуется на кормовые цели. На корм скоту также идут солома и солоха.

Качество выращиваемого в республике ячменя зачастую не соответствует установленным нормам, что в свою очередь негативным образом сказывается на его окупаемости [2]. В то же время урожайность культуры и качество продукции нередко взаимно исключают друг друга [3]. Кроме того, на текущий момент отсутствуют рекомендации по возделыванию ячменя для получения зерна с требуемыми качественными показателями.

Для получения высоких устойчивых урожаев яровому ячменю необходимо значительное количество питательных веществ, которое он усваивает в течение короткого периода вегетации. Среди зерновых культур он наиболее требователен к элементам питания. По этой причине очень важно обеспечить сбалансированное питание с самого начала развития растений. Применение минеральных и органических удобрений является решающим мероприятием, направленным на создание урожая культуры.

Высокая стоимость минеральных удобрений, уменьшение производства традиционных форм органических удобрений, снижение запасов торфа формируют необходимость поиска других источников постоянно возобновляемых органических удобрений. В качестве таких альтернативных удобрений могут выступать отходы биогазовых установок. Они представляют собой органическую массу, полученную при брожении отходов сельскохозяйственного производства. Исследования химического состава показывают, что удобрения на основе отходов биогазовых установок содержат значительное количество элементов питания в легкоусвояемой для растений форме. Для улучшения физических и технологических качеств, жидкие органические удобрения обезвоживают, смешивают с сорбентами (торфом, древесными опилками, землей и т.п.) и гранулируют. Эффективность таких удобрений изучена в недостаточной степени ввиду

относительно недавнего использования биогазовых технологий на территории Республики Беларусь.

Цель исследований – изучить эффективность традиционных и альтернативных видов органических удобрений при возделывании ярового ячменя.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2013–2014 гг. в стационарном полевом опыте на территории ОАО «СГЦ «Западный» Брестского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,9 м суглинком. Пахотный слой до внесения удобрений имел следующие агрохимические показатели:  $pH_{KCl}$  – 5,5, гумус – 1,67%, подвижные формы  $P_2O_5$  – 198 мг/кг почвы,  $K_2O$  – 261 мг/кг, обменные  $CaO$  – 1158 мг/кг,  $MgO$  – 132 мг/кг почвы.

Объекты исследований: яровой ячмень сорт Атаман, подстилочный навоз КРС, отход грибного производства, свиные навозные стоки, жидкое органическое удобрение Эффлюент, органоминеральные удобрения Сложный компост и Биоудобрение–Гранулированное.

Жидкое органическое удобрение Эффлюент (далее – эффлюент) представляет собой жидкий отход биогазовой установки ОАО «СГЦ «Западный», полученный в результате сбраживания навозных стоков (30%), твердой фракции отсепарированных на дуговых ситах навозных стоков с примесью отходов бойни (30%), отходов рыбного производства (20%), зерноотходов (10%) и жидких ферментированных отходов (10%).

Органоминеральное удобрение Сложный компост (далее – сложный компост) получен смешиванием отсепарированного отхода биогазовой установки (50%), торфа (24,5%), дегеката (24,5%) и хлористого калия (1%). Органоминеральное удобрение Биоудобрение–Гранулированное (далее – биоудобрение–гранулированное) состоит из тех же компонентов, что и сложный компост, прошедших в дальнейшем сушку и грануляцию.

Отход грибного производства является отработанным компостом после выращивания шампиньонов ООО «БОНШЕ» (г. Брест).

Химический состав органических удобрений определяли по Государственным отраслевым стандартам: определение влаги и сухого остатка (ГОСТ 26713–85), золы (ГОСТ 26714–85), общего азота (ГОСТ 26715–85), общего фосфора (ГОСТ 26717–85), общего калия (ГОСТ 26718–85) (табл. 1).

Таблица 1

**Химический состав вносимых органических удобрений**

Вид удобрения	Влажность, %	N	$P_2O_5$	$K_2O$	CaO	MgO	C
		% на естественную влажность					
Подстилочный навоз КРС	79	0,41	0,35	0,40	0,21	0,07	10,0
Отход грибного производства	59	0,85	1,04	0,84	1,23	0,22	13,8
Свиные навозные стоки	99	0,19	0,05	0,06	0,01	0,01	0,3
Эффлюент	89	0,50	0,37	0,16	0,10	0,05	4,6
Сложный компост	45	0,71	1,19	1,44	3,35	0,32	9,1
Биоудобрение–Гранулированное	16	0,78	1,88	2,13	3,88	0,46	16,8

Анализ качественных показателей зерна и соломы ячменя проводили согласно общепринятым ГОСТ: определение влаги и сухого вещества (ГОСТ 27548–97 п.4), сырой золы (ГОСТ 26226–95), общего азота и сырого протеина (ГОСТ 13496.4–93), сырой клетчатки (ГОСТ 13496.2–91), сырого жира (ГОСТ 13496.15–97), фосфора (ГОСТ 26657–97 п.4), калия (ГОСТ 30504–97), кальция (ГОСТ 26570–95 п.2.1), магния (ГОСТ 30502–97), переваримого протеина, переваримой клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ и кормовых единиц по [4], обменной энергии по [5].

Минеральные удобрения (сульфат аммония, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) вносили под предпосевную культивацию. Азотное удобрение применяли в два приема:  $N_{60}$  – в основное внесение и  $N_{30}$  – в виде подкормки в фазу кущения.

Органические удобрения вносились под вспашку. Дозы жидких органических удобрений устанавливались по азоту минеральных. Подстилочный навоз использовали согласно рекомендуемым дозам под ячмень. Твердые органические удобрения на основе отхода биогазовой установки выравнивались по азоту подстилочного навоза.

Схема опыта включала 12 вариантов в четырехкратной повторности (табл. 2). Общая площадь делянки – 50 м<sup>2</sup>, а учетная – 32 м<sup>2</sup>. Предшественник ярового ячменя – озимое тритикале. Агротехника возделывания ячменя – общепринятая для Республики Беларусь [6]. Учет урожая проводили поделяночно сплошным способом. Статистическая обработка результатов исследований осуществлялась методами дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [7].

Таблица 2

**Влияние органических удобрений на урожайность зерна ячменя, среднее за 2013–2014 гг.**

Вариант	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Окупаемость, кг зерна	
			1 т орг. удобрений	1 кг НРК
1. Без удобрений (контроль)	46,0	–	–	–
2. $N_{60+30}P_{60}K_{120}$	66,4	<b>20,4</b>	–	<b>7,5</b>
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	59,5	13,5	33,8	2,9
4. Отход грибного производства, 20 т/га	58,3	12,3	<b>61,5</b>	2,3
5. Навозные стоки, 60 т/га	56,1	10,1	16,8	4,7
6. Навозные стоки, 120 т/га	60,4	14,4	<b>12,0</b>	2,3
7. Эффлюент, 20 т/га	56,2	10,2	50,8	<b>5,0</b>
8. Эффлюент, 40 т/га	61,6	<b>15,6</b>	38,9	3,8
9. Сложный компост, 30 т/га	54,2	<b>8,2</b>	27,2	0,8
10. Сложный компост, 40 т/га	59,5	13,5	33,6	1,0
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	57,3	11,3	<b>56,5</b>	1,2
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	60,7	14,7	48,8	1,0
НСР <sub>05</sub>	5,3			

Баланс элементов питания рассчитывали согласно методике [8], агрономическую и экономическую эффективность применяемых удобрений – по методике [9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что в среднем за 2013–2014 гг. за счет плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы при соблюдении основных элементов технологии возделывания ячменя урожайность зерна составила 46,0 ц/га. Максимальная урожайность в опыте (66,4 ц/га) получена при внесении минеральных удобрений ( $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ ), прибавка к контролю составила 20,4 ц/га (табл. 2).

Применение жидких и твердых органических удобрений положительным образом сказалось на продуктивности культуры. Влияние одинарных доз навозных стоков (60 т/га) и эффлюента (20 т/га) (дозы близкие по содержанию азота, внесенному с минеральными удобрениями) на формирование урожайности культуры было равнозначным – 56,1 и 56,2 ц/га. Увеличение доз жидких удобрений вдвое дополнительно увеличивало урожай зерна, однако, применение 120 т/га навозных стоков не способствовало существенному росту урожайности и находилось в пределах ошибки опыта, в то время как при внесении эффлюента в дозе 40 т/га получена достоверная к одинарной дозе прибавка урожая зерна – 5,4 ц/га.

Внесение 40 т/га подстилочного навоза и 20 т/га отхода грибного производства (дозы близкие по содержанию азота) на 13,5 и 12,3 ц/га увеличило урожайность зерна по сравнению с контрольным вариантом.

Внесение твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки (40 т/га сложного компоста, 20 т/га и 30 т/га биоудобрения–гранулированного) способствовало достоверному росту прибавки до 11,3–14,7 ц/га, что, в целом, соответствовало уровню влияния подстилочного навоза. В то же время применение в качестве удобрения 30 т/га сложного компоста лишь на 8,2 ц/га повышало урожайность зерна. Увеличение доз изучаемых удобрений несущественно сказывалось на прибавке урожая и не выходило за пределы наименьшей существенной разности.

Результат действия изучаемых удобрений на выход зерна оценивали с помощью расчета их агрономической эффективности, которая в свою очередь определялась величиной прибавки урожая и дозами вносимых удобрений.

Самой высокой величиной окупаемости 1 т органических удобрений килограммами зерна обладали 20 т/га отхода грибного производства – 61,5 кг и 20 т/га биоудобрения–гранулированного – 56,5 кг зерна. Наименьшей оплатой удобрений характеризовались варианты с применением 60 т/га и 120 т/га навозных стоков – 12,0–16,8 кг. Для остальных удобрений окупаемость 1 т варьировалась от 27,2 до 50,8 кг зерна.

Окупаемость 1 кг NPK прибавкой зерна ячменя зависела в большей мере от удельного веса азота в удобрениях и степени его доступности для растений. Наибольшая оплата NPK была отмечена для минеральных удобрений – 7,5 кг зерна. Для органических удобрений, в которых азот находится в органически связанной форме, значения окупаемости были более низкими. Лучше всего

килограммами зерна оплачивались жидкие удобрения – 60 т/га навозных стоков (4,7 кг зерна/кг NPK) и 20 т/га эффлюента (5,0 кг зерна/кг NPK). Причем с ростом доз удобрений агрономическая эффективность заметно снижалась. Хуже всего окупались твердые органические удобрения на основе отходов биогазовой установки – сложный компост и биоудобрение–гранулированное – 0,8–1,2 кг зерна.

Известно, что эффективность применяемых удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур также характеризуется степенью усвояемости элементов питания растениями. В этой связи немаловажное значение имеют величины накопления питательных элементов в зерне и соломе, которые определяют качество полученной растениеводческой продукции.

По результатам химического анализа установлено, что для формирования урожая зерна и соломы культура в разной степени использовала питательные вещества из удобрений. Так, в количественном отношении в зерне накапливалось больше азота и фосфора, а в соломе – калия, кальция и магния (табл. 3).

За счет почвенных резервов в зерне накапливалось 1,91% азота, 0,85% фосфора, 0,54% калия, 0,20% кальция и 0,16% магния, а в соломе – 0,61% азота, 0,31% фосфора, 2,15% калия, 0,47% кальция и 0,27% магния.

Таблица 3

**Влияние органических удобрений на содержание основных элементов питания в зерне и соломе ярового ячменя, % в сухом веществе (среднее за 2013–2014 гг.)**

Вариант	Зерно					Солома				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
1. Без удобрений (контроль)	1,91	0,85	0,54	0,20	0,16	0,61	0,31	2,15	0,47	0,27
2. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	2,14	0,87	0,53	0,23	0,16	0,63	0,34	2,57	0,44	0,24
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	1,93	0,94	0,51	0,24	0,16	0,60	0,34	2,04	0,46	0,23
4. Отход грибного производства, 20 т/га	1,92	0,95	0,58	0,26	0,17	0,58	0,27	2,27	0,39	0,24
5. Навозные стоки, 60 т/га	2,17	0,98	0,63	0,31	0,17	0,80	0,38	2,21	0,43	0,24
6. Навозные стоки, 120 т/га	2,23	0,98	0,61	0,29	0,17	0,83	0,42	2,67	0,47	0,28
7. Эффлюент, 20 т/га	2,09	0,93	0,54	0,28	0,18	0,64	0,32	2,37	0,42	0,24
8. Эффлюент, 40 т/га	2,27	0,98	0,63	0,35	0,16	0,75	0,35	2,59	0,45	0,25
9. Сложный компост, 30 т/га	2,19	0,97	0,53	0,26	0,18	0,67	0,33	2,57	0,44	0,24
10. Сложный компост, 40 т/га	2,20	0,87	0,55	0,23	0,16	0,77	0,34	2,81	0,46	0,24
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	2,02	0,93	0,56	0,20	0,15	0,67	0,28	2,58	0,41	0,21
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	2,03	0,95	0,70	0,41	0,20	0,73	0,32	2,55	0,46	0,24
NCP <sub>05</sub>	0,20	0,08	0,06	0,03	0,01	0,05	0,03	0,21	0,03	0,02

Применение удобрений увеличивало накопление питательных элементов в растительной продукции. В среднем по удобренным вариантам содержание азо-

та в зерне составило 1,92–2,27%, фосфора – 0,87–0,98%, калия – 0,51–0,70%, кальция – 0,20–0,41% и магния – 0,15–0,20%, а в соломе – 0,58–0,83% азота, 0,27–0,42% фосфора, 2,04–2,81% калия, 0,39–0,47% кальция и 0,21–0,28% магния.

Как известно, качество зерна зависит в первую очередь от сорта, почвенно-климатических условий произрастания и удобрений. Согласно действующему СТБ 1136–98 [10], влажность заготавливаемого на корм зерна ячменя должна соответствовать 10–19%. По российскому ГОСТ Р 53900–2010 [11] содержание сухого вещества в зерне 1 класса должно составлять не менее 860 г/кг, сырого протеина – не менее 130 г сухого вещества, сырой клетчатки – не более 70 г, сырой золы – не более 20 г, обменной энергии для кормления свиней – не менее 15 МДж/кг, КРС и птицы – не менее 13 МДж/кг.

При использовании ячменя в качестве кормовой культуры содержание протеина в сухом веществе должно быть высоким, а клетчатки – низким. Об общем содержании минеральных веществ судят по показателю сырой золы. Питательная и энергетическая ценность растениеводческой продукции определяет уровень продуктивности сельскохозяйственных животных.

Анализ показателей качества зерна ячменя показал следующие результаты (табл. 4). Содержание сухого вещества было на уровне 86,0–86,4% (влажность – 13,6–14,0%) и тем самым соответствовало нормативам СТБ 1136–98 и 1-му классу по ГОСТ Р 53900–2010. Накопление питательных веществ по вариантам опыта было близким. При этом показатель зольности составил 2,61–2,89%, сырого протеина – 11,94–14,19%, сырой клетчатки – 3,8–5,3% и сырого жира – 1,44–1,90% сухого вещества. Согласно нормам ГОСТ Р 53900–2010, по показателям сырой золы, сырого протеина и сырой клетчатки зерно относилось к 1–2-му классу.

Для расчета энергетической питательности зерна в кормовых единицах и обменной энергии (ОЭ) использовались данные количественного содержания переваримых питательных веществ, полученные с использованием соответствующих коэффициентов переваримости (77 – протеина, 79 – клетчатки, 27 – жира, 98 – безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ)). Величина накопления переваримого протеина составила 79,07–94,44 г/кг натурального корма, переваримой клетчатки – 25,9–36,0 г/кг, переваримого жира – 3,35–4,43 г/кг, переваримых БЭВ – 642,97–664,63 г/кг. При этом количество ОЭ достигало 54,3–78,4 ГДж/га и кормовых единиц – 57,5–83,8. Максимальные значения энергетической ценности были получены при применении минеральных удобрений  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ . Органические удобрения способствовали близкому накоплению в зерне ОЭ (63,9–72,6 ГДж/га) и кормовых единиц (67,9–76,6).

Большой удельный вес зерновых в структуре посевных площадей способствует использованию на корм скоту значительного количества соломы. Ячменная солома по своей питательности приближается к сене низкого качества. На солому не разработан стандарт, поэтому ее оценку проводят непосредственно в хозяйстве. Выделяют три категории: доброкачественную (влажность не более 17%, со свежим запахом, упругая, блестящая), подозрительную (влажность свыше 16%, с признаками порчи) и непригодную для скармливания (испорченная гнилью, плесенью и т.д.) [12]. При этом различают сухую солому (влажность 14%), средней сухости (14–16%), влажную (16–20%) и сырую (более 20%).



**Влияние органических удобрений на питательную и энергетическую ценность зерна ячменя, 2013–2014 гг.**

Вариант опыта	Сухое вещество, %	Сырая зола, %	Сырой протеин, %	Сырая клетчатка, %	Сырой жир, %	Переваримый протеин, г/кг	Переваримая клетчатка, г/кг	Переваримый жир, г/кг	Переваримые БЭВ, г/кг	ОЭ (КРС), ГДж/га	Кормовые единицы, ц/га										
												% в сухом веществе					г/кг натурального корма				
1. Без удобрений (контроль)	86,0	2,66	11,94	5,3	1,56	79,07	36,0	3,62	661,94	54,3	57,5										
2. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	86,1	2,62	13,38	3,8	1,63	88,72	25,9	3,79	663,03	78,4	83,8										
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	86,0	2,79	12,06	5,1	1,67	79,88	34,7	3,88	660,74	70,2	74,3										
4. Отход грибного производства, 20 т/га	86,0	2,68	12,00	4,8	1,67	79,47	32,6	3,88	664,63	68,7	73,0										
5. Навозные стоки, 60 т/га	86,2	2,72	13,56	4,8	1,70	89,96	32,7	3,95	652,02	66,2	70,0										
6. Навозные стоки, 120 т/га	86,2	2,78	13,94	5,0	1,80	92,56	34,1	4,19	646,30	71,3	75,3										
7. Эффлюент, 20 т/га	86,1	2,69	13,06	4,4	1,56	86,55	29,9	3,63	660,37	66,4	70,6										
8. Эффлюент, 40 т/га	86,4	2,80	14,19	5,2	1,90	94,44	35,5	4,43	642,97	72,6	76,6										
9. Сложный компост, 30 т/га	86,2	2,61	13,69	4,5	1,71	90,86	30,6	3,98	654,53	63,9	67,9										
10. Сложный компост, 40 т/га	86,2	2,64	13,75	4,7	1,44	91,27	32,0	3,35	654,51	70,2	74,5										
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	86,1	2,84	12,63	4,3	1,47	83,68	29,2	3,42	664,18	67,6	72,0										
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	86,1	2,89	12,69	5,1	1,73	84,09	34,7	4,02	654,38	71,0	75,5										

В исследованиях установлено, что солома ячменя содержала в среднем 84,0–84,4% сухого вещества. Таким образом, в опытах была получена доброкачественная солома средней сухости.

По результатам зоотехнического анализа изучена питательная и энергетическая ценность ячменной соломы (табл. 5). Установлено, что в сухом веществе содержалось 8,02–11,28% сырого протеина, 38,6–48,4% сырой клетчатки и 0,91–1,34% сырого жира. Энергетическую ценность рассчитывали исходя из количества накопленных в натуральном корме переваримых веществ. Для соломы ячменя использовали следующие коэффициенты переваримости: 26 – для протеина, 54 – для клетчатки, 39 – для жира и 53 – для БЭВ. Данные расчетов показали, что растительная продукция содержала 7,95–11,38 г/кг переваримого протеина, 175,4–220,4 г/кг переваримой клетчатки,



2,99–4,40 г/кг переваримого жира и 172,7–204,2 г/кг переваримых БЭВ. Величина ОЭ (КРС) при этом достигала 18,7–26,9 ГДж/га и кормовых единиц – 9,6–14,7. Наиболее высокой энергетической ценностью солома обладала при удобрении  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ . При использовании органических удобрений накопление ОЭ и сбор кормовых единиц было близким по вариантам опыта и составляло 21,6–24,6 ГДж/га и 11,0–14,6 ц к.ед./га соответственно.

Таблица 5

**Влияние органических удобрений на питательную и энергетическую ценность соломы ячменя, 2013–2014 гг.**

Вариант	Сухое вещество, %	Сырая зола, %	Сырой протеин, %	Сырая клетчатка, %	Сырой жир, %	Переваримый протеин, г/кг	Переваримая клетчатка, г/кг	Переваримый жир, г/кг	Переваримые БЭВ, г/кг	ОЭ (КРС), ГДж/га	Кормовые единицы, ц/га									
												% в сухом веществе					г/кг натурального корма			
												1. Без удобрений (контроль)	84,02	8,20	3,81	46,9	1,19	8,32	212,8	3,90
2. $N_{60+30}P_{60}K_{120}$	84,19	8,41	3,94	44,4	1,26	8,62	201,9	4,14	187,4	26,9	14,7									
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	84,33	8,53	3,75	47,8	1,29	8,22	217,7	4,24	172,7	24,1	12,1									
4. Отход грибного производства, 20 т/га	84,27	8,30	3,63	47,5	1,27	7,95	216,2	4,17	175,5	23,7	12,0									
5. Навозные стоки, 60 т/га	84,30	8,23	5,00	42,1	0,91	10,96	191,6	2,99	195,5	22,8	13,0									
6. Навозные стоки, 120 т/га	84,36	8,89	5,19	39,6	0,97	11,38	180,4	3,19	202,8	24,5	14,6									
7. Эффлюент, 20 т/га	84,33	9,12	4,00	48,4	1,08	8,77	220,4	3,55	167,2	22,4	11,0									
8. Эффлюент, 40 т/га	84,41	9,64	4,69	44,1	1,18	10,29	201,0	3,88	180,7	24,6	13,3									
9. Сложный компост, 30 т/га	84,13	10,12	4,19	38,6	1,30	9,17	175,4	4,27	204,2	21,6	13,2									
10. Сложный компост, 40 т/га	84,19	11,28	4,81	42,0	1,34	10,53	190,9	4,40	181,0	23,3	13,0									
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	84,21	8,02	4,19	47,7	1,17	9,17	216,9	3,84	173,7	23,3	11,7									
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	84,29	9,51	4,56	43,6	1,32	9,99	198,5	4,34	183,2	24,2	13,3									

Содержание элементов питания в полученном урожае характеризует величину их усвояемости из применяемых удобрений. Потребность культуры в питательных веществах устанавливается по их хозяйственному (общему) выносу с урожаем основной и побочной продукцией. Общий вынос с 1 тонной основной продукции ха-

рактирует величину удельного (нормативного) выноса, используемого для расчета доз удобрений под планируемый урожай, разработки систем удобрений.

В проведенных исследованиях хозяйственный вынос азота на дерново-подзолистой супесчаной почве с основной (зерном) и побочной (соломой) продукцией по вариантам с применением удобрений составил 116–147 кг/га, фосфора – 55–66 кг/га, калия – 97–131 кг/га, кальция – 24–38 кг/га, магния – 14–19 кг/га (табл. 6). Установлено, что наиболее активное отчуждение азота, фосфора и калия с урожаем происходило при удобрении  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$ , 40 т/га эффлюента и 120 т/га навозных стоков, а кальция – при внесении 30 т/га биоудобрения–гранулированного. Наиболее равномерным по удобрениям вариантам был вынос магния.

В среднем по удобрениям вариантам удельный вынос азота с 1 т зерна составил 22,2 кг, фосфора – 10,1 кг, калия – 19,5 кг, кальция – 5,0 кг и магния – 2,9 кг.

На основании данных по выносу питательных элементов ячменем рассчитывали их баланс в системе почва–удобрение–растение путем сопоставления приходных и расходных статей. Эффективность применяемых удобрений оценивали также интенсивностью баланса веществ и величиной их реутилизации.

Таблица 6

**Влияние органических удобрений на вынос элементов питания с зерном и соломой ячменя, среднее за 2013–2014 гг.**

Вариант	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос, кг/т				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
1. Без удобрений (контроль)	92	42	79	21	14	20,0	9,1	17,3	4,5	3,0
2. $N_{60+30}P_{60}K_{120}$	147	63	131	30	18	22,1	9,5	19,7	4,6	2,8
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	120	60	97	28	17	20,1	10,1	16,4	4,7	2,8
4. Отход грибного производства, 20 т/га	116	57	107	26	17	19,9	9,8	18,3	4,5	2,9
5. Навозные стоки, 60 т/га	131	60	103	29	16	23,3	10,7	18,4	5,2	2,9
6. Навозные стоки, 120 т/га	145	66	126	32	19	24,0	10,9	20,9	5,3	3,1
7. Эффлюент, 20 т/га	122	55	104	28	17	21,7	9,9	18,6	4,9	3,0
8. Эффлюент, 40 т/га	147	65	127	35	18	24,0	10,5	20,7	5,7	2,9
9. Сложный компост, 30 т/га	123	55	107	26	16	22,8	10,2	19,7	4,8	2,9
10. Сложный компост, 40 т/га	139	56	126	28	16	23,4	9,5	21,2	4,7	2,8
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	122	55	114	24	14	21,4	9,7	19,9	4,1	2,5
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	132	61	127	38	19	21,7	10,1	21,0	6,2	3,2
Среднее по удобрениям вариантам	131	59	115	29	17	22,2	10,1	19,5	5,0	2,9

Расчеты показали, что без применения удобрений не возможно было достичь положительного баланса азота, фосфора, калия, кальция и магния (табл. 7). Минеральные удобрения  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$  также не восполнили в полной мере вынос элементов питания с урожаем. Из органических удобрений недостаточным для поддержания бездефицитного баланса элементов питания в почве было внесение навозных стоков и эффлюента (за исключением фосфора).

Таблица 7

## Баланс элементов питания при возделывании ячменя, среднее за 2013–2014 гг.

Вариант	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O			CaO			MgO		
	Ба- ланс, кг/га	ИБ* %	Реутили- зация %	Ба- ланс, кг/га	ИБ %	Реутили- зация %	Ба- ланс, кг/га	ИБ %	Реутили- зация %	Ба- ланс, кг/га	ИБ %	Реутили- зация %	Ба- ланс, кг/га	ИБ %	Реутили- зация %
1. Без удобрений (контроль)	-86	22	0	-41	1	0	-88	12	0	-60	30	0	-23	18	0
2. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	-73	61	0	-3	96	0	-19	88	0	-70	27	0	-27	15	0
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	10	105	92	156	360	359	55	146	136	16	117	90	2	108	92
4. Отход грибного производства, 20 т/га	18	110	96	152	367	366	53	142	132	180	297	269	18	159	143
5. Навозные стоки, 60 т/га	-39	78	64	-29	51	50	-75	39	29	-63	33	6	-19	36	20
6. Навозные сто- ки, 120 т/га	32	115	104	-5	92	91	-63	57	49	-59	39	12	-16	52	37
7. Эффлоент, 20 т/га	-41	75	61	19	135	134	-81	35	26	-47	49	22	-16	49	33
8. Эффлоент, 40 т/га	9	104	93	84	230	229	-71	52	43	-35	65	40	-7	79	63
9. Сложный компост, 30 т/га	43	122	109	302	645	645	317	350	341	939	1130	1103	71	339	323
10. Сложный ком- пост, 40 т/га	80	135	124	420	847	847	441	402	394	1272	1469	1442	103	437	421
11. Биоудобрение– Гранулированное, 20 т/га	1	101	87	321	679	678	304	326	317	713	905	876	69	342	325
12. Биоудобрение– Гранулированное, 30 т/га	50	124	112	503	924	923	503	441	433	1087	1159	1134	110	429	414

\* Интенсивность баланса.

Применение твердых видов органических удобрений положительно сказалось на величине баланса элементов. Положительный баланс азота составил 1–80 кг/га, фосфора – 19–503 кг/га, калия – 53–503 кг/га, кальция – 16–1272 кг/га и магния – 2–110 кг/га. При этом интенсивность баланса азота находилась на уровне 101–135%, фосфора – 135–924%, калия – 142–441%, кальция – 117–1469% и магния – 108–429%.

С органическими удобрениями в почву внесено 61–124% азота, вынесенного с урожаем, 50–923% фосфора, 26–433% калия, 6–1442% кальция и 20–421% магния.

Высокая урожайность с хорошим качеством продукции, получаемая за счет использования удобрений, должна соответствовать критериям экономической целесообразности. Рациональное применение удобрений позволяет окупать не только расходы на их приобретение и внесение, но и дает хозяйству прибыль.

Для расчета экономической эффективности применяемых удобрений под ячмень использовали уровень цен на товарную продукцию по состоянию на 2015 год при условии транспортировки удобрений на 5 км: стоимость 1 тонны фуражного зерна – 60 USD; затраты на уборку и доработку прибавки урожая зерна – 3,3 USD/т; стоимость минеральных удобрений: 1 тонны д.в. азота – 853 USD, фосфора – 1283, калия – 277 USD; затраты на внесение 1 т д.в. минеральных удобрений на расстояние 5 км от склада: азота – 65,8 USD, фосфора – 46,0 USD, калия – 31,50 USD; затраты на приготовление и внесение на расстояние 5 км 1 тонны органических удобрений: подстилочный навоз КРС – 4,6 USD, свиные навозные стоки и эффлюент – 2,5 USD, сложный компост – 6,5 USD, биоудобрение–гранулированное – 10,0 USD, отход грибного производства – 6,0 USD.

Таблица 8

**Экономическая эффективность применения удобрений под ячмень, среднее за 2013–2014 гг.**

Вариант	Стоимость прибавки	Общие затраты	Чистый доход	Убыток, %
	USD/га			
1. Без удобрений (контроль)	–	–	–	–
2. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>120</sub>	129	267	–138	–52
3. Подстилочный навоз, 40 т/га	85	229	–143	–63
4. Отход грибного производства, 20 т/га	78	161	–83	–52
5. Навозные стоки, 60 т/га	64	183	–120	–65
6. Навозные стоки, 120 т/га	91	348	–257	–74
7. Эффлюент, 20 т/га	64	84	–19	–23
8. Эффлюент, 40 т/га	98	151	–53	–35
9. Сложный компост, 30 т/га	52	222	–170	–77
10. Сложный компост, 40 т/га	85	305	–219	–72
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	71	237	–166	–70
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	93	349	–256	–73

Экономическая эффективность используемых удобрений обуславливалась стоимостью прибавки урожая и затратами на ее получение (табл. 8). Согласно

проведенным исследованиям, использование как минеральных, так и органических удобрений под ячмень в опытах 2013–2014 гг. было убыточным, так как размеры полученных доходов от прибавки урожая зерна не покрывали понесенные расходы.

## ВЫВОДЫ

1. Внесение традиционных и новых видов органических удобрений под ячмень на дерново-подзолистой супесчаной почве оказало положительное влияние на урожайность зерна. В зависимости от видов и доз органических удобрений прибавка урожайности зерна составила 54,2–61,6 ц/га, или 18–34% к неудобренному варианту. Окупаемость зерном 1 т удобрения наибольшей была при внесении 20 т/га отхода грибного производства (61,5 кг) и 20 т/га биоудобрения–гранулированного (56,5 кг), наименьшей – при внесении 60 т/га и 120 т/га навозных стоков (12,0 и 16,8 кг). Органические удобрения способствовали накоплению в зерне ОЭ пределах 63,9–72,6 ГДж/га, кормовых единиц – 67,9–76,6.

Максимальную в опыте урожайность зерна ячменя (66,4 ц/га) обеспечило внесение  $N_{60+30}P_{60}K_{120}$  при наибольших значениях энергетической ценности корма, не обеспечив при этом бездефицитный баланс элементов питания.

2. Применение твердых видов органических удобрений положительно сказалось на величине баланса элементов питания. Положительный баланс азота составил 1–80 кг/га, фосфора – 19–503 кг/га, калия – 53–503 кг/га, кальция – 16–1272 кг/га и магния – 2–110 кг/га. С органическими удобрениями в почву внесено 61–124% азота, 50–923% фосфора, 26–433% калия, 6–1442% кальция и 20–421% магния, вынесенных с урожаем.

3. При действующих ценах на зерно ячменя, затраты, связанные с внесением минеральных и органических удобрений, не окупаются прибавкой урожая. Убыток от применения удобрений под ячмень составил 23–77%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Щетко, А.И.* Влияние применения удобрений на урожайность и вынос элементов питания ячменем при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / А.И. Щетко, А.Р. Рыбак // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 250–256.

2. Влияние агрохимических свойств дерново-подзолистых супесчаных почв и удобрений на урожайность и качество зерна ячменя / Ю.В. Путятин [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2008. – № 1(40). – С. 124–135.

3. *Дериглазова, Г.М.* Особенности возделывания ярового ячменя на склоновых землях Центрального Черноземья / Г.М. Дериглазова, А.Я. Айдиев; Всеросий. Науч.-исслед. ин-т землед. и защиты почв от эрозии, Курский науч.-исслед. ин-т агропромыш. пр-ва. – Курск, 2013. – 234 с.

4. *Мальчевская, Е.Н.* Оценка качества и зоотехнический анализ кормов / Е.Н. Мальчевская, Г.С. Миленькая. – Минск: Ураджай, 1981. – 143 с.

5. Кормовые нормы и состав кормов: справ. пособие / А.П. Шпаков [и др.]. – Минск: Ураджай, 1991. – 384 с.

6. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин-т аграрн. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск.: Белорусская наука, 2012. – 460 с.
7. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
8. Методика расчета элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 26 с.
9. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 25 с.
10. Ячмень фуражный. Требования при заготовках и поставках: СТБ 1136–98. – Введ. 30.12.98. – Минск: Госстандарт, 1998. – 6 с.
11. Ячмень кормовой. Технические условия: ГОСТ Р 53900–2010. – Введ. 01.07.2011. – М.: Стандартинформ, 2011. – 6 с.
12. Экспертиза кормов и кормовых добавок: учеб.-справ. пособие / К.Я. Мотовилов [и др.]. – Новосибирск: Сибирское университетское из-во, 2004. – 303 с.

**AGROECONOMIC EFFICIENCY OF ORGANIC FERTILIZATION ON THE BASIS  
OF RESIDUES OF BIOGAS INSTALLATION UNDER BARLEY  
ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL**

**L.N. Iovik**

**Summary**

The action of alternative fertilizers compare to traditional organic fertilizers on spring barley productivity on sod-podzolic sandy loam soil. Overall, studied fertilizers have similar agronomic and economic effectiveness. Their use has a positive effect on the grain and straw quality and provides high nutritional and energy value. Fertilizers use contributes to a positive balance of the main nutrients. However, their introduction for barley is unprofitable.

*Поступила 27.11.2015*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУКУРУЗЫ НА ЗЕЛЕНУЮ МАССУ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЕ**

**Л.Н. Иовик<sup>1,2</sup>, Т.М. Серая<sup>1</sup>**

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

*<sup>2</sup>Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси,  
г. Брест, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Кукуруза – основная силосная культура в сельском хозяйстве Республики Беларусь. Ежегодно в стране заготавливается около 20 млн т кукурузного силоса. Главным преимуществом культуры является прежде всего ее высокая продуктивность и хорошие питательные свойства при сравнительно низких затратах на производство. Для силосования, как правило, используют кукурузу молочно-восковой и восковой спелости зерна, когда содержание переваримых питательных веществ и энергии достигает своего максимума.

Условия современного хозяйствования и использование технологий интенсивного типа требуют получения высоких урожаев кукурузы хорошего качества. Основным приемом, направленным на достижение этой цели, является применение минеральных и органических удобрений [1]. При планировании урожайности должно учитываться не только состояние почвенного плодородия, но и экономическая значимость возделывания культуры [2].

Для формирования высоких урожаев растениям кукурузы необходимы значительные количества питательных элементов на протяжении всего вегетационного периода. Поэтому при возделывании кукурузы целесообразно вносить органические удобрения, обладающие пролонгированным действием и способные обеспечить культуру питательными элементами в течение длительного периода времени [3].

Многие сельхозпредприятия нашей страны испытывают нехватку традиционных органических удобрений. Их недостаток, возможно, частично компенсировать за счет альтернативных удобрений на основе отходов промышленности. Одним из таких отходов является осадок биогазовой установки, который образуется в результате анаэробного брожения органического сырья. Исследования химического состава отхода говорят о его высоких потенциальных возможностях влияния на величину урожая культур. Причем питательная ценность жидкого осадка определяется в первую очередь компонентами исходного сырья.

В Полесском аграрно-экологическом институте НАН Беларуси (г. Брест) получены твердые виды органических удобрений на основе отходов биогазовой установки ОАО «Селекционно-гибридный центр «Западный» (Брестский р-н) пу-



тем добавления различных компонентов и последующего гранулирования. Новые виды и формы удобрений ранее не изучались.

Цель исследований – изучить эффективность жидких и твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки при возделывании кукурузы на зеленую массу.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2013–2014 гг. в стационарном полевом опыте на территории ОАО «СГЦ «Западный» Брестского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,9 м суглинком. Пахотный слой до внесения удобрений имел следующие агрохимические показатели:  $pH_{KCl}$  – 5,5, гумус – 1,67%, подвижные формы  $P_2O_5$  – 198 мг/кг,  $K_2O$  – 261 мг/кг, обменные формы  $CaO$  – 1158 мг/кг,  $MgO$  – 132 мг/кг.

Объекты исследований – кукуруза сорт Рикардинио, подстилочный навоз КРС, отход грибного производства, свиные навозные стоки, эффлюент биогазовой установки, сложный компост, органоминеральное удобрение Биоудобрение–Гранулированное.

Жидкое органическое удобрение «Эффлюент» (далее – эффлюент) представляет собой жидкий отход биогазовой установки ОАО «СГЦ «Западный», полученный в результате сбраживания навозных стоков (30%), твердой фракции отсепарированных на дуговых ситах навозных стоков с примесью отходов бойни (30%), отходов рыбного производства (20%), зерноотходов (10%) и жидких ферментированных отходов (10%).

Органоминеральное удобрение Сложный компост (далее – сложный компост) получен путем смешивания отсепарированного отхода биогазовой установки (50%), торфа (24,5%), дефеката (24,5%) и хлористого калия (1%). Органоминеральное удобрение Биоудобрение–Гранулированное (далее – биоудобрение–гранулированное) состоит из тех же компонентов, что и сложный компост, прошедших в последующем сушку и грануляцию.

Отход грибного производства является отработанным компостом после выращивания шампиньонов ООО «БОНШЕ» (г. Брест).

Органические удобрения анализировали в соответствии с Государственными отраслевыми стандартами: определение влаги и сухого остатка (ГОСТ 26713–85), золы (ГОСТ 26714–85), общего азота (ГОСТ 26715–85), общего фосфора (ГОСТ 26717–85), общего калия (ГОСТ 26718–85) (табл. 1).

Таблица 1

**Химический состав вносимых органических удобрений**

Вид удобрения	Влажность, %	N	$P_2O_5$	$K_2O$	CaO	MgO	C
		% на естественную влажность					
Подстилочный навоз КРС	79	0,41	0,35	0,40	0,21	0,07	10,0
Отход грибного производства	59	0,85	1,04	0,84	1,23	0,22	13,8
Свиные навозные стоки	99	0,19	0,05	0,06	0,01	0,01	0,3
Эффлюент	89	0,50	0,37	0,16	0,10	0,05	4,6
Сложный компост	45	0,71	1,19	1,44	3,35	0,32	9,1
Биоудобрение–Гранулированное	16	0,78	1,88	2,13	3,88	0,46	16,8

Определение показателей качества зеленой массы кукурузы проводили согласно общепринятым ГОСТ и соответствующим методикам: определение влаги и сухого вещества (ГОСТ 27548–97 п.4), сырой золы (ГОСТ 26226–95), общего азота и сырого протеина (ГОСТ 13496.4–93), сырой клетчатки (ГОСТ 13496.2–91), сырого жира (ГОСТ 13496.15–97), фосфора (ГОСТ 26657–97 п.4), калия (ГОСТ 30504–97), кальция (ГОСТ 26570–95 п.2.1), магния (ГОСТ 30502–97), переваримого протеина, переваримой клетчатки, безазотистых экстрактивных веществ и кормовых единиц (по [4]), обменной энергии (по [5]), нитратов (ГОСТ 13496.19–93 п.2).

Фосфорное удобрение в виде простого суперфосфата и калийное в виде хлористого калия вносили весной под культивацию, азотное в виде сульфата аммония в дозе  $N_{90}$  вносили под предпосевную культивацию и  $N_{60}$  – в подкормку в фазу 4–6 настоящих листьев кукурузы. Органические удобрения вносили весной под вспашку.

В опыте 12 вариантов в четырехкратной повторности. Общая площадь делянки – 50 м<sup>2</sup>, учетная – 32 м<sup>2</sup>. Предшественник кукурузы – озимое тритикале. Схема опыта включала варианты с органической и минеральной системами удобрения (табл. 2). Агротехника возделывания кукурузы общепринятая для Республики Беларусь [6]. Учет урожая осуществляли сплошным поделяночным способом. Статистическую обработку результатов исследований выполняли методами дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [7].

Таблица 2

**Влияние жидких и твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки на продуктивность зеленой массы кукурузы, среднее за 2013–2014 гг.**

Вариант	Урожайность зеленой массы, ц/га	Прибавка к контролю, ц/га	Окупаемость, кг зеленой массы	
			1 т орг. удобрений	1 кг NPK
1. Без удобрений (контроль)	423	–	–	–
2. $N_{90+60}P_{60}K_{150}$	557	134	–	<b>37,2</b>
3. Подстилочный навоз, 60 т/га	538	115	192	16,2
4. Отход грибного производства, 30 т/га	536	113	377	13,7
5. Навозные стоки, 100 т/га	559	136	136	<b>37,8</b>
6. Навозные стоки, 200 т/га	624	<b>201</b>	<b>101</b>	27,9
7. Эффлюент, 35 т/га	568	145	<b>414</b>	<b>40,2</b>
8. Эффлюент, 70 т/га	623	<b>200</b>	286	27,7
9. Сложный компост, 40 т/га	528	105	263	7,9
10. Сложный компост, 60 т/га	595	172	287	8,6
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	490	<b>67</b>	335	7,0
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	548	125	<b>417</b>	8,7
$HCP_{05}$		40		

Баланс элементов питания рассчитывали согласно методике [8]. Расчет агрономической и экономической эффективности применяемых удобрений проводили по методике [9]. Используются последние нормативы затрат на технологические процессы и цены на удобрения и сельскохозяйственную продукцию. Показатели приведены в USD.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что урожайность зеленой массы кукурузы зависела от видов и доз применяемых удобрений. За счет почвенного плодородия урожайность зеленой массы составила 423 ц/га. Внесение минеральных удобрений  $N_{90+60}P_{60}K_{150}$ , 100 т/га навозных стоков и 35 т/га эффлюента (дозы, близкие по азоту), способствовало формированию урожайности кукурузы на уровне 557–568 ц/га. В вариантах с применением двойных доз жидких удобрений получена максимальная в опыте урожайность – 623 и 624 ц/га, что в 1,5 раза превысило этот показатель в контрольном варианте и на 12% в варианте с внесением  $N_{90+60}P_{60}K_{150}$ .

Внесение рекомендуемой под кукурузу дозы подстилочного навоза (60 т/га) и эквивалентной по азоту дозы отхода грибного производства (30 т/га) обеспечило прибавку зеленой массы 115 и 113 ц/га соответственно.

Применение твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки в разной степени влияло на урожайность культуры. По сравнению с другими изучаемыми удобрениями, 20 т/га биоудобрения–гранулированного и 40 т/га сложного компоста обеспечили наименьшую прибавку в опыте – 67 и 105 ц/га соответственно. Повышение доз удобрений до 30 т/га и 60 т/га увеличивало формирование дополнительного урожая зеленой массы примерно в 1,6–1,9 раза.

Важной характеристикой применяемых удобрений является оценка их агрономической эффективности, которая выражается оплатой единицы удобрения прибавкой полученной продукции.

Окупаемость 1 т изучаемых жидких и твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки была более высокой по сравнению с традиционными удобрениями. Наибольшие значения оплаты удобрений зеленой массой кукурузы были получены в вариантах с внесением 35 т/га эффлюента и 30 т/га биоудобрения–гранулированного – 414–417 кг. Использование повышенных доз биоудобрения–гранулированного увеличивало агрономическую эффективность в 1,2 раза, сложного компоста – в 1,1 раза. В то же время использование двойной дозы эффлюента (70 т/га) вызывало обратный эффект и снижало окупаемость удобрений в 1,5 раза.

Наиболее низкая окупаемость удобрений в опыте характерна для свиных навозных стоков: на 1 т получено 101–136 кг зеленой массы. Причем увеличение дозы в два раза (до 200 т/га) снижало агрономическую эффективность в 1,4 раза.

Довольно высокая окупаемость получена при внесении отхода грибного производства, где при дозе 30 т/га на 1 т получено 377 кг зеленой массы, что в 2 раза превышало значение от использования равнозначной по азоту дозы подстилочного навоза (60 т/га).

Оплата 1 кг NPK, содержащегося в органических удобрениях, в основном определялась количеством азота и степенью его доступности для культуры. Наибольшие значения окупаемости 1 кг NPK принадлежали жидким видам удобрений. Применение минеральных удобрений и эквивалентных с ними по азоту доз навозных стоков и эффлюента были равнозначными по эффективности. При этом оплата 1 кг NPK зеленой массой составила 37,2–40,2 кг. Увеличение доз жидких органических удобрений снижало показатель в 1,4–1,5 раза. Полученная прибавка урожая зеленой массы от твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки в значительно меньшей степени окупала вносимые питательные элементы и в среднем колебалась на уровне 7,0–8,7 кг.

В ходе исследований 2013–2014 гг. продуктивность кукурузы оценивалась не только величиной урожайности и ее прибавки от изучаемых удобрений, но и показателями качества зеленой массы. Кормовая ценность обуславливается в первую очередь количеством переваримых питательных веществ и выражается величиной обменной энергии (ОЭ) и количеством кормовых единиц (к.ед.). Валовое содержание минеральных веществ определяли показателем сырой золы. Помимо этого, изучали накопление нитратов в зеленой массе, которое сравнивали с предельно-допустимыми концентрациями (ПДК).

Результаты химического анализа зеленой массы кукурузы показали, что содержание сырой золы в опыте находилось практически на одном уровне и незначительно варьировало по исследуемым вариантам (табл. 3). Данный показатель указывает на минеральную питательность растений. Наибольшее накопление сырой золы наблюдалось при удобрении навозными стоками – 4,71–5,02%, а наименьшее – при  $N_{90+60}P_{60}K_{150}$  (3,97%).

Таблица 3

**Влияние жидких и твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки на содержание элементов питания в сухом веществе зеленой массы кукурузы, среднее за 2013–2014 гг.**

Вариант	Сырая зола, %	N, %	P, %	K, %	Ca, %	Mg, %	Нитраты, мг/кг
1. Без удобрений (контроль)	4,67	1,52	0,82	2,16	0,25	0,32	98
2. $N_{90+60}P_{60}K_{150}$	3,97	1,67	0,85	2,64	0,24	0,30	89
3. Подстилочный навоз, 60 т/га	4,06	1,65	0,89	2,78	0,28	0,33	56
4. Отход грибного производства, 30 т/га	4,19	1,64	0,93	2,79	0,31	0,32	61
5. Навозные стоки, 100 т/га	4,71	1,68	0,84	2,05	0,25	0,29	85
6. Навозные стоки, 200 т/га	5,02	1,74	0,92	2,14	0,25	0,31	96
7. Эффлюент, 35 т/га	4,02	1,69	0,87	2,13	0,24	0,30	72
8. Эффлюент, 70 т/га	4,26	1,77	0,99	2,57	0,27	0,32	84
9. Сложный компост, 40 т/га	4,33	1,65	0,85	2,95	0,30	0,31	79
10. Сложный компост, 60 т/га	4,61	1,72	0,93	3,40	0,32	0,32	84
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	4,63	1,66	0,85	2,92	0,31	0,32	83
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	4,70	1,73	0,96	3,30	0,35	0,33	90

Изучение макроэлементного состава позволило определить количество основных элементов питания в урожае зеленой массы. В целом по опыту, содержание азота составило 1,52–1,77%, фосфора – 0,82–0,99%, калия – 2,05–3,40%, кальция – 0,24–0,35% и магния – 0,29–0,33%. Наиболее значимое влияние применение удобрений оказывало на накопление калия. Самые высокие значения данного показателя были достигнуты при использовании твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки.

В ряде случаев азот органических и минеральных соединений может включаться в состав аммонийно-нитратных соединений – нитратов, накопление которых выше ПДК отрицательно сказывается на здоровье животного организма. Согласно Ветеринарно-санитарным правилам [10], ПДК нитратов в зеленой массе не должно превышать 500 мг/кг. Полученные лабораторные данные показали, что содержание нитратов в растительной продукции находится на уровне 56–98 мг/кг и не выходит за пределы установленного норматива.

Качество кукурузы на кормовые цели оценивается, прежде всего, способностью животных усваивать из нее питательные вещества. Чем выше переваримость белков, жиров и углеводов, тем лучше питательность корма и больше значения ОЭ и к.ед.

Согласно полученным данным, накопление питательных веществ по вариантам опыта находилось практически на одном уровне и незначительно зависело от дозы удобрений (табл. 4). Установлено, что содержание сырого протеина составило 7,95–9,54% в сухом веществе, сырой клетчатки – 14,4–20,4% и сырого жира – 2,98–3,49%.

Таблица 4

**Влияние жидких и твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки на питательную и энергетическую ценность зеленой массы кукурузы, в среднем за 2013–2014 гг.**

Вариант	Сухое вещество, %	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	Переваримый протеин	Переваримая клетчатка	Переваримый жир	Переваримые БЭВ	ОЭ (КРС), ГДж/га	К.ед., ц/га
1. Без удобрений (контроль)	24,84	8,21	20,4	2,98	13,46	28,9	5,33	123,50	110,0	105,8
2. N <sub>90+60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	25,04	8,81	18,4	3,05	14,62	26,4	5,52	128,97	150,4	145,5
3. Подстилочный навоз, 60 т/га	25,33	8,69	14,4	3,37	14,39	20,6	6,09	135,97	145,3	147,5
4. Отход грибного производства, 30 т/га	25,20	8,51	14,7	3,31	14,08	21,0	5,97	135,49	144,7	146,1
5. Навозные стоки, 100 т/га	24,82	8,87	18,4	3,08	14,75	26,4	5,59	127,60	150,9	145,1
6. Навозные стоки, 200 т/га	25,33	9,54	17,8	3,24	15,98	25,8	5,92	127,49	168,5	163,9
7. Эффлюент, 35 т/га	24,93	8,61	14,5	3,38	14,31	20,8	6,13	136,48	153,3	156,2
8. Эффлюент, 70 т/га	25,41	9,08	17,2	3,49	15,20	24,9	6,37	130,49	168,2	167,0

Вариант	Сухое вещество, %	Сырой протеин	Сырая клетчатка	Сырой жир	Переваримый протеин	Переваримая клетчатка	Переваримый жир	Переваримые БЭВ	ОЭ (КРС), ГДж/га	К.ед., ц/га
		% в сухом веществе			г/кг натурального корма					
9. Сложный компост, 40 т/га	25,10	8,39	16,6	3,22	13,88	23,7	5,81	131,92	142,6	140,4
10. Сложный компост, 60 т/га	25,24	8,62	17,5	3,25	14,36	25,2	5,91	129,97	160,7	157,1
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	25,32	7,95	17,4	3,13	13,12	24,8	5,63	130,44	132,3	128,2
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	25,43	8,23	18,8	3,16	13,64	26,9	5,72	127,57	148,0	141,6

Для организации рационального кормления животных используются количественные показатели переваримых питательных веществ. В ходе исследований определяли не только переваримые протеин, клетчатку, жир, но и безазотистые экстрактивные вещества (БЭВ), основную часть которых составляют легкоусвояемые сахара и крахмал. По расчетным данным зеленая масса кукурузы в среднем накапливала 13,12–15,98 г/кг переваримого протеина, 20,6–28,9 г/кг переваримой клетчатки, 5,33–6,37 г/кг переваримого жира и 123,50–136,48 г/кг переваримых БЭВ. При этом количество переваримого протеина, как основного элемента питания, преобладало в вариантах с жидкими формами органических удобрений, в том числе на основе отходов биогазовой установки.

В ходе исследований полноценность зеленой массы кукурузы на кормовые цели оценивали по величине энергии, заключенной в сухом веществе. Так, при показателях сухого вещества 24,82–25,43%, в удобренных вариантах возможно запasti 132,3–168,5 ГДж/га обменной энергии, или 128,2–167,0 ц/га к.ед. При этом на величины данных показателей влияет не только содержание питательных веществ в сухом веществе, но и урожайность культуры. Исходя из этого, наиболее высокие значения энергетической питательности зеленой массы кукурузы были характерны при удобрении жидкими формами органических удобрений – навозными стоками и эффлюентом.

Содержание питательных элементов в зеленой массе является исходной величиной для расчета их выноса с урожаем культуры. Для оценки эффективности использования азота, фосфора, калия, кальция и магния использовались величины общего (хозяйственного) и удельного (нормативного) выносов (табл. 5).

Хозяйственный (общий) вынос характеризует величину общих затрат элементов питания на создание урожая зеленой массы. При этом по удобренным вариантам опыта общий вынос составил: азота – 179–249 кг/га, фосфора – 80–118 кг/га, калия – 237–419 кг/га, кальция – 24–34 кг/га и магния – 24,1–29,1 кг/га. Установлено, что при применении двойной дозы эффлюента величина общего выноса азота и фосфора превышала данные показатели остальных

ных опытных вариантов. В то же время, минимальные значения выноса азота, фосфора и магния характерны для варианта с внесением биоудобрения–гранулированного в дозе 20 т/га. Особенно много калия выносятся зеленой массой при применении повышенных доз твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки – сложного компоста и биоудобрения–гранулированного.

Таблица 5

**Влияние жидких и твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки на вынос элементов питания с зеленой массой кукурузы, среднее за 2013–2014 гг.**

Вариант	Общий вынос, кг/га					Удельный вынос, кг/т				
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
1. Без удобрений (контроль)	139	65	189	19	20,1	3,3	1,5	4,5	0,4	0,5
2. N <sub>90+60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	207	90	305	24	25,0	3,7	1,6	5,5	0,4	0,4
3. Подстилочный навоз, 60 т/га	194	90	310	27	26,9	3,6	1,7	5,8	0,5	0,5
4. Отход грибного производства, 30 т/га	193	93	310	30	25,8	3,6	1,7	5,8	0,6	0,5
5. Навозные стоки, 100 т/га	205	88	237	25	24,2	3,7	1,6	4,2	0,5	0,4
6. Навозные стоки, 200 т/га	247	110	277	28	28,6	4,0	1,8	4,4	0,4	0,5
7. Эффлюент, 35 т/га	208	93	250	25	25,6	3,7	1,6	4,4	0,4	0,5
8. Эффлюент, 70 т/га	249	118	330	30	29,1	4,0	1,9	5,3	0,5	0,5
9. Сложный компост, 40 т/га	195	85	322	28	24,6	3,7	1,6	6,1	0,5	0,5
10. Сложный компост, 60 т/га	233	107	419	34	28,2	3,9	1,8	7,0	0,6	0,5
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	179	80	296	27	24,1	3,7	1,6	6,0	0,6	0,5
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	214	102	374	34	27,7	3,9	1,9	6,8	0,6	0,5
Среднее по удобренным вариантам	211	96	312	28	26,3	3,8	1,7	5,6	0,5	0,5

На основании величины общего выноса элементов питания рассчитан удельный вынос с 1 т основной продукции. По вариантам опыта с применением удобрений вынос азота составил 3,6–4,0 кг/т, фосфора – 1,6–1,9 кг/т, калия – 4,2–7,0 кг/т, кальция – 0,4–0,6 кг/т и магния – 0,4–0,5 кг/т.

Важнейшим показателем эффективности применяемых удобрений является оценка состояния баланса питательных элементов путем сопоставления его приходных и расходных статей. На основании полученных данных можно судить о состоянии почвенных запасов и дефиците элементов питания. Расчеты хозяйственного баланса показали, что за счет применения под кукурузу только минеральных удобрений, накопления питательных элементов в дерново-подзолистой супесчаной почве не происходит (табл. 6).

При использовании жидких и твердых органических удобрений величина баланса варьировала в довольно широких пределах. Все органические удобрения обеспечили положительный баланс азота на уровне 1–187 кг/га, при интенсивности баланса 101–171%.



Таблица 6

**Баланс элементов питания при возделывании кукурузы на зеленую массу, среднее за 2013–2014 гг.**

Вариант	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O			CaO			MgO		
	Баланс, кг/га	ИБ* %	Реути- лиза- ция %	Баланс, кг/га	ИБ %	Реути- лиза- ция %	Баланс, кг/га	ИБ %	Реути- лиза- ция %	Баланс, кг/га	ИБ %	Реути- лиза- ция %	Баланс, кг/га	ИБ %	Реути- лиза- ция %
1. Без удобрений (контроль)	-86	22	0	-65	1	0	-199	5	0	-59	30	0	-29	15	0
2. N <sub>90+60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	-73	61	0	-30	67	0	-165	49	0	-64	28	0	-34	13	0
3. Подстилочный навоз, 60 т/га	71	136	124	120	233	233	-79	76	73	59	165	137	6	115	103
4. Отход грибного производства, 30 т/га	81	141	129	220	336	336	-68	79	76	299	413	387	31	178	166
5. Навозные стоки, 100 т/га	18	109	97	-38	57	57	-186	27	23	-55	39	11	-23	39	26
6. Навозные стоки, 200 т/га	146	157	147	-10	91	91	-166	44	40	-48	49	21	-18	59	47
7. Эффлюент, 35 т/га	16	109	95	37	140	139	-204	25	21	-29	67	39	-17	57	44
8. Эффлюент, 70 т/га	121	148	138	141	219	219	-228	35	32	1	101	74	-3	93	81
9. Сложный компост, 40 т/га	96	145	134	392	561	560	244	171	168	1272	1466	1438	94	344	331
10. Сложный компост, 60 т/га	187	171	162	608	670	670	435	199	197	1937	2061	2035	155	466	455
11. Бисуобрение–Гранулированное, 20 т/га	1	101	87	297	472	472	121	138	135	709	871	844	59	255	242
12. Бисуобрение–Гранулированное, 30 т/га	50	124	112	463	556	556	255	165	162	1090	1199	1173	101	343	331

\* Интенсивность баланса.

Следует отметить, что не все виды и дозы органических удобрений обеспечили положительный баланс основных элементов питания. Хуже всего сложился баланс по калию: только внесение сложного компоста и биоудобрения–гранулированного обеспечило положительный баланс его, в остальных вариантах вынос с урожаем превышал поступление с удобрениями. Интенсивность баланса калия в зависимости от удобрённых вариантов опыта составила 25–199%.

Отрицательный баланс по фосфору сложился только в вариантах с внесением свиных навозных стоков, где вынос с урожаем превышал поступление фосфора с удобрениями на 10–38 кг/га. В целом по опыту интенсивность баланса фосфора в удобрённых вариантах составила 57–670%.

С органическими удобрениями в почву возвратилось 87–162% азота, 57–670% фосфора, 21–197% калия, 11–2035% кальция и 26–455% магния к выносу их с урожаем. Установлено, что наибольший положительный баланс элементов питания получен при внесении 60 т/га сложного компоста.

Рациональность применения удобрений в сельскохозяйственном производстве должна быть подтверждена не только агрономической, но и экономической эффективностью. Ее главным критерием является получение максимальной урожайности при минимальных затратах.

Экономическая эффективность применения удобрений рассчитана по уровню цен на 2015 г. и расстоянию перевозки удобрений 5 км: стоимость 1 т зеленой массы кукурузы – 27,9 USD; затраты на уборку и доработку прибавки урожая зеленой массы кукурузы – 6,3 USD/т; стоимость минеральных удобрений: 1 т д.в. азота – 853 USD, фосфора – 1283, калия – 277 USD; затраты на внесение 1 т д.в. минеральных удобрений на расстояние 5 км от склада: азота – 65,8 USD, фосфора – 46,0 USD, калия – 31,50 USD; затраты на приготовление и внесение на расстояние 5 км 1 тонны органических удобрений: подстилочный навоз КРС – 4,6 USD, свиные навозные стоки и эффлюент – 2,5 USD, сложный компост – 6,5 USD, биоудобрение–гранулированное – 10,0 USD, отход грибного производства – 6,0 USD. Учитывая, что действие твердых органических удобрений на урожайность прослеживается в течение трех лет после внесения, затраты на их внесение под первую культуру составили 70%. Затраты на внесение жидких органических удобрений в полном объеме отнесены на первую культуру.

Установлено, что экономическая эффективность удобрений зависела от их агрономической эффективности, которая определялась содержанием элементов питания и их доступностью для растений; затрат на приобретение, приготовление, хранение, транспортировку и внесение (табл. 7).

Из всех удобрений, только применение под кукурузу свиных навозных стоков в дозе 200 т/га было убыточным из-за высоких затрат на их внесение. Максимальную рентабельность в опыте обеспечило внесение эффлюента: доза 35 т/га – 126%, 70 т/га – 85%.

При перевозке до 5 км, равномерное внесение качественных органических удобрений под кукурузу обеспечило более высокий чистый доход, чем минеральные удобрения.

**Экономическая эффективность применения удобрений под кукурузу**

Вариант	Стоимость прибавки, USD	Общие затраты	Чистый доход	Рентабельность, %
	USD/га			
1. Без удобрений (контроль)	–	–	–	–
2. N <sub>90+60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>150</sub>	374	348	26	7
3. Подстилочный навоз, 60 т/га	321	266	55	21
4. Отход грибного производства, 30 т/га	315	197	118	60
5. Навозные стоки, 100 т/га	379	336	44	13
6. Навозные стоки, 200 т/га	561	627	–66	–11
7. Эффлюент, 35 т/га	405	179	226	126
8. Эффлюент, 70 т/га	558	301	257	85
9. Сложный компост, 40 т/га	293	248	45	18
10. Сложный компост, 60 т/га	480	381	99	26
11. Биоудобрение–Гранулированное, 20 т/га	187	182	5	3
12. Биоудобрение–Гранулированное, 30 т/га	349	289	60	21

**ВЫВОДЫ**

1. На дерново-подзолистой супесчаной почве максимальную в опыте урожайность кукурузы на уровне 623 и 624 ц/га обеспечило внесение свиных навозных стоков в дозе 200 т/га и эффлюента – 70 т/га при окупаемости 1 т удобрений 101 и 286 кг зеленой массы. В данных вариантах отмечено самое высокое содержание переваримого протеина в 1 кг корма –15,98 и 15,20% и накопление обменной энергии – 168,5 и 168,2 ГДж/га соответственно.

2. Эффлюент (35 т/га) и свиные навозные стоки (100 т/га), внесенные в дозах близких по азоту с минеральными удобрениями, способствовали получению зеленой массы кукурузы на уровне 557–568 ц/га при окупаемости 1 кг NPK, содержащегося в этих удобрениях, 37,2–40,2 кг зеленой массы.

3. Внесение подстилочного навоза в дозе 60 т/га обеспечило получение 538 ц/га зеленой массы кукурузы. Аналогичная (в пределах ошибки опыта) урожайность получена в вариантах с внесением 30 т/га отхода грибного производства, 40 т/га сложного компоста и 30 т/га биоудобрения гранулированного, при этом 1 т подстилочного навоза обеспечила минимальную урожайность – 192 кг зеленой массы, 1 т биоудобрения–гранулированного – максимальную урожайность – 417 кг. Из твердых видов органических удобрений в более доступной форме элементы питания находятся в подстилочном навозе, в наименее доступной – в биоудобрении–гранулированном, так как на 1 кг NPK, содержащегося в этих удобрениях, получено 16,2 и 8,7 кг зеленой массы соответственно.

4. Все виды и дозы органических удобрений обеспечили положительный или бездефицитный баланс азота в почве. По фосфору отрицательный баланс сложился в вариантах с внесением свиных навозных стоков, где вынос с урожаем

превышал поступление фосфора с удобрениями на 10–38 кг/га. В целом по опыту интенсивность баланса фосфора в удобренных вариантах составила 57–670%. Положительный баланс по калию отмечен только при внесении сложного компоста и биоудобрения–гранулированного. Интенсивность баланса калия в зависимости от удобренных вариантов опыта составила 25–199%.

5. При перевозке до 5 км, равномерное внесение качественных органических удобрений под кукурузу обеспечило более высокий чистый доход, чем минеральные удобрения. Из всех удобрений, только применение под кукурузу свиных навозных стоков в дозе 200 т/га было убыточным из-за высоких затрат на их внесение. Максимальную рентабельность в опыте обеспечило внесение эффлюента: в дозе 35 т/га – 126%, 70 т/га – 85%.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бельченко, С.А.* Влияние систем удобрения на урожайность и качество зеленой массы кукурузы / С.А. Бельченко, И.Н. Белоус, М.Г. Драганская // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 5. – С. 59–61.
2. Агроекономическая эффективность минеральных и органических удобрений при возделывании кукурузы на зеленую массу на высоко окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / В.В. Лапа [и др.] // Земледелие и защита растений. – 2015. – № 2(99). – С. 23–26.
3. Отзывчивость кукурузы на применение различных видов органических удобрений при возделывании на дерново-подзолистой супесчаной почве / Т.М. Серая [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2012. – № 1(48). – С. 54–61.
4. *Мальчевская, Е.Н.* Оценка качества и зоотехнический анализ кормов / Е.Н. Мальчевская, Г.С. Миленькая. – Минск: Ураджай, 1981. – 143 с.
5. Кормовые нормы и состав кормов: справ. пособие / А.П. Шпаков [и др.]. – Минск: Ураджай, 1991. – 384 с.
6. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сборник отраслевых регламентов / Ин-т аграрн. экономики НАН Беларуси; рук. разработ. В.Г. Гусаков [и др.]. – Минск.: Белорусская наука, 2012. – 460 с.
7. *Доспехов, Б.А.* Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
8. Методика расчета элементов питания в земледелии Республики Беларусь / В.В. Лапа [и др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2007. – 26 с.
9. Методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных и органических удобрений / И.М. Богдевич [и др.] / Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2010. – 25 с.
10. Ветеринарно-санитарные правила обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов: постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Респ. Беларусь, 10 фев. 2011 г., № 10 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2012. – 8/25498.

## **EFFECTIVENESS OF LIQUID AND SOLID ORGANIC FERTILIZERS ON THE BASIS OF RESIDUES OF BIOGAS INSTALLATION IN CORN GREEN MASS CULTIVATION ON SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL**

**L.N. Iovik, T.M. Seraya**

### **Summary**

Comparative effectiveness of new and traditional types of organic fertilizers on the sod-podzolic sandy loam soil was studied. It was established the liquid and solid organic fertilizers on the basis of biogas residue has positive effect on the yield and quality of corn green mass. Action of «Effluent» similar mineral fertilizers and traditional liquid organic fertilizers at the similar nitrogen doses. The highest nutritional and energy value of green mass was obtained by «Effluent» fertilizing. Maximal net income obtained by 35 and 70 t/ha of «Effluent» – 226–257 USD/ha.

*Поступила 17.11.2015*

УДК 631.81.095.337:633.16:631.442

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОБАЛЬТОВЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ НА РАЗНЫХ УРОВНЯХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ КОБАЛЬТОМ**

**М.В. Рак, Е.Н. Пукалова, В.А. Савицкая, Л.Н. Гук**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

Содержание кобальта в почве обуславливает количество этого элемента в растениях и уровни поступления его в организм животных. Кобальт поступает в растения в форме катиона, хелатных соединений и витамина В<sub>12</sub>. Этот микроэлемент может влиять на процессы, проходящие в растениях в период формирования и налива зерна, поскольку он улучшает углеводный обмен, синтез хлорофилла, содержание аскорбиновой кислоты, повышает активность ферментов и количество нуклеиновых кислот в растениях [1–2]. Наиболее объективным показателем содержания кобальта в почве является наличие его подвижной формы, что зависит в первую очередь от гранулометрического состава почвы, кислотности и содержания гумуса. Содержание подвижного кобальта в пахотных почвах республики низкое и составляет 0,48–0,65 мг/кг [3–5]. Низкое содержание подвижного кобальта в почве обуславливает недостаточное его содержание в растениеводческой продукции, которое достигает лишь нижних границ оптимальных значений и составляет 0,11–0,40 мг/кг сухой массы [5–7]. Научно обоснованное применение микроудобрений позволяет регулировать процессы обогащения

продукции микроэлементами. При этом в последние годы большое внимание уделяется хелатным формам микроэлементов [8–9].

Закономерности распределения в почвах кобальта и потребления растениями в зависимости от уровней обеспеченности им почвы в республике изучены слабо. В связи с этим разработка количественных критериев для оптимизации питания и обогащения растениеводческой продукции кобальтом является актуальным направлением и будет способствовать повышению эффективности применения кобальтовых удобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

## МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились в полевом опыте с яровым ячменем в ГП «Экспериментальная база им. Суворова» Узденского района на дерново-подзолистой супесчаной почве, развивающейся на рыхлых водно-ледниковых супесях, сменяемых с глубины около 0,5 м связной супесью. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы при возделывании ячменя: рН в КСl – 6,6, содержание гумуса – 2,3%,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  – 210 и 310 мг/кг почвы. Исходное содержание подвижного кобальта в пахотном горизонте почвы составляло 0,87 мг/кг почвы.

Исследования с яровым ячменем Стратус проводились на фоне минеральных удобрений ( $N_{70}P_{60}K_{90}$ ), которые вносились в форме КАС, суперфосфата аммонизированного и хлористого калия. Норма высева 4,5 млн всхожих зерен на гектар. Предшественник – озимая пшеница.

Схема полевого опыта включала 7 вариантов; 6 вариантов некорневых подкормок растений ячменя кобальтовыми удобрениями развернуты на 4 уровнях насыщения дерново-подзолистой супесчаной почвы кобальтом, созданных перед закладкой опыта. Уровни насыщения пахотного слоя почвы кобальтом в полевом опыте с ячменем были созданы внесением сернокислого кобальта в виде водного раствора. Площадь делянки – 12 м<sup>2</sup>, повторность в опыте – 3-кратная.

Некорневая подкормка растений ячменя возрастающими дозами кобальта и бора (0,025, 0,05, 0,075 кг/га д.в.) проводилась в стадию первого узла. В качестве микроудобрений применялось жидкое удобрение МикроСтим–Кобальт, содержащее 125 г/л кобальта в ор, и 50 г/л бора в органоминеральной форме. Расход рабочего раствора 200 л/га.

В соответствии с программой исследований отбирались растительные и почвенные образцы. Отбор растительных образцов осуществлялся в вариантах 1–8 на 4 уровнях насыщения дерново-подзолистой супесчаной почвы кобальтом. Почвенные образцы отбирали по генетическим горизонтам ( $A_{\text{пах}}$  – 0–25 см,  $A_1A_2$  – 25–55,  $A_2B_1$  – 55–80,  $B_2D$  – 80–100 см) на 4 уровнях насыщения. Уборка и учет урожая ячменя проводилась поделочно.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований по содержанию и миграции валового и подвижного кобальта по генетическим горизонтам дерново-подзолистой супесчаной почвы при возделывании ячменя показали, что основное количество элемента

накапливается преимущественно в верхнем перегнойно-аккумулятивном слое почвы.

Концентрация валового кобальта в пахотном горизонте увеличивается по уровням насыщения. Максимальная концентрация валового кобальта наблюдается в верхнем пахотном горизонте почвы и с глубиной происходит уменьшение концентрации валового кобальта (рис. 1).

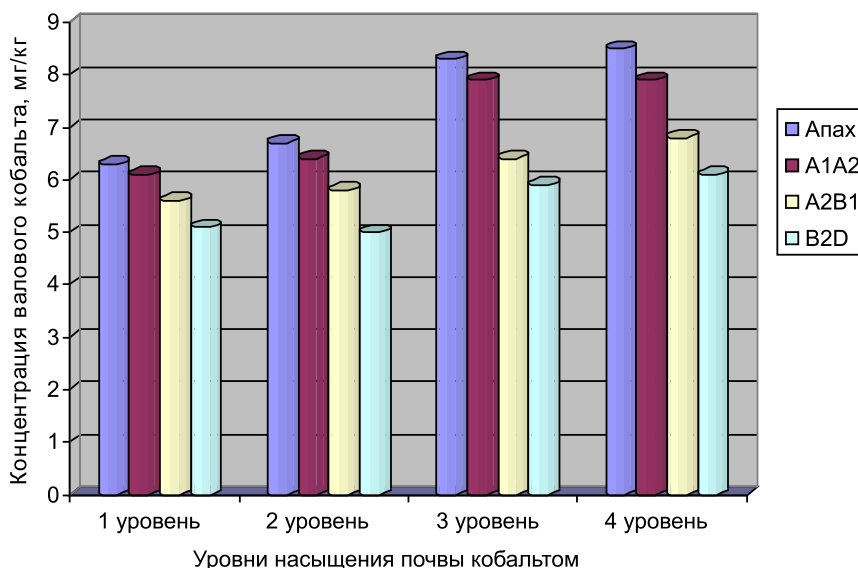


Рис. 1. Распределение валового кобальта по генетическим горизонтам дерново-подзолистой супесчаной почвы на 4 уровнях насыщения

Распределение подвижного кобальта по генетическим горизонтам почвы с глубиной снижалась. Установлено, что наибольшая концентрация подвижного кобальта наблюдается в верхнем перегнойно-аккумулятивном слое почвы, а в горизонте  $A_1A_2$  происходит значительное уменьшение его концентрации. Отмечается плавное снижение концентрации подвижного кобальта в нижних горизонтах почвенного профиля (рис. 2).

За двухлетний период исследований после внесения сернокислого кобальта в почву содержание подвижного кобальта в пахотном горизонте повысилось от 1,77 (2 уровень) до 2,5 мг/кг (4 уровень) (табл. 1). Содержание валового кобальта находилось в пределах от 6,7 мг/кг (2 уровень) до 8,5 мг/кг (4 уровень). К концу вегетационного периода содержание подвижного кобальта в почве по уровням насыщения было ниже и колебалось от 0,9 мг/кг (1 уровень) до 2,1 мг/кг (4 уровень), валового кобальта – от 5,7 до 8,5 мг/кг соответственно.

Вниз по профилю дерново-подзолистой супесчаной почвы количественное содержание подвижного кобальта снижалось. Так, в гумусово-элювиальном горизонте содержание кобальта колебалось от 0,51 мг/кг (1 уровень) до 1,40 мг/кг (4 уровень), а в элювиально-иллювиальном горизонте – от 0,65 до 0,61 мг/кг соответственно.



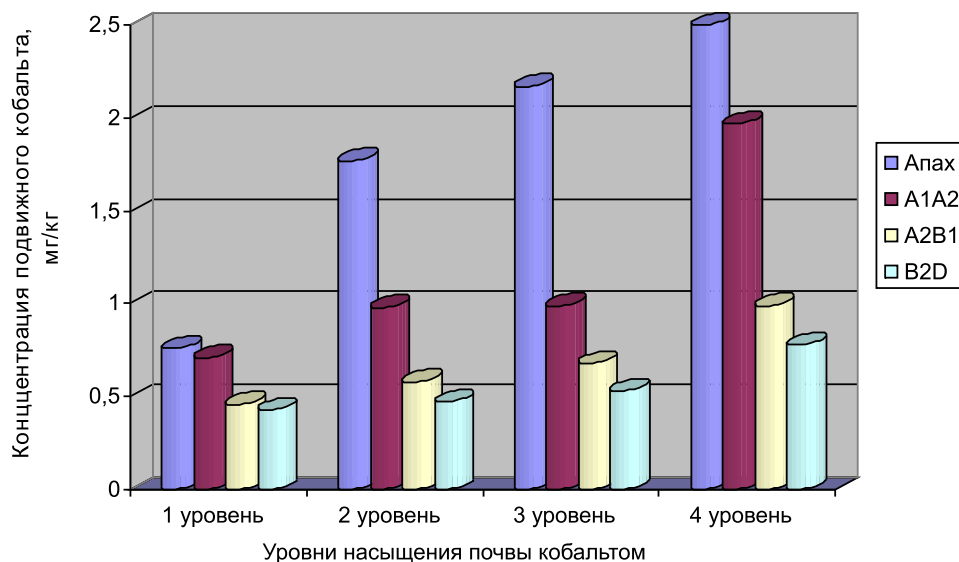


Рис. 2. Распределение подвижного кобальта по генетическим горизонтам дерново-подзолистой супесчаной почвы на 4 уровнях насыщения

Таблица 1

**Динамика содержания подвижного и валового кобальта в супесчаной почве при возделывании ячменя, мг/кг (среднее за 2013–2014 гг.)**

Горизонт	Глубина образца, см	Кущение		Выход в трубку		Цветение		Полная спелость	
		подвижный	валовой	подвижный	валовой	подвижный	валовой	подвижный	валовой
I уровень									
Aпах	0–24	0,76	6,3	1,89	5,6	1,90	5,8	0,90	5,7
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	24–47	0,71	6,1	0,74	5,1	0,76	5,0	0,57	5,3
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	47–85	0,46	5,6	0,49	4,8	0,52	4,7	0,65	5,1
B <sub>2</sub> D	85–115	0,43	5,1	0,47	4,2	0,48	4,3	0,49	4,8
II уровень									
Aпах	0–24	1,77	6,7	2,02	7,6	2,02	7,7	1,90	6,72
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	24–47	0,98	6,4	1,02	6,8	1,20	7,1	0,90	6,8
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	47–85	0,58	5,8	0,99	6,2	1,10	6,0	0,80	6,4
B <sub>2</sub> D	85–115	0,47	5,0	0,74	5,9	0,99	5,55	0,78	5,92
III уровень									
Aпах	0–24	2,17	8,3	2,20	8,2	2,10	8,1	2,00	8,1
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	24–47	0,99	7,92	1,90	7,4	1,70	7,9	1,90	7,7
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	47–85	0,68	6,4	1,75	6,5	1,03	6,2	1,40	6,5
B <sub>2</sub> D	85–115	0,53	5,9	1,71	6,0	1,20	5,9	1,00	6,2
IV уровень									
Aпах	0–24	2,50	8,5	2,40	8,4	2,30	8,5	2,10	8,5
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	24–47	1,97	7,9	1,51	8,2	1,40	8,0	1,40	8,1
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	47–85	0,99	6,8	0,80	7,7	0,50	7,6	0,61	7,6
B <sub>2</sub> D	85–115	0,78	6,1	0,91	6,1	0,89	7,0	0,83	7,4

Соотношение содержания подвижной формы микроэлемента к его валовому количеству в почве свидетельствует о его подвижности. Как видно из результатов исследований наиболее подвижен кобальт в пахотном горизонте почвы.

Таким образом, при насыщении дерново-подзолистой супесчаной почвы кобальтом происходит его аккумуляция в гумусовом горизонте почвы с последующей миграцией по почвенному профилю. При этом концентрация валового кобальта снижается менее значительно, чем подвижного. По мере обеспеченности почвы элементом, его подвижность возрастает с выраженным максимумом в пахотном горизонте.

Анализ экспериментальных данных по урожайности ярового ячменя показал, что увеличение содержания кобальта в дерново-подзолистой супесчаной почве от низкого до избыточного уровня сопровождалось снижением урожайности зерна. Наибольшая урожайность зерна ячменя (51,4 ц/га) отмечается при средней концентрации кобальта в супесчаной почве (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние кобальтовых удобрений на урожайность ярового ячменя  
при различной обеспеченности почвы кобальтом**

Уровни содержания кобальта в почве, мг/кг	Вариант	Урожайность зерна, ц/га			Прибавка к фону, ц/га	
		2013 г.	2014 г.	средняя		
Низкий	1. N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон	49,9	46,7	48,3	–	
	2. Co <sub>0,025</sub>	МикроСтим–Кобальт	54,8	53,0	53,9	5,6
	3. Co <sub>0,05</sub>		54,6	49,1	51,9	3,6
	4. Co <sub>0,075</sub>		53,8	46,1	49,9	1,6
	5. Co <sub>0,025</sub> B <sub>0,025</sub>	МикроСтим–Кобальт, Бор	53,2	50,9	52,1	3,8
	6. Co <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub>		53,5	51,5	52,5	4,2
	7. Co <sub>0,075</sub> B <sub>0,075</sub>		50,0	48,6	49,3	1,0
Средний	1. N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон	53,5	49,3	51,4	–	
	2. Co <sub>0,025</sub>	МикроСтим–Кобальт	57,6	51,0	54,3	2,9
	3. Co <sub>0,05</sub>		56,3	50,7	53,5	2,1
	4. Co <sub>0,075</sub>		56,3	53,6	54,9	3,5
	5. Co <sub>0,025</sub> B <sub>0,025</sub>	МикроСтим–Кобальт, Бор	57,6	51,0	54,3	2,9
	6. Co <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub>		54,7	47,9	51,3	–
	7. Co <sub>0,075</sub> B <sub>0,075</sub>		55,0	51,9	53,5	2,1
Высокий	1. N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон	50,5	44,8	47,7	–	
	2. Co <sub>0,025</sub>	МикроСтим–Кобальт	50,8	43,3	47,1	–
	3. Co <sub>0,05</sub>		49,4	44,2	46,8	–
	4. Co <sub>0,075</sub>		50,7	44,5	47,6	–
	5. Co <sub>0,025</sub> B <sub>0,025</sub>	МикроСтим–Кобальт, Бор	50,8	43,2	47,0	–
	6. Co <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub>		49,5	43,8	46,7	–
	7. Co <sub>0,075</sub> B <sub>0,075</sub>		48,5	44,8	46,7	–
Избыточный	1. N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон	51,3	51,2	51,3	–	
	2. Co <sub>0,025</sub>	МикроСтим–Кобальт	48,5	51,6	50,1	–
	3. Co <sub>0,05</sub>		46,9	51,8	49,4	–
	4. Co <sub>0,075</sub>		45,3	49,7	47,5	–

Уровни содержания кобальта в почве, мг/кг	Вариант		Урожайность зерна, ц/га			Прибавка к фону, ц/га
			2013 г.	2014 г.	средняя	
	5. Co <sub>0,025</sub> B <sub>0,025</sub>	МикроСтим–Кобальт, Бор	46,0	46,8	46,4	–
	6. Co <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub>		47,7	48,1	47,9	–
	7. Co <sub>0,075</sub> B <sub>0,075</sub>		47,1	51,1	49,1	–
НСР <sub>05</sub> вариантов			1,52	1,77	1,61	
НСР <sub>05</sub> уровней			1,68	1,95	1,78	

Эффективность применения некорневой подкормки кобальтовыми удобрениями определялась уровнем обеспеченности почвы кобальтом. Наибольшие прибавки урожайности зерна ярового ячменя от применения некорневой подкормки кобальтовыми удобрениями отмечались при низкой обеспеченности почвы кобальтом. При низком уровне содержания кобальта в почве, некорневая подкормка микроудобрением МикроСтим–Кобальт, Бор способствовала повышению урожайности зерна ячменя с 48,3 до 52,5 ц/га (прибавка – 4,2 ц/га), микроудобрением МикроСтим–Кобальт – с 48,3 до 53,9 ц/га. Наиболее эффективно внесение в некорневую подкормку ячменя микроудобрения МикроСтим–Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. (прибавка – 5,6 ц/га).

При повышении содержания в почве кобальта до среднего уровня, применение в некорневую подкормку кобальтовых удобрений способствовало повышению урожайности с 51,5 до 54,9 ц/га. Внесение МикроСтим–Кобальт обеспечило прибавку урожайности 2,1–3,5 ц/га в зависимости от дозы внесения, а МикроСтим–Кобальт, Бор – 2,1–2,9 ц/га.

При высоком и избыточном уровне содержания кобальта в почве некорневые подкормки ярового ячменя кобальтовыми удобрениями неэффективны.

Отмечается повышение содержания кобальта в зерне ячменя по мере увеличения обеспеченности почвы элементом (от низкого до высокого). Некорневые подкормки ярового ячменя микроудобрением МикроСтим–Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. увеличивали накопление кобальта в зерне до 0,21 на низком уровне и до 0,51 мг/кг сухой массы на высоком уровне обеспеченности подвижным кобальтом супесчаной почвы (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние некорневых подкормок ярового ячменя кобальтовыми удобрениями на содержание кобальта в зерне при различной обеспеченности почвы кобальтом, мг/кг сухой массы**

Вариант		Уровни содержания кобальта в почве, мг/кг			
		низкий	средний	высокий	избыточный
2. N <sub>70</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>		0,03	0,10	0,18	0,20
3. Co <sub>0,025</sub>	МикроСтим–Кобальт	0,21	0,31	0,48	0,51
4. Co <sub>0,05</sub>		0,22	0,31	0,49	0,51
5. Co <sub>0,075</sub>		0,24	0,33	0,49	0,53
6. Co <sub>0,025</sub> B <sub>0,025</sub>	МикроСтим–Кобальт, Бор	0,26	0,34	0,51	0,48
7. Co <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub>		0,27	0,34	0,48	0,52
8. Co <sub>0,075</sub> B <sub>0,075</sub>		0,28	0,35	0,53	0,49

Экономическая эффективность некорневой подкормки ячменя кобальтовыми удобрениями МикроСтим–Кобальт и МикроСтим–Кобальт, Бор рассчитана на основании полученных в опыте прибавок зерна и нормативных данных затрат и цен [10]. При низком содержании в почве подвижного кобальта экономически эффективно использование обоих видов микроудобрений. Рентабельность от разных доз и видов удобрений в некорневую подкормку колебалась от 24 до 67% (табл. 4). Уровень рентабельности выше в вариантах с применением удобрения МикроСтим–Кобальт по сравнению с удобрением МикроСтим–Кобальт, Бор. Наибольший экономический эффект был получен в варианте с применением удобрения МикроСтим–Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в.

Таблица 4

**Экономическая эффективность некорневых подкормок ячменя кобальтовыми удобрениями на почве с низким уровнем содержания кобальта**

Показатели	Co <sub>0,025</sub>	Co <sub>0,025</sub> B <sub>0,025</sub>	Co <sub>0,05</sub> B <sub>0,05</sub>
	МикроСтим–Кобальт	МикроСтим–Кобальт, Бор	МикроСтим–Кобальт, Бор
Прибавка, ц/га	5,6	4,2	4,8
Стоимость прибавки, тыс. руб./га	599,2	470,8	562,8
Всего затрат, тыс. руб./га	358,5	310,3	453,7
Чистый доход, тыс. руб./га	240,7	160,5	109,1
Рентабельность, %	67	52	24

Таблица 5

**Параметры оптимизации питания ярового ячменя кобальтом при разной обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим микроэлементом**

Обеспеченность почвы кобальтом	Дозы удобрений, кг/га д.в.	Сроки некорневой подкормки кобальтом	Урожайность, ц/га	Прибавка, ц/га	Содержание кобальта в зерне, мг/кг сухой массы
Низкая (0,76 мг/кг)	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	–	48,3	–	0,03
	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> +Co <sub>0,025</sub>	стадия первого узла	53,9	4,7	0,21
Средняя (1,77 мг/кг)	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	–	51,4	–	0,10
	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> +Co <sub>0,025</sub>	стадия первого узла	54,3	2,9	0,31
Высокая (2,17 мг/кг)	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	–	47,7	–	0,18
	N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> +Co <sub>0,025</sub>	стадия первого узла	47,1	–	0,48

На основании полученного экспериментального материала установлены параметры питания ячменя кобальтом в зависимости от обеспеченности супесчаной почвы этим элементом, содержания кобальта в растениях, доз кобальтовых удобрений и величины урожая (табл. 5). За оптимум принимался показатель

соответствующий оптимальному варианту опыта. При низком содержании подвижного кобальта в почве для повышения урожайности ячменя и увеличения содержания этого элемента в зерне целесообразно проведение некорневой подкормки в стадию первого узла ячменя микроудобрениями, содержащими кобальт в хелатной форме в дозе 0,025 кг/га д.в. При содержании подвижного кобальта в почве 2,0 мг/кг и более некорневая подкормка кобальтовыми удобрениями нецелесообразна.

## ВЫВОДЫ

1. При насыщении дерново-подзолистой супесчаной почвы возрастающими дозами кобальта аккумуляция элемента происходит в гумусовом горизонте с последующей миграцией по почвенному профилю. По мере повышения обеспеченности почвы кобальтом, его подвижность возрастает с выраженным максимумом в пахотном горизонте.

2. Эффективность некорневых подкормок ячменя микроудобрением МикроСтим отмечается только при низкой и средней обеспеченности супесчаной почвы подвижным кобальтом. При низкой обеспеченности почвы кобальтом некорневая подкормка ячменя в стадию первого узла микроудобрением МикроСтим–Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. повышала урожайность зерна на 5,6 ц/га.

3. Отмечается повышение содержания кобальта в зерне ячменя по мере увеличения обеспеченности почвы элементом (от низкого до высокого). Некорневые подкормки ячменя микроудобрением МикроСтим–Кобальт в дозе 0,025 кг/га д.в. увеличивали накопление кобальта в зерне с 0,03–0,20 до 0,21–0,51 мг/кг сухой массы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ягодин, Б.А. Физиологическая роль кобальта и факторы влияющие на его поступление в растения / Б.А. Ягодин, Г.А. Ступакова // *Агрохимия*. – 1989. – № 12. – С. 111–120.
2. Кабата–Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата–Пендиас, Х. Пендиас; пер. с англ. Д.В. Гричука, Е.П. Янина. – М.: Мир, 1989. – 438 с.
3. Деньгуб, И.М. Подвижность кобальта и цинка в почвах Нижегородской области / И.М. Деньгуб, В.И. Деньгуб // Пути повышения урожайности сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр. / Нижегород. гос.с.-х. акад.; под ред. Л.С. Никитенко. – Н. Новгород, 2001. – С. 184–188.
4. Почвы Белорусской ССР / Белор. НИИ почвоведения и агрохимии; под ред. Т.Н. Кулаковской, Н.И. Смяяна. – Минск: Ураджай, 1974. – 328 с.
5. Рак, М.В. Микроэлементы в почвах Беларуси и применение микроудобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур / Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: Материалы VIII международной Биогеохимической Школы, посвященной 150-летию со дня рождения академика В.И. Вернадского – М.: ГЕОХИ РАН, 2013. – С. 339–342.

6. Микроэлементный состав растениеводческой продукции и его качественная оценка / И.Р. Вильдфлуш [и др.] // Земляробства і ахова раслін. – 2004. – № 4. – С. 23–24.

7. Кормовые нормы и состав кормов: справ. пособие / А.П. Шпаков [и др.]. – Минск: Ураджай, 1991. – 384 с.

8. Эффективность применения новых хелатных микроудобрений МикроСтим при возделывании люпина узколистного и озимой пшеницы / М.В. Рак [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 2(53). – С. 151–160.

9. Гайсин, И.А. Применение хелатных форм микроудобрений (ЖУСС) / И.А. Гайсин // Вестн. Рос. акад. с.-х. наук. – 2003. – № 3. – С. 53–56.

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

## **EFFICIENCY OF COBALT FERTILIZERS IN SUMMER BARLEY CULTIVATION ON A SANDY SOIL WITH DIFFERENT COBALT SUPPLY LEVELS**

**M.V. Rak, E.N. Pukalova, V.A. Savitskaya, L.N. Guk**

### **Summary**

The optimum parameters of nutrition barley with cobalt depending on the supply levels of a sod-podzolic sandy soil with this element which enhance the productivity and the cobalt content in the grain are given.

*Поступила 27.11.2015*

УДК 631.445:631.82

## **ЭКСПРЕСС–СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЗОТМИНЕРАЛИЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ**

**Н.Н. Семеновко,**  
*Институт мелиорации,  
г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Азот является ведущим элементом в почвообразовании и земледелии. Совместно с углеродом он составляет основу органического вещества, а его содержание в почве – важнейший показатель ее плодородия. Азотный фонд пахотного слоя торфяных почв представлен преимущественно органическими соединениями,

азот которых становится доступным растениям в результате биологической минерализации органического вещества – процессов аммонификации и нитрификации [1–4]. Объемы и интенсивность этих процессов, а, следовательно, и размеры накопления минеральных соединений азота в почве находятся в тесной связи с состоянием ряда условий внешней среды: наличие в почве и состава органического вещества, температуры, влажности и др.

В почве протекают одновременно два противоположных процесса – образование (синтез) и минерализация (распад) органических соединений с выделением углекислоты и соединений азота. В торфяных почвах после удаления избыточной влаги и в результате сельскохозяйственного использования процесс минерализации органического вещества преобладает над его образованием и проходит постоянно. В результате чего со временем на месте торфяных образуются комплексы, включающие агроторфяные, торфяно-минеральные, минеральные остаточно-торфяные и минеральные постторфяные почвы, плодородие и величина аммонифицирующей, нитрифицирующей и в целом азотминерализующей способности (АМС) которых различаются.

Проблема оценки интенсивности процесса минерализации органических соединений торфа и потенциальной азотминерализующей способности торфяных почв разных стадий эволюции имеет важное научное и практическое значение с двух точек зрения. С одной стороны – разработка приемов замедляющих интенсивность этого процесса, который способствует сохранению плодородия почв на более длительный период, а с другой – высвобождаемый в результате минерализации органических соединений азот аммония и нитратов является источником азотного питания растений и загрязнения грунтовых вод. В связи, с чем показатель потенциальной азотминерализующей способности торфяных почв разных стадий эволюции можно использовать при их диагностике, оценке почвообразовательного процесса, плодородия и экологического состояния, а также для разработки более эффективной системы удобрений сельскохозяйственных культур.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для оценки биологической азотминерализующей способности органических соединений почв и прогноза обеспеченности растений азотом судят по их нитрифицирующей [5–9] или суммарной аммонифицирующей и нитрифицирующей – азотминерализующей способности (АМС) почв [10, 11]. При определении нитрифицирующей и аммонифицирующей способности почва компостируется при влажности 60–70% от полной влагоемкости и температуре +26–28 °С с последующим определением содержания в ней нитратного, аммонийного или суммы нитратного и аммонийного азота. Способ оценки азотминерализующей способности почв по В.Н. Башкину и В.Н. Кудеярову [10], позволяет более объективно судить о качественных и количественных изменениях минеральных и органических соединений азота почвы. Однако следует обратить внимание на следующее: все приведенные выше биологические способы предложены для определения нитрифицирующей или азотминерализующей способности минеральных почв. Применение этих способов для определения азотминерализующей способности торфяных, более богатых органическим веществом почв, не представляется



возможным. Кроме того эти способы отличаются длительностью проведения анализа, что ведет к увеличению затрат энергии, времени и финансов. Как показывают результаты наших исследований для этих почв период компостирования 14 суток недостаточен (табл. 1), [12] и др. Для более полного высвобождения азота из органических соединений требуется не менее 45 суток. Это длительный и затратный процесс.

Таблица 1

**Динамика трансформации азота органических соединений торфяных почв  
разных стадий эволюции, мг/кг почвы**

Почвы	ОВ, %	Нитрифицирующая способность (N-NO <sub>3</sub> )				Аммонифицирующая способность (N-NH <sub>4</sub> )				Азотминерализующая способность (сумма N-NO <sub>3</sub> + N-NH <sub>4</sub> )			
		Экспозиция, сутки											
		1*)	15	30	45	1*)	15	30	45	1*)	15	30	45
1. Торфяные неосушенные	83,7	131	168	292	337	38	209	223	87	169	377	515	424
2. Агроторфяные	82,5	170	241	259	300	56	18	15	22	226	259	274	322
3. Агроторфяные	67,2	104	257	280	317	36	13	12	21	140	270	292	338
4. Агроторфяно-минеральные	39,8	82	256	290	295	15	11	15	17	97	267	305	312
5. Минеральные остаточно-торфяные	19,8	50	151	188	252	14	10	13	18	64	161	201	270
6. Минеральные остаточно-торфяные	15,1	38	45	100	155	14	13	13	17	52	58	113	172
7. Минеральные остаточно-торфяные	10,8	37	55	93	121	7	10	12	20	44	65	105	141
8. Минеральные постторфяные	4,8	16	27	56	101	16	12	15	17	32	39	71	118

1\*) – содержание на начало опыта.

С целью повышения производительности труда и точности измерений, снижения энергетических и финансовых затрат предлагается химический способ определения азотминерализующей способности торфяных почв, включающий взятие навески пробы почвы, приготовление раствора гидроксида калия в качестве экстрагента, получение гидролизата из суспензии при соотношении почва : экстрагирующий раствор 1:20 и настаивание в течение  $18 \pm 0,5$  часов при температуре  $+27^\circ\text{C}$  в присутствии восстановителя нитратов сплава Деварда или цинковой пыли в количестве около 0,5 г, добавление по 10 см<sup>3</sup> 15%-ного раствора сернокислого алюминия в 0,5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, отфильтровывание суспензии, измерение концентрации аммонийного азота в фильтрате с использованием фотометрического метода при длине волны фильтра 670 нм и обработку результатов с помощью персонального компьютера.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований был разработан химический экспресс-способ определения азотминерализующей способности торфяных почв разных стадий эволюции.

### 1. Отбор проб почвы для анализа

Пробу на анализ из коробки отбирают ложкой или шпателем, предварительно тщательно перемешав почву на всю глубину коробки. Из пакетов почву высыпают на ровную поверхность, перемешивают, распределяют слоем толщиной не более 1 см и отбирают пробу не менее, чем из пяти мест. Масса пробы 5 г.

### 2. Аппаратура, материалы и реактивы

Фотоэлектроколориметр.

Весы технические квадратные ВЛТК–500.

Термостат.

Кассеты десятипозиционные с банками бытовыми (ГОСТ 5717–82) или другие емкости из материала, устойчивого к действию применяемых реактивов.

Дозаторы на 50, 10, 5 и 2 см<sup>3</sup> с погрешностью дозирования не более 1%.

Колбы конические вместимостью 100 см<sup>3</sup> (ГОСТ 25336–82).

Фильтры из бумаги (ГОСТ 12026–76) или другие, проверенные на присутствие аммония.

Фильтровальные установки десятипозиционные.

Бытовые банки вместимостью 200 см<sup>3</sup> (ГОСТ 5717–82) или другие технические емкости.

Мерные колбы на 250, 1000, 2000 см<sup>3</sup>, бюретки на 50 см<sup>3</sup> (ГОСТ 1770–74).

Аммоний серноокислый (ГОСТ 3769–78), х. ч.

Калия гидроксид (ГОСТ 4328–77), ч. д. а.

Натрия гидроксид (ГОСТ 24363–80), х. ч.

Натрий салициловоокислый (ГОСТ 17628–72).

Натрий нитропруссид (ГОСТ 4218–48), ч. д. а.

Калий–натрий виннокислый (ГОСТ 5845–79), ч. д. а.

Известь хлорная техническая (ГОСТ 1692–85).

Натрий углекислый безводный (ГОСТ 4201–79), х. ч.

Кислота серная (ГОСТ 4204–77), х. ч.

Кислота соляная (ГОСТ 3118–77, уд. масса 1,19), х. ч.

Алюминий серноокислый (ГОСТ 3758–75), ч.

Калий йодистый (ГОСТ 4232–74), х. ч.

Натрий серноватистоокислый, 5–водный (фиксанал), (ГОСТ 27068–86), ч. д. а.

Сплав Девадатонкорастертый (ТУ 6–09–3671–85), ч. д. а.

Цинковая пыль (ГОСТ 12601–76), ч. д. а.

Вода дистиллированная (ГОСТ 6709–72), проверенная на присутствие аммония.

### 3. Подготовка к анализу

3.1. *Приготовление экстрагирующего раствора* – 0,2 М раствор гидрата оксида калия: 11,2 г КОН растворяют в 1000 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Молярность раствора проверяют по 0,1 М HCl (фиксанал). Допуска-

ется использовать раствор с концентрацией гидрата окиси калия от 0,19 до 0,21 моль/дм<sup>3</sup>.

3.2. *Приготовление запасных и рабочих растворов окрашивающего реактива и гипохлорита натрия проводят аналогично как и при определении содержания в почвах аммонийного азота* [13], (п.п. 4.2.1–4.2.5).

3.3. *Приготовление 15%-ного раствора сернокислого алюминия в 0,5 М серной кислоте*: 28 см<sup>3</sup> серной кислоты (плотность 1,84) растворяют в дистиллированной воде, добавляют 150 г сернокислого алюминия и общий объем раствора доводят до 1000 см<sup>3</sup>. Растворение происходит при подогревании. Раствор хранят до 1 месяца.

3.4. *Приготовление исходного образцового раствора*: 0,471 г сернокислого аммония перекристаллизованного и высушенного при температуре 100–105 °С до постоянной массы, взвешивают с погрешностью 0,01 г и растворяют в 1000 см<sup>3</sup> 0,2 М гидрата оксида калия. Полученный раствор используют для приготовления растворов сравнения. В 1 см<sup>3</sup> раствора содержится 0,1 мг аммонийного азота.

3.4.1. *Приготовление рабочей шкалы образцовых растворов*: в мерные колбы вместимостью 250 см<sup>3</sup> помещают из бюретки, указанные в таблице 2 объемы раствора, приготовленного по п. 3.4. Объемы растворов доводят до метки 0,2 М раствором гидрата окиси калия и тщательно перемешивают.

Таблица 2

**Приготовление рабочей шкалы образцовых растворов  
для определения азота аммония**

Показатель	Номер раствора сравнения						
	1	2	3	4	5	6	7
Объем исходного образцового раствора, приготовленного по п. 3.6, см <sup>3</sup>	0 <sup>*)</sup>	5	10	20	40	60	80
Концентрация азота аммония: в растворе сравнения, мг/дм <sup>3</sup> ; в пересчете на почву, мг/кг	0	2	4	8	16	24	32
	0	44	88	176	352	528	704

<sup>\*)</sup> – холостое определение, приливают 0,2 М КОН.

Растворы сравнения используют для градуировки фотоэлектроколориметра в день проведения анализа. Окрашивание растворов сравнения проводят аналогично окрашиванию анализируемых вытяжек и одновременно с ними.

#### 4. Получение вытяжки из почвы

Пробы воздушно-сухой почвы массой 5 г, взвешенные с погрешностью не более 0,1 г, переносят в конические колбы вместимостью 200 см<sup>3</sup>, установленные в десятипозиционные кассеты. К пробам дозатором или мерным цилиндром приливают по 100 см<sup>3</sup> экстрагирующего раствора 0,2 М гидрата окиси калия, добавляют около 0,5 г тонко растертого сплава Декарда или цинковой пыли. Почву с экстрагирующим раствором взбалтывают 3 мин и оставляют настаиваться на 18 ± 0,5 ч в термостате при температуре 27 ± 1 °С.

По истечении указанного срока для получения прозрачных фильтратов вытяжек в колбы добавляют по 10 см<sup>3</sup> 15%-ного раствора сернокислого алюми-

ния в 0,5 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Содержимое колб перемешивают и оставляют стоять на 15–20 мин. Затем суспензию фильтруют через бумажные фильтры, проверенные на присутствие аммония. Одновременно проводят двукратное холостое определение с добавлением всех реактивов.

### 5. Проведение анализа

Из полученной вытяжки (по разделу 4) и растворов сравнения отбирают дозатором по 5 см<sup>3</sup> и переносят в бытовые банки или другие емкости, установленные в 10–позиционные кассеты. Добавляют к ним по 43 см<sup>3</sup> рабочего окрашивающего реактива и по 2 см<sup>3</sup> 0,2%-ного раствора гипохлорита натрия. После каждого добавления реагентов растворы перемешивают. Окрашенные растворы фотокolorиметрируют не ранее чем через 1 час в кювете с толщиной просвечиваемого слоя 10 мм при длине волны 670 нм (красный светофильтр). Устойчивое окрашивание растворов сохраняется в течение 2,5 ч после прибавления раствора гипохлорита натрия. Температура в помещении, где проводят аналитические работы, должна быть не ниже 18°С. Растворы сравнения фотометрируют в тех же кюветах, что и растворы анализируемых вытяжек.

Допускается пропорциональное изменение объемов проб анализируемых вытяжек, растворов сравнения и растворов реагентов при погрешности дозирования не более 1%.

### 6. Обработка результатов

По результатам фотометрирования растворов сравнения массовую долю азота аммония в анализируемой почве определяют с помощью персонального компьютера путем расчета зависимости показаний прибора (оптическая плотность растворов) от концентрации определяемых стандартных растворов азота, описываемой соответствующим уравнением регрессии:

$$y = ax \pm b,$$

где  $y$  – содержание аммонийного азота, мг на 1 кг почвы;  $x$  – величина отсчета на приборе оптической плотности испытуемых растворов; « $a$ » и « $b$ » – параметры линейного уравнения, устанавливаемые компьютером.

Для этого в программе EXCEL строится точечная диаграмма. В электронную таблицу заносятся данные по оси « $x$ » – показания прибора оптической плотности исследуемых стандартных растворов, из которых предварительно вычитают результат холостого опыта, а по оси « $y$ » – соответствующее им содержание (концентрация) азота в почве, мг/кг (табл. 2). Затем к полученной кривой добавляют линию тренда, определяют уравнение регрессии и величину достоверности аппроксимации ( $R^2$ ). Для определения содержания азота в почве в полученное уравнение вместо « $x$ » подставляют значения показаний прибора оптической плотности испытуемых растворов, из которых также предварительно вычитают результат холостого опыта. Применимость уравнения для определения содержания аммонийного азота в исследуемых почвах в пределах от 1 до 600 мг/кг почвы при  $R^2 \geq 0,8$ . Допускаемое отклонение от среднего арифметического при повторных анализах проб составляет не более 10%. Примеры расчета результатов определения азотминерализующей способности торфяных почв приведены в таблице 3.

**Примеры расчета азотминерализующей способности торфяных почв  
разных стадий эволюции**

№ п/п	Почва	Содержание органического вещества, %	Оптическая плотность раствора (отсчет на приборе)	Содержание азота в почве, мг/кг
1	Торфяная неосушенная	83,7	1,803	416
2	Торфяная осушенная, 50 лет в культуре, пашня (бывший среднеторфяный торфяник)	82,5	1,482	359
3	Торфяно-минеральная, 50 лет в культуре, пашня (бывший маломощный торфяник)	39,8	1,128	295
4	Минеральная остаточно-торфяная, пашня, в культуре 48 лет (бывший маломощный торфяник)	19,7	0,909	226
5	Минеральная остаточно-торфяная, пашня, в культуре 45 лет (бывшая торфяно-глеевая)	10,8	0,438	115
6	Минеральная постторфяная, пашня, в культуре 45 лет (бывшая торфянисто-глееватая)	4,8	0,357	96

Приведенные в таблице 4 результаты исследований показывают, что торфяные почвы разных стадий эволюции (содержание ОВ колеблется в пределах 83,7–4,8%) существенно различаются по уровню потенциальной азотминерализующей способности (АМС). С уменьшением содержания в почвах органического вещества закономерно ( $R^2 = 0,91$ ) снижается и их азотминерализующая способность. Если АМС торфяно-болотных почв составляет более 400, агроторфяных – более 300, то в минеральных постторфяных с содержанием ОВ 4,8% этот показатель достигает лишь уровня 96–118 мг/кг почвы.

Из приведенных в таблице 4 данных видно, что для определения потенциала АМС торфяных почв по биологическому способу экспозиция компостирования почвы в течение 15 суток недостаточно. По всем почвам более высокий уровень потенциала азотминерализующей способности торфяных почв достигается при их компостировании в течение 45 суток.

Особо следует отметить, что при заданных условиях проведения анализа результаты определения АМС почв биологическим и химическим способами практически совпадают. Средняя суммарная погрешность отклонения от средних значений определений по этим способам составляет менее 5%, а по отдельным почвам – не более 10%. Установлена тесная связь ( $R^2 = 0,98$ ) между результатами определения азотминерализующей способности торфяных почв, выполненных по биологическому (экспозиция инкубации 45 суток) и предлагаемым химическим способом (в течение 1 суток). Приведенные результаты сравнения убедительно доказывают на возможность использования предлагаемого химического способа определения азотминерализующей способности торфяных почв.

Таблица 4

**Сравнительная характеристика азотминерализующей способности торфяных почв разных стадий эволюции, определяемой разными способами, мг/кг почвы**

Почвы	ОВ, %	Способы определения		
		биологический		химический
		Экспозиция проведения анализа, сутки <sup>х)</sup>		
		15 <sup>*)</sup>	45 <sup>**)</sup>	1 <sup>***)</sup>
1. Торфяные неосушенные	83,7	377	424	416
2. Агроторфяные	82,5	259	342	359
3. Агроторфяные	67,2	270	338	365
4. Агроторфяно-минеральные	39,8	267	312	295
5. Минеральные остаточно-торфяные	19,8	161	270	226
6. Минеральные остаточно-торфяные	15,1	58	172	186
7. Минеральные остаточно-торфяные	10,8	65	141	115
8. Минеральные постторфяные	4,8	39	118	96
Среднее	х	187	265	257

<sup>х)</sup> – срок экспозиции, сутки: 15<sup>\*)</sup> – прототип, 45<sup>\*\*)</sup> – необходимый, 1<sup>\*\*\*)</sup> – предлагаемый способ.

Для практического использования результатов определения потенциальной азотминерализующей способности агроторфяных почв разных стадий эволюции предлагаются ориентировочные признаки их биологической активности (табл. 5)

Таблица 5

**Ориентировочные диагностические признаки биологической активности агроторфяных почв разных стадий эволюции (слой 0–20 см)**

Почвы	Степень биологической активности почв	Азотминерализующая способность,	
		N мин, мг/кг почвы	%
Агроторфяные (ОВ более 50%)	Высокая	301–400	100
Агроторфяно-минеральные (ОВ 50–20%)	Повышенная	241–300	61–80
Минеральные остаточно-торфяные (ОВ 19–5%)	Средняя	151–240	41–60
Минеральные постторфяные (ОВ менее 5%)	Низкая	120–150	20–40

## ВЫВОДЫ

В сравнении с базовым биологическим по предлагаемому химическому экспресс-способу определения азотминерализующей способности торфяных почв время проведения анализа сокращается с 45 до одних суток, а также многократно снижаются энергетические и экономические затраты. При этом результаты определения АМС почв биологическим и химическим способами практически совпа-

дают. Средняя по выборке суммарная погрешность отклонения от средних значений определений по этим способам составляет менее 5%, только по некоторым почвам – не более 10%.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мееровский, А.С.* Азотный режим окультуренных торфяно-болотных почвах / А.С. Мееровский // Проблема азота и урожая на Полесье. – Киев: Урожай, 1967. – С. 106–112.
2. *Царенко, В.П.* Азот в торфяных почвах и его трансформация: автореф. дис. ...доктора с.-х. наук / В.П. Царенко. – СПб., 1992. – 38 с.
3. *Семененко, Н.Н.* Агрогенная эволюция фракционного состава азота торфяных почв / Н.Н. Семененко, Е.В. Каранкевич // Земляробства I аховараслін. – № 6. – 2011. – С. 36–40.
4. *Семененко, Н.Н.* Модели прогноза трансформации фракционного состава азота торфяных почв Полесья под влиянием антропогенных факторов / Н.Н. Семененко, Е.В. Каранкевич // Мелиорация. – 2011. – №1(65). – С. 122–130.
5. *Кравков, С.Н.* Курс общего земледелия. Т. 1. Агрономическое почвоведение / С.Н. Кравков. – Ленинград: Изд-во сельхоз. литературы, 1931. – 332 с.
6. *Александрова, Л.Н.* Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учебное пособие / Л.Н. Александрова, О.А.Найденова. – Л.: Изд-во Колос, 1967. – 351 с.
7. *Андреева, Д.М.* Нитрифицирующая способность почв и эффективность азотных удобрений / Д.М. Андреева // Доклады научного совета по проблемам почвоведения и агрохимии. – Минск: Ураджай, 1974. – С. 18–23.
8. *Королева, И.Е.* Химические и инкубационные методы прогнозирования эффективности азотных удобрений / И.Е. Королева // Круговорот и баланс азота в системе почва–удобрение–растение–вода. – М.: Наука, 1979. – С. 182–185.
9. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учеб. пособие / М.В. Новицкий [и др.] – СПб.: Проспект Науки, 2009. – 320 с.
10. Способ определения азотминерализующей способности почв: пат. СССР, G 01 N33/24 / В.Н. Башкин, В.Н. Кудеяров; заявитель Ин-т почвоведения и фотосинтеза АН СССР. – 3613730/30–15; заявл. 04.07.83; опубл. 23.01.86 // Официальный бюл. / Всесоюзный научно-исследовательский институт патентной информации. – 1986. – № 3. – С. 173.
11. *Семененко, Н.Н.* Азот в земледелии Беларуси. / Н.Н. Семененко, В.Н. Невмержицкий. Минск: Бел. Изд. Тов-во «Хата». – 1997. –195 с.
12. *Семененко, Н.Н.* Азотминерализующая способность торфяных почв и её эволюция под влиянием длительного антропогенного воздействия / Н.Н. Семененко, Е.В. Каранкевич // Мелиорация. – 2012. – № 1(67). – С. 135–143.
13. *Семененко, Н.Н.* Методы определения содержания доступных растениям соединений азота, фосфора и калия в деградированных торфяных почвах / Н.Н. Семененко, В.А. Журавлев. – Минск, 2005. – 24 с.



**EXPRESS–METHOD OF DETERMINING NITROGEN MINERALIZATION ABILITY OF PEAT SOILS****N.N. Semenenko****Summary**

Method for determining nitrogen mineralization ability of peat soils is based on carrying out hydrolysis for  $18 \pm 0,5$  hours at temperature of  $+27$  °C in the presence of a restoring agent nitrates alloy Devarda or zinc dust mineral and organic compounds of nitrogen with as extractant solution of 0,2 M KOH at a ratio of soil: solution 1:20, measuring the concentration of ammonium nitrogen in the filtrate using photometer and processing results of the analysis by a personal computer.

*Поступила 04.09.2015*

УДК 631.847.21:633.1

**АЗОСПИРИЛЛЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗЛАКОВЫЕ КУЛЬТУРЫ  
(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)****Н.А. Михайловская***Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

Свойства *Azospirillum* spp и их перспективность в качестве действующего агента бактериальных удобрений. Азоспириллы – граммотрицательные азотфиксирующие ризобактерии, выделенные впервые Бейеринком [1], привлекли большое внимание исследователей благодаря оригинальным работам Dobereiner, Day [2], Yoshida, Ancajas [3], Balandreau, Willemain [4], Dommerques, Balandreau et al. [5], Dobereiner et al. [6], Dobereiner, Day, Dart [7]. Эти работы продемонстрировали широкое распространение *Azospirillum* spp и высокий уровень нитрогеназной активности в ассоциациях со злаковыми культурами и положили начало активному развитию исследований по ассоциативной азотфиксации.

Все ассоциативные diaзотрофы способны расти на агаровых средах, не содержащих азота, они имеют механизмы защиты от кислорода – выделение слизи, которая препятствует диффузии кислорода в среде, либо сжигание кислорода респираторным путем [8, 9]. Максимальный уровень ассоциативной азотфиксации фиксируется обычно при низком парциальном давлении кислорода. Учитывая этот факт, Dobereiner, Day [2] разработали полужидкую среду для изоляции азотфиксирующих бактерий с корней растений и из ризосферной почвы. Эта надежная техника привела к открытию двух разновидностей азоспирилл – *Azospirillum brasilense* и *Azospirillum lipoferum* [2, 10]. Впоследствии были открыты еще несколько разновидностей – *A. amazonense*, *A. halopraeferanse*, *A. irakens* и др.

Некоторое время азоспириллы считались специфичными представителями почв тропического и субтропического регионов [2, 11, 12–14], однако уже в 1978

году они были обнаружены в почвах зоны умеренного климата [15]. В дальнейшем было установлено широкое распространение азоспирилл в зоне умеренного климата [16, 17, 18, 19, 20, 21] и даже в зоне субарктического климата [22, 23].

Азоспириллы не являются главными составляющими почв умеренной зоны, где в основном доминируют *Pseudomonas*, *Enterobacter* и *Bacillus* [23, 24, 25]. В тропических почвах численность азоспирилл достигает  $10^4$ – $10^7$  клеток на грамм сухого веса корней. M. Krol [26, 27], H. Jaskowska [28, 29] и D. Kulinska [30] показали широкую распространенность азоспирилл в ризосфере зерновых культур на 15 почвенных разновидностях Польши, имеющей значительное сходство климатических и почвенных условий с Беларусью. Численность азоспирилл в почвах умеренной зоны ниже, чем в условиях тропиков и субтропиков. По данным польских исследователей, в ризосфере ячменя и кукурузы спонтанная численность *Azospirillum* sp. варьирует от нескольких клеток до двух тысяч ( $2 \cdot 10^3$ ) клеток на 1 грамм ризосферной почвы. Что касается распространения вида *A. brasilense*, то, например, из ризоплана кукурузы было выделено 68 штаммов, из ризосферы ячменя – 21.

Азоспириллы обнаружены в ассоциациях с самыми разными растениями умеренной зоны [18–23, 31, 32], при этом они нередко преобладали над другими азотфиксаторами. Ассоциативные диазотрофы взаимодействуют в основном с растениями, имеющими  $C_3$  и  $C_4$  проводящие пути фотосинтеза, к которым относятся ячмень, пшеница, кукуруза, травы, рис, хлопок [32, 33, 34, 35]. Показано, что ризосферу кукурузы заселяли в основном *A. brasilense* (62%), а *A. lipoferum* составляли 15% [26, 27]. Установлена широкая распространенность азоспирилл на злаковых травах умеренной зоны [20, 36, 37, 38, 39, 40].

Перспективность азоспирилл в качестве активного агента бактериальных удобрений обусловлена их свойствами. *Azospirillum* spp отличаются разносторонним приспособительным метаболизмом углерода и азота, что в значительной мере способствует их адаптации, приживаемости и жизнедеятельности в конкурентных условиях ризосферы.

В неблагоприятных условиях, например, при дефиците питания, *Azospirillum* могут трансформироваться в цистоподобные образования, что существенно повышает их выживаемость в ризосфере [41]. Эти морфологические изменения сопровождаются развитием внешней оболочки, состоящей из полисахаридов, а также аккумуляцией поли- $\beta$ -гидроксibuтирата, который служит источником углерода и энергии в условиях стресса [42, 43]. Аккумуляция поли- $\beta$ -гидроксibuтирата имеет фундаментальное значение для выживаемости *Azospirillum*.

Существенным преимуществом *Azospirillum* spp является их высокая подвижность. При этом *A. brasilense* отличаются повышенной подвижностью за счет одной полярной флагеллы, используемой для движения в жидких средах и дополнительных латеральных флагелл для движения в более плотных средах [44, 45]. Повышенная подвижность служит важным дополнительным защитным фактором, обеспечивающим преимущества азоспирилл и возможности передвижения в зоны с благоприятными условиями питания, т.е. к корням. В ризосфере существует градиент концентрации элементов питания от корней к окружающей почве. Установлен положительный хемотаксис азоспирилл к органическим кислотам, сахарам, аминокислотам [46, 47, 48], а также к корневым экссудатам [49]. Экспериментально показана миграция *A. brasilense* к корням проростков пшеницы и установлена

ее зависимость от почвенной влаги (доказано, что она лимитируется почвенной влагой). В классических работах Bashan Y. et al. представлены доказательства того, что свободное движение *Azospirillum brasilense* через водную пленку играет главную роль в хемотаксисе в естественных условиях [50].

Важной особенностью азоспирилл является аэротаксис – способность к направленному движению в сторону оптимальной концентрации кислорода [51]. Перечисленные свойства *Azospirillum* обеспечивают им существенные преимущества и возможность достижения оптимальной ниши как для выживания в ризосфере, так и для азотфиксации [52]. *Azospirillum* spp являются аэробными гетеротрофами, которые осуществляют фиксацию азота в микроаэрофильных условиях [31].

В настоящее время все азотфиксирующие бактерии, колонизирующие злаковые культуры, подразделяются на три категории: ризосферные бактерии, факультативные эндофиты и облигатные эндофиты [53]. *Azospirillum* sp. (за исключением *A. halopraeferanse*) относятся к факультативным эндофитам, так как способны колонизировать поверхность и внутреннюю часть корней. Азоспириллы способны проникать внутрь корня и расти как эндофиты в межклеточных пространствах [54], хотя в основном рассматриваются как эпифиты [32]. Некоторые штаммы, имеющие специфические механизмы взаимодействия с корнями, заселяют внутреннюю часть корня [55, 56, 57, 58]. При использовании метода поверхностной стерилизации была экспериментально показана, способность некоторых штаммов *Azospirillum* к колонизации внутренней части корней [57, 59].

Колонизация корней – ключевой фактор успешного взаимодействия растений с азоспириллами. Клетки азоспирилл обнаруживают на всех частях инокулированной корневой системы, но большинство азоспирилл заселяют поверхность корней, колонизируют слой муцигеля или поврежденные кортикальные клетки корня [34, 56, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66]. Микроскопические исследования инокулированных *Azospirillum* корней пшеницы показывают массивную колонизацию зоны удлинения, зоны корневых волосков [60, 66, 67], верхушки корня [68] и оснований корневых волосков [60, 69], так как именно эти части корневой системы постоянно выделяют аттрактанты для азоспирилл и обеспечивают их питание и жизнедеятельность [67]. Азоспириллы слабо адсорбируются к корневым волоскам [60, 68, 70], по данным Bashan Y. [68], адсорбция к поверхности корня и корневым волоскам соотносится как 5:1.

Несмотря на слабую колонизацию корневых волосков, *Azospirillum* одновременно способствуют их развитию. Самый заметный эффект от инокуляции злаковых культур ризосферными бактериями – это стимуляция развития корневых волосков [60, 68, 71]. По сравнению с другими диазотрофами наибольший стимулирующий эффект вызывают *Azospirillum* spp при этом резко возрастает число, плотность и длина корневых волосков, а также число деформированных волосков [60, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74].

Инокуляция азоспириллами вызывает морфологические и физиологические изменения корней, в них снижается активность окислительных ферментов и содержание жиров, повышается скорость усвоения  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  [61, 76], улучшается использование воды [75, 76]. Водный режим может быть одним из главных факторов улучшения роста инокулированных растений. Инокулированные корни отличаются большей пропорцией молодых корней, чем неинокулированные.

Морфологические изменения корней, наблюдаемые при инокуляции азоспириллами, наиболее вероятно связаны с бактериальной продукцией регуляторов роста [60, 69, 70, 72]. Увеличение числа латеральных корней и корневых волосков обеспечивает большую поглощающую поверхность корней, улучшая способность инокулированных растений использовать элементы минерального питания и воду.

Достижения в области генетики микроорганизмов дают основания полагать, что начальные этапы взаимодействия микроорганизмов с корнями растений одинаковы для разных бактерий. Для успеха колонизации корней решающее значение имеет подвижность бактерий, изолирован структурный ген, ответственный за белок (флагеллин) латеральной флагеллы *Azospirillum brasilense* Sp.7 [77]. Структурный белок полярной флагеллы оказался гликопротеином, что позволяет предполагать, что он действует как фактор адгезии к поверхности корней [78].

Прикрепление *Azospirillum* к корням растений – существенный фактор эффективности ассоциации. Прикрепление представляет собой двухфазный процесс [79], в первой фазе бактерии адсорбируются к корням как отдельные клетки быстро, слабо и обратимо при участии полярной флагеллы [78], во второй фазе формируются бактериальные агрегаты [58], которые прочно и необратимо прикрепляются к корням. Считается, что прикрепление зависит от бактериальной продукции капсулярного внеклеточного полисахарида [70, 79]. Высказано предположение, что лектины корня также участвуют в процессе колонизации корней [70], связывание индуцирует изменения в клеточном метаболизме *Azospirillum brasilense* Sp. 245 и способствует азотфиксации, экскреции  $\text{NH}_4^+$  и биосинтезу ИУК [80]. Теория лектинового связывания, предложенная для описания взаимодействия растений и бактерий [68, 70], находит все большее число подтверждений. Установлена тесная взаимосвязь бактериальной адсорбции к корням и азотфиксации Bashan Y. [68].

*Azospirillum* spp отличает многообразие в отношении метаболизма азота. В принципе азоспириллы могут осуществлять все реакции цикла азота, за исключением нитрификации. Источниками азота для азоспирилл могут служить атмосферный азот, аммоний, нитраты и нитриты [3, 31, 81, 82, 83]. Особое значение имеют два процесса – азотфиксация и денитрификация. *Azospirillum* могут обеспечивать растения азотом, либо за счет азотфиксации, либо за счет денитрификации [83, 84, 85, 86].

В анаэробных условиях *Azospirillum* используют нитрат в качестве акцептора дыхательного электрона и восстанавливают нитрат до молекулярного азота через нитрит и  $\text{N}_2\text{O}$ . В зависимости от количества нитратов и кислорода в среде *Azospirillum* в ассоциации со злаками осуществляют либо азотфиксацию (редукцию  $\text{C}_2\text{H}_2$ ), либо денитрификацию (образование  $\text{N}_2\text{O}$ ). Активность обоих процессов определяется свойствами штамма [83, 84]. Активность азотфиксации оптимальна при 0,5–2% кислорода в газовой фазе, поэтому азоспириллы могут осуществлять азотфиксацию только при пониженном давлении кислорода в жидких культурах [7]. Наличие нитратов в среде подавляет азотфиксацию, но абсолютно необходимо для протекания денитрификации. За денитрификацию у *Azospirillum* ответственны диссимиляторные нитритредуктазы, которые превращают нитрит только до  $\text{N}_2\text{O}$ , а не до  $\text{N}_2$  [83, 84, 86].

Эффективность бактеризации злаковых культур азоспириллами. К настоящему времени накоплен обширный экспериментальный материал по влиянию *Azospirillum spp* на урожайность основных злаковых культур умеренной и тропической зон – пшеницы [31, 32, 34, 35, 55, 87], кукурузы [87, 88, 89], ячменя [90, 91] и злаковых трав [21, 37, 38, 39, 57, 58, 70, 87, 89, 92].

В условиях умеренного климата продуктивность азотфиксации, как и интенсивность фотосинтеза, ниже, чем в условиях тропиков, но *Azospirillum spp* также являются активным компонентом азотфиксирующей микрофлоры корней злаковых трав умеренной зоны [19, 20, 36, 37, 38, 39, 40], что стимулировало исследования с кормовыми травами, возделываемыми в зоне умеренного климата.

В исследованиях О.А. Берестецкого, Л.Ф. Васюк с соавторами [105] была показана перспективность бактеризации кормовых трав азоспириллами (Российский НИИ сельскохозяйственной микробиологии). В работе А.Е. Хальчицкого [106] по инокуляции тимофеевки луговой была установлена хорошая сохранность интродуцированных диазотрофов на корнях после перезимовки растений на третий год жизни травостоя.

В работах Волкогона В.В. (Украинский НИИ сельскохозяйственной микробиологии) изучена эффективность бактеризации райграса пастбищного и костреца безостого азоспириллами, в том числе на разных фонах азотных удобрений [38]. В соответствии с данными В.В. Волкогона внесение 40–80 кг/га минерального азота на дерново-подзолистой почве стимулировало азотфиксацию в корневой зоне трав и приводило к повышению урожайности [38, 96]. Высокий эффект от бактеризации отмечен в 1-й год жизни трав. На 2-й и 3-й годы жизни наблюдали снижение прибавок от бактеризации.

Агрономическая оценка 20-летнего применения азоспирилл, проведенная У. Окоп [87], свидетельствует об их способности повышать урожайность злаковых культур на разных почвах и в разных климатических регионах. В соответствии с его оценкой около 60–70% инокуляционных экспериментов дают статистически достоверные прибавки урожайности, которые варьируют в пределах 5–30% (11–24% на злаковых травах во Флориде; 10–20% на кукурузе в Джорджии и Нью-Джерси; от 15–19% до 20–30% на злаковых травах в Индии; 15–20% на злаковых травах и 20–30% на кукурузе в Израиле; 3–54% на пшенице, ячмене и кукурузе в Италии).

Однако примерно в 30–40 % инокуляционных экспериментов отмечается статистически недостоверный или нулевой эффект. Проблема нестабильности эффектов при интродукции азоспирилл обсуждается в обзорах J. Fages [93], I.R. Kennedy et al. [31, 32], С.А. Лукина с соавт. [25], Т.Н. Майоровой с соавт. [94].

Рассматривая научную информацию по проблеме нестабильности эффектов при использовании азоспирилл, следует отметить, что многие из проанализированных экспериментов были спланированы в основном для изучения азотфиксации и в связи с этим условия минерального питания не всегда были оптимизированы. В то время как оптимизация минерального азотного питания является одним из ключевых факторов успеха инокуляции. С другой стороны, нестабильность результатов во многом обусловлена недостаточной изученностью процессов взаимодействия микроорганизмов и растений и факторов повышения эффективности азотфиксирующих ассоциаций. Неудачи инокуляционных экспериментов объясняются также сортовой и штаммовой вариабельностью [32,

95]. Эффективность инокуляции зависит от выбора адекватных пар растение – штамм–инокулянт. Существенное значение имеют свойства используемого штамма–инокулянта, включая различия по способности к колонизации корней, стимуляции роста и азотфиксации [25, 31, 32, 93, 94]. Штаммовую вариабельность азоспирилл с точки зрения динамики популяций и влияния на растения можно считать существенным фактором при выборе популяций для инокуляции растений.

Таким образом, стабильность результатов инокуляционных экспериментов зависит от выбора адекватного штамма–инокулянта с комплексом полезных свойств, и оптимизации минерального азотного питания.

В Беларуси исследования по ассоциативной азотфиксации были начаты Л.А. Карягиной и В.Н. Нестеренко, которые показали распространенность азоспирилл в условиях Беларуси [37, 39, 40], провели сравнительную оценку эффективности диазотрофов различной родовой принадлежности на злаковых травах [97], отметили зависимость эффективности бактеризации от влагообеспеченности почвы и количества осадков [92], получили данные по влиянию зонального штамма *Azospirillum brasilense* ВКПМ В–4485 на урожайность ячменя и многолетних злаковых трав [39, 97].

Штамм *Azospirillum brasilense* ВКПМ В–4485. Штамм ассоциативных азотфиксирующих бактерий *Azospirillum brasilense* ВКПМ В–4485 [98], входящий в состав бактериального удобрения Азобактерин [107] характеризуется высоким азотфиксирующим потенциалом [39], значительной ростостимулирующей активностью [101] и способностью к мобилизации труднодоступных форм почвенного фосфора [108]. Благодаря наличию различных приспособительных механизмов у штамма *Azospirillum brasilense* ВКПМ В–4485 бактериальное удобрение Азобактерин оказывает разностороннее положительное влияние на инокулированные растения в разных экологических условиях.

Бактериальное удобрение Азобактерин индуцирует значительный гормональный эффект, проявляющийся в увеличении объема и сухой массы корней инокулированных растений – объем корней увеличивался на 30%, сырая масса – на 54%, высота растений повышалась в среднем на 8%, сырая масса надземной части – на 25% [101], что существенно повышает их адаптивные возможности в отношении использования элементов минерального питания и воды.

Длительные полевые эксперименты с многолетними злаковыми травами показали, что бактериальное удобрение Азобактерин обеспечивало стабильный положительный эффект на четырех видах злаковых трав – овсянице луговой, тимофеевке луговой, костреце безостом и еже сборной [99, 100, 101, 102]. На дерново-подзолистой супесчаной почве при равных условиях минерального питания наибольший эффект от инокуляции получен на костреце безостом и еже сборной – при средней урожайности 62 и 56 ц/га прибавки от Азобактерина составили 10 и 9 ц/га сухой массы 4; урожайность и прибавки от бактеризации тимофеевки луговой и овсяницы луговой были ниже и составили 48 и 40 ц/га, 7 и 5 ц/га сухой массы соответственно [101, 102]. Реальный вклад азотфиксации в азотное питание подтверждается соответствующим повышением содержания белка в урожае трав: костреца – с 10,2 до 13,6%, ежи – с 10,7 до 12,9%, тимофеевки – с 9,5 до 11,1%, овсяницы – с 9,3 до 11% [102].



В полевом опыте с ежой сборной на дерново-подзолистой супесчаной почве установлена эффективность Азобактерина при разных уровнях минерального азотного питания (0, 30, 60 кг/га). По показателям урожайности сухой массы (105,6 ц/га), прибавки от бактеризации (14,4 ц/га), повышению активности азотфиксации в ризоплане (в 3,8 раза) и содержания протеина в продукции (14,6%) оптимальная доза минерального азота –  $N_{60}$  [99].

Изучена эффективность зонального штамма *A. brasilense* В–4485 на посевах ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Оценивали эффективность разных способов внесения диазотрофов и сравнивали действие штамма с химическим протравителем семян Фенорамом. Все изученные способы бактеризации обеспечивали повышение урожайности ячменя, стимулировали продуктивное кущение, увеличивали массу и число зерен в колосе. Наиболее высокую урожайность ячменя (61,1 ц/га) и прибавку зерна (11 ц/га) обеспечивала предпосевная обработка семян на фоне  $N_{60}$ , при этом бактеризация способствовала синтезу и накоплению белка в зерне. Предпосевная обработка семян *Azospirillum brasilense* В–4485 была сравнима по эффективности с действием Фенорама [103].

Проведена оценка эффективности применения Азобактерина на льне-долгунце. Предпосевная инокуляция семян стимулировала закладку большего числа репродуктивных органов у растений и оказывала положительное влияние на показатели структуры урожая льна-долгунца, определяющие его качество. За счет инокуляции повышалась техническая длина стеблей льна, наибольший эффект отмечен на фонах РК-удобрений: техническая длина стебля была на 8,2–8,5 см выше, чем на контроле. Перспективны следующие варианты биологизации возделывания льна-долгунца за счет применения Азобактерина: первый – на фоне  $N_{15} P_{60} K_{90}$  в сочетании с предпосевной обработкой семян, что позволяет экономить 15 кг/га азота и обеспечивает урожайность длинного волокна, эквивалентную внесению  $N_{30} P_{60} K_{90}$ , при этом выход длинного волокна составил в среднем 1,34 т/га, прибавка от бактеризации 0,33 т/га, относительное содержание длинного волокна повышалось на 3%; второй – на фоне  $P_{60} K_{90}$  в сочетании с предпосевной обработкой семян также позволяет экономить 15 кг/га азота и обеспечивает урожайность длинного волокна, эквивалентную внесению  $N_{15} P_{60} K_{90}$ , при этом выход длинного волокна составил в среднем 1,08 т/га, прибавка от бактеризации 0,36 т/га, относительное содержание длинного волокна повышалось на 7% [104]. Применение Азобактерина позволяет снижать доза азотных удобрений при возделывании льна-долгунца. Действие Азобактерина на урожай и качество продукции льна-долгунца эквивалентно внесению как минимум 15 кг/га д.в. азота. При этом исключается избыточная концентрация азота в корневой зоне льна-долгунца, которая может снижать выход волокна, его качество и урожайность семян.

Таким образом, анализ научной литературы показал, что перспективность использования азоспирилл в качестве действующих агентов бактериальных удобрений обусловлена их свойствами – способностью стимулировать рост растений, фиксировать молекулярный азот в ассоциации со злаковыми культурами, разнообразным метаболизмом азота, хемотаксисом и аэротаксисом. При условии выбора адекватного штамма, сочетающего хорошую способность к колонизации корней сельскохозяйственной культуры, высокую азотфиксирующую и ростости-



мулирующую активность, способность осуществлять мобилизацию почвенного фосфора, а также при условии оптимизации минерального азотного питания, применение азоспирилл может обеспечивать реальный вклад биологического азота в урожай и повышение качества продукции по содержанию белка. Необходимыми условиями успеха инокуляции являются – изготовление качественного биоудобрения, правильное его хранение и внесение.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Beijerinck, M.W.* Ueder ein Spirillum, welches freien Stickstoff binden kann? / M.W. Beijerinck // Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten. – 1925. – V. 63, № 2. – P. 353–359.
2. *Dobereiner, J.* Associative symbioses in tropical grasses: Characterization of microorganisms and dinitrogen fixing sites / J. Dobereiner, J.M. Day // Nitrogen Fixation: proc. 1st Int. Symp. / Eds. W.E. Newton and C.J. Nyman; Washington State Univ. Press, Pullman, Washington, USA. – Washington, 1976. – P. 518–538.
3. *Yoshida, T.* Nitrogen fixing activity in upland and flooded rice fields / T. Yoshida, R.R. Ancajas // Soil Sci. Soc. Am. Proc. – 1973. – V. 37. – P. 42–46.
4. *Balandreau, J.* Fixation biologique de l'azote moléculaire en savane de Laento (Basse Côte d'Ivoire): Resultats préliminaires / J. Balandreau, G. Willemin // Rev. Ecol. Biol. Sol. – 1973. – V. 10. – P. 23–33.
5. Non-symbiotic nitrogen fixation in the rhizosphere of rice, maize and different tropical grasses / Y. Dommergues [et al.] // Soil Biol. Biochem. – 1973. – V. 5, № 1. – P. 83–89.
6. *Dobereiner, J.* Ecological distribution of *Spirillum lipoferum* Beijerinck / J. Dobereiner, J. Marriel, M. Nery // Can. J. Microbiol. – 1976. – V. 22. – P. 1464.
7. *Dobereiner, J.* Nitrogenase activity in the rhizosphere of sugar cane and some other tropical grasses / J. Dobereiner, J.M. Day, P.J. Dart // Plant Soil. – 1972. – V. 37. – P. 191–196.
8. *Hill, S.* Influence of oxygen concentration on the colony type of *Derxia gummosa* grown on nitrogen-free media / S. Hill // J. Gen. Microbiol. – 1971. – V. 67. – P. 77–83.
9. *Hill, S.* Environmental effects on the growth of nitrogen-fixing bacteria / S. Hill, J.W. Drozd, J.R. Postgate // J. Appl. Chem. Biotechnol. – 1972. – V. 22. – P. 541–558.
10. *Tarrand, J.J.* A taxonomic study of the *Spirillum lipoferum* group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov., and two species *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. / J.J. Tarrand, N.R. Kreig, J. Dobereiner // Can. J. Microbiol. – 1978. – V. 24. – P. 967–980.
11. *Tyler, M.E.* Isolation of *Azospirillum* from diverse geographic regions / M.E. Tyler, J.R. Milam, R.L. Smith // Can. J. Microbiol. – 1979. – V. 25, № 6. – P. 639–697.
12. Report of Seventh Australian legume nodulation Conference / Y. Barnet [et al.] // J. of Australian Institute of Agr. Sc. – 1984. – V. 50, № 1. – P. 30–34.
13. *Hubbell, D.H.* Associative N<sub>2</sub> fixation with *Azospirillum* / D.H. Hubbell, M.H. Gaskins // Biological Nitrogen Fixation, Ecology, Technology and Physiology. – New York, London: Plenum Press, 1984. – P. 201–224.

14. Okon, Y. Developments in Basic and Applied Biological Nitrogen Fixation / Y. Okon, R.W.F. Hardy // Plant Physiology. Academic Press Inc. – 1983. – V. 8. – P. 5–54.

15. Vlassak, K. Association of free-living nitrogen fixing bacteria with plant roots in temperate region / K. Vlassak, L. Reynders // Microbiol. Ecol. B. – 1978. – P. 307–309.

16. Применение ацетиленового метода для количественного учета разных групп азотфиксаторов методом предельных разведений / Т.А. Калининская [и др.] // Микробиология. – 1981. – Т. 50, № 5. – С. 924–927.

17. Мальцева, Н.Н. Азотфиксирующая бактерия *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) в почве, ризосфере и ризоплане сельскохозяйственных растений / Н.Н. Мальцева, В.В. Волкогон // Микробиология. – 1984. – Т. 46, № 1. – С. 6–8.

18. Активность азотфиксации и азотфиксирующие микроорганизмы ризосферы озимой ржи / Н.Н. Мальцева [и др.] // Микробиологический журнал. – 1992. – Т. 54. – С. 10–16.

19. Vlassak, K. Agronomic aspects of biological dinitrogen fixation by *Azospirillum* spp in temperate zone / K. Vlassak, L. Reynders // Associative N<sub>2</sub>-fixation. – 1981. – V. 1. – P. 93–101.

20. Берестецкий, О.А. Азотфиксирующая активность в ризосфере и на корнях небобовых растений / О.А. Берестецкий, Л.Ф. Васюк // Изв. АН СССР, серия биол. № 1. – 1983. – С. 44–50.

21. Умаров, М.М. Ассоциативная азотфиксация / М.М. Умаров. – М.: МГУ, 1986. – 132 с.

22. Haahnela, K. Root-associated N<sub>2</sub>-fixation (Acetylene reduction) by Enterobacteriaceae and *Azospirillum* strains in cold-climate spodosoils / K. Haahnela, T. Wartioraara, V. Sundman // Appl. Env. Microbiol. – 1981. – V. 41, № 41. – P. 203–206.

23. Lindberg, T. Nitrogenase activity and nitrogen fixing bacteria in cereals and forage grasses grown in Sweden: third Intern. Symp. on Nitrogen Fixation with non-legumes, Helsinki, 2–8 September, 1984. / T. Lindberg, U. Granhall. – Helsinki, 1984. – P. 83.

24. Kleeberger, A. The rhizosphere microflora of wheat and barley with special reference to Gram negative bacteria / A. Kleeberger, H. Castorf, W. Klingmuller // Arch. Microbiol. – 1983. – V. 136. – P. 306–311.

25. Лукин, С.А. Азоспириллы и ассоциативная азотфиксация у небобовых культур в практике сельского хозяйства / С.А. Лукин, П.А. Кожевин, Д.Г. Звягинцев // Сельскохозяйственная биология. – 1987. – № 1. – С. 51–58.

26. Krol, M.J. Występowane bakterii z rodzaju *Azospirillum* w ryzosferze kukurydzy i jęczmienia uprawianych na różnych glebach / M.J. Krol, J. Kobus // Zesz. Nauk. AR Szczec. – 1997. – V. 181. – P. 141–151.

27. Krol, M.J. Występowane *Azospirillum* w ryzosferze traw / M.J. Krol // Organizmy glebowe jako wskaźnik procesów ekologicznych: materiały Ogólnopolskiego Sympozjum, Wrocław 14–16 września 1995. – Wrocław, 1995.

28. Jaskowska, H. Występowane i charakterystyka bakterii z rodzaju *Azospirillum* w ryzosferze roślin zbożowych / H. Jaskowska // Praca doktorska. – Warszawa: SGGW, 1993.

29. *Jaskowska, H.* Occurrence of bacteria of the genus *Azospirillum* in rhizosphere of different cereal varieties / H. Jaskowska // *Ann. WAU Agric.* – 1994. – V. 27. – P. 61–65.

30. *Kulinska, D.* Occurrence of *Azospirillum* in Polish soils / D. Kulinska // *Acta Microbiol. Pol.* – 1983. – V. 32. – P. 265.

31. *Kennedy, I.R.* Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crops: recent advances / I.R. Kennedy, Y. Tchan // *Plant Soil.* – 1992. – V. 141. – P. 93–118.

32. *Kennedy, I.R.* Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited? / I.R. Kennedy, A.T.M.A. Chouhury, M.L. Kecskes // *Soil Biol. Biochem.* – 2004. – V. 36, № 8. – P. 1229–1244.

33. *Baldani, V.L.D.* Host-plant specificity in the infection of cereals with *Azospirillum* spp. / V.L.D. Baldani, J. Dobereiner // *Soil Biol. Biochem.* – 1980. – V. 12. – P. 433–440.

34. *Michiels, K.* *Azospirillum* – plant root associations: a review / K. Michiels, J. Vanderleyden, A. Gool // *Biol. Fertil. Soils.* – 1989. – V. 8. – P. 356–368.

35. *Okon, Y.* Advances in agronomy and ecology of the *Azospirillum*/plant association. Nitrogen Fixation: Fundamentals and applications / Y. Okon // Kluwer Academic Publishers. – Netherlands, 1995. – P. 635–652.

36. *Васюк, Л.Ф.* Азотфиксирующие микроорганизмы на корнях небобовых растений и их практическое использование / Л.Ф. Васюк // Биологический азот в сельском хозяйстве СССР. – 1989. – С. 88–98.

37. *Несцярэнка, В.М.* Асацыятыўная азотфіксацыя у рызаплане небабовых раслін ва умовах Беларусі / В.М. Несцярэнка, Л.А. Карагіна // *Весці АН БССР. Серыя с.-г. навук.* – 1986. – № 1. – С. 36–39.

38. *Волкогон, В.В.* Ассоциативная азотфиксация в корневой зоне представителей семейства злаковых: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07 / В.В. Волкогон. – Киев, 1987. – 18 с.

39. *Нестеренко, В.Н.* Использование ассоциативных микроорганизмов для повышения урожайности ячменя и многолетних злаковых трав: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук: 06.01.04. / В.Н. Нестеренко. – Минск, 1993. – 23 с.

40. *Нестеренко, В.Н.* Корневые diaзотрофы небобовых культур в дерново-подзолистых почвах Белоруссии / В.Н. Нестеренко // *Почвоведение и агрохимия.* – 1987. – Вып. 23. – С. 116–119.

41. *Sadasivan, L.* Cyst production and brown pigment formation in aging cultures of *Azospirillum brasilense* ATCC 29145 / L. Sadasivan, C.A. Neyra // *J. Bacteriol.* – 1987. – V. 169. – P. 1670–1677.

42. *Tal, S.* Production of the reserve material poly- $\beta$ -hydroxybutyrate and its function in *Azospirillum brasilense* Cd. / S. Tal, Y. Okon // *Can. J. Microbiol.* – 1985. – V. 31. – P. 608–613.

43. *Tal, S.* The regulation of poly- $\beta$ -hydroxybutyrate metabolism in *Azospirillum brasilense* during balanced growth and starvation / S. Tal, P. Smirnov, Y. Okon // *J. Gen. Microbiol.* – 1990. – V. 136. – P. 1191–1196.

44. *Holl, P.G.* Application of the indirect immunoperoxidase stain technique to the flagella of *Azospirillum brasilense* / P.G. Holl, N.R. Kreig // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1984. – V. 47. – P. 433–435.

45. Cloning sequencing and phenotypic analysis of *laf1*, encoding the flagellum of the lateral flagella of *Azospirillum brasilense* Sp. 7 / S. Moens [et al.] // *J. Bacteriol.* – 1995. – V. 177. – P. 5419–5426.
46. Barak, R. Detection of chemotaxis in *Azospirillum brasilense* / R. Barak, I. Nur, Y. Okon // *J. Appl. Bacteriol.* – 1983. – V. 53. – P. 399–403.
47. Reinhold, B. Stain-specific chemotaxis of *Azospirillum* spp. / B. Reinhold, T. Hurek, I. Fendrik // *J. Bacteriol.* – 1985. – V. 162. – P. 190–195.
48. Zhulin, I.B. Motility, chemokinesis and methylation-independent chemotaxis in *Azospirillum brasilense* / I.B. Zhulin, J.P. Armitage // *J. Bacteriol.* – 1993. – V. 175. – P. 952–958.
49. Heinrich, D. Chemotactic attraction of *Azospirillum lipoferum* by wheat roots and characterization of some attractants / D. Heinrich, D. Hess // *Can. J. Microbiol.* – 1985. – V. 31. – P. 26–31.
50. Bashan, Y. Migration of the rhizosphere bacteria *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* towards wheat roots in the soil / Y. Bashan // *J. Gen. Microbiol.* – 1986. – V. 132. – P. 3407–3414.
51. Aerotactic response of *Azospirillum brasilense* / R. Barak [et al.] // *J. Bacteriol.* – 1982. – V. 152. – P. 643–649.
52. Oxygen taxis and proton motive force in *Azospirillum brasilense* / I.B. Zhulin [et al.] // *J. Bacteriol.* – 1996. – V. 178. – P. 5199–5204.
53. Recent advances in BNF with non-legume plants / J.I. Baldani [et al.] // *Soil. Biol. Biochem.* – 1997. – V. 29, № 5–6. – P. 911–922.
54. Sumner, M.E. Crop responses to *Azospirillum* inoculation / M.E. Sumner // *Advances in Soil Science.* – 1990. – V. 12. – P. 53–123.
55. Dobereiner, J. Nitrogen fixing rhizocoenoses / J. Dobereiner, H. De Polli // *Nitrogen Fixation: Acad. Press, London.* / Eds. W.D.P. Stewart and Y.R. Gallon. – London, 1980. – P. 301–333.
56. Patriquin, D.G. Light microscopy observations of tetrazolium-reducing bacteria in the endorhizosphere of maize and other grasses in Brazil / D.G. Patriquin, J. Dobereiner // *Can. J. Microbiol.* – 1978. – V. 24. – P. 734–742.
57. Fluorescent antibody technique to identify *Azospirillum brasilense* associated with roots of grasses / S.C. Schank [et al.] // *Soil Biol. Biochem.* – 1979. – V. 11. – P. 287–295.
58. Patriquin, D.G. Sites and processes of association between diazotrophs and grasses / D.G. Patriquin, J. Dobereiner, D.K. Jain // *Can. J. Microbiol.* – 1983. – V. 29. – P. 900–915.
59. Establishment of inoculated *Azospirillum* spp. in the rhizosphere and in roots of field grown wheat and sorghum / V.L.D. Baldani [et al.] // *Plant and Soil.* – 1986. – V. 90. – P. 35–46.
60. Okon, Y. Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots / Y. Okon, Y. Kapulnik // *Plant Soil.* – 1986. – V. 90. – P. 3–16.
61. James, E.K. Nitrogen fixation in endophytic and associative symbiosis / E.K. James // *Field Crop Research.* – 2000. – V. 65, № 2/3. – P. 197–209.
62. Bashan, Y. Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture / Y. Bashan, H. Levanony // *Can. J. Microbiol.* – 1990. – V. 36. – P. 591–608.

63. Nonspecific responses in plant growth, yield and root colonization of noncereal crop plants to inoculation with *Azospirillum brasilense* Cd / Y. Bashan [et al.] // *Can. J. Botany*. – 1989. – V. 67. – P. 1317–1324.

64. *Dobereiner, J.* Ten years *Azospirillum* / J. Dobereiner // *Azospirillum* II, Genetics, Physiology, Ecology. / Ed. W. Klingmuller; *Experienta Suppl.* – 1983. – V. 48. – P. 9–23.

65. *Gafny, R.* Adsorption of *Azospirillum brasilense* to corn roots / R. Gafny, Y. Okon, M. Fischer // *Soil Biol. Biochem.* – 1986. – V. 18. – P. 69–75.

66. *Bashan, Y.* The fate of field-inoculated *Azospirillum brasilense* Cd in wheat rhizosphere during the growing season / Y. Bashan, H. Levanony, O. Ziv-Vecht // *Can. J. Microbiol.* – 1987. – V. 33. – P. 1074–1079.

67. *Bashan, Y.* Evidence for a weak active external adsorption of *Azospirillum brasilense* Cd to wheat roots / Y. Bashan, H. Levanony, E. Klein // *J. Gen. Microbiol.* – 1986. – V. 132. – P. 3069–3072.

68. *Bashan, Y.* Factors affecting adsorption of *Azospirillum brasilense* Cd to root hairs as compared with root surface of wheat / Y. Bashan, H. Levanony // *Can. J. Microbiol.* – 1989. – V. 35. – P. 936–944.

69. *Kapulnik, Y.* Changes in root morphology of wheat caused by *Azospirillum* inoculation / Y. Kapulnik, Y. Okon, Y. Henis // *Can. J. Microbiol.* – 1985. – V. 31. – P. 881–887.

70. *Umali-Garcia, M.* Association of *Azospirillum* with grass roots / M. Umali-Garcia [et al.] // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1980. – V. 39. – P. 219–226.

71. *Jain, D.K.* Root hair deformation, bacterial attachment and plant growth in wheat–*Azospirillum* association / D.K. Jain, D.G. Patriquin // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1984. – V. 48. – P. 1208–1213.

72. *Tien, T.M.* Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) / T.M. Tien, M.H. Gaskins, D.H. Hubbell // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1979. – V. 37, № 5. – P. 1016–1024.

73. *Jain, D.K.* Characterization of a substance produced by *Azospirillum* which causes branching of wheat root hairs / D.K. Jain, D.G. Patriquin // *Can. J. Microbiol.* – 1985. – V. 31. – P. 206–210.

74. *Звягинцев, Д.Г.* Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – М.: МГУ, 1987. – 256 с.

75. *Lin, W.* Enhanced mineral uptake by *Zea mays* and *Sorghum bicolor* roots inoculated with *Azospirillum brasilense* / W. Lin, Y. Okon, R.W.F. Hardy // *Appl. Environ. Microbiol.* – 1983. – V. 45. – P. 1775–1779.

76. *Sarig, S.* Improvement of the water status and yield of field grown grain sorghum (*Sorghum bicolor*) by inoculation with *Azospirillum brasilense* / S. Sarig, A. Blum, Y. Okon // *J. Agric. Sci. Camb.* – 1988. – V. 110. – P. 271–277.

77. Cloning sequencing and phenotypic analysis of *laf1*, encoding the flagellum of the lateral flagella of *Azospirillum brasilense* Sp. 7 / S. Moens [et al.] // *J. Bacteriol.* – 1995. – V. 177. – P. 5419–5426.

78. *Moens, S.* Glycosylation of the flagellin of the polar flagellum of *Azospirillum brasilense*, a Gram-negative nitrogen-fixing bacterium / S. Moens, K. Michiels, J. Vanderleyden // *Micribiology*. – 1995. – V. 141. – P. 2651–2657.

79. *Michiels, K.W.* Two different modes of attachment of *Azospirillum brasilense* Sp 7 to wheat roots / K.W. Michiels, C.L. Croes, J. Vanderleyden // *J. Gen. Microbiol.* – 1991. – V. 137. – P. 2241–2246.
80. The effect of wheat germ agglutinin on dinitrogen fixation, glutamine synthetase activity and ammonia excretion in *Azospirillum brasilense* Sp 245 / L.P. Antonyuk [et al.] // *FEMS Microbiol. Lett.* – 1993. – V. 110. – P. 285–209.
81. *Zimmer, W.* An alternative explanation for plant growth promotion by bacteria of the genus *Azospirillum* / W. Zimmer, K. Roeben, H. Bothe // *Planta.* – 1988. – V. 176. – P. 333–342.
82. *Roper, M.M.* Biological N<sub>2</sub> fixation by heterotrophic and phototrophic bacterium association with straw / M.M. Roper, J.K. Ladha // *Plant Soil.* – 1995. – V. 174. – P. 211–224.
83. *Zimmer, W.* The phytohormonal interactions between *Azospirillum* and wheat / W. Zimmer, H. Bothe // *Nitrogen fixation with non-legumes* / Eds. F.A. Skinner [et al.]. – Kluwer Academic Publishers, 1989. – P. 137–145.
84. Aspects of nitrogen fixation and denitrification by *Azospirillum* / G. Danneberg [et al.] // *Plant Soil.* – 1986. – V. 90. – P. 193–202.
85. Transformations of inorganic nitrogen by *Azospirillum* spp. / H. Bothe [et al.] // *Arch. Microbiol.* – 1981. – V. 130. – P. 96–100.
86. *Azospirillum* and related organisms: ecological, physiological, biochemical and genetics aspects / H. Bothe [et al.] // *Nitrogen Fixation with Non-Legumes* / Eds. N. A. Hegazi [et al.]. – American University in Cairo Press. – Cairo, Egypt, 1994. – P. 43–52.
87. *Okon, Y.* and Agronomic application of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation / Y. Okon, C.A. Labandera–Gonzalez // *Soil Biol. Biochem.* – 1994. – V. 26. – P. 1591–1601.
88. *Saric, M.R.* Specific relation between some strains of diazotrophs and corn hybrids / M.R. Saric, Z. Saric, M. Govedarica // *Plant Soil.* – 1987. – V. 99. – P. 147–162.
89. *Sumner, M.E.* Crop responses to *Azospirillum* inoculation / M.E. Sumner // *Advances in Soil Science.* – 1990. – V. 12. – P. 53–123.
90. *Белимов, А.А.* Эффективность инокуляции ячменя смешанными культурами diaзотрофов: автореф. дис. ...канд. биол. наук: 06.01.04 / А.А. Белимов; ВНИИСХМ. – Л., 1990. – 19 с.
91. *Tilak, K.V.B.R.* Response of barley (*Hordeum vulgare*) to inoculation with *Azospirillum brasilense* / K.V.B.R. Tilak, B.N. Murthy // *Curr. Sci.* – 1983. – № 19. – P. 12–16.
92. *Сініцын, М.В.* Эффектынасаць прэпаратау дыязатрофных бактэрыяў пад каласоўнік безасцюковы / М.В. Сініцын [і інш.] // *Вестці АН БССР. Сер. с.-г. навук.* – 1990. – № 2. – С. 67–70.
93. *Fages, J.* An individual view of *Azospirillum* inoculants: formulation and application technology / J. Fages // *Symbiosis.* – 1992. – V. 13. – P. 15–26.
94. *Майорова, Т.Н.* Подходы к оптимизации интродукции азоспирилл / Т.Н. Майорова, П.А. Кожевин, Д.Г. Звягинцев // *Микробиология.* – 1996. – Т. 65, № 2. – С. 277–281.



95. *Han, S.O.* Variation in nitrogen fixing ability among natural isolates of *Azospirillum* / S.O. Han, P.B. New // *Microbial Ecology*. – 1998. – V. 36. – P. 193–201.

96. *Волкогон, В.В.* Эффективность бактериализации злаковых трав азоспириллами / В.В. Волкогон // *Сельскохозяйственная биология*. – 1997. – № 5. – С. 73–77.

97. *Карягина, Л.А.* Влияние микроорганизмов рода *Azospirillum* на урожайность многолетних злаковых трав / Л.А. Карягина, В.Н. Нестеренко // *Весті АН БССР. Сер. с.-г. навук*. – 1988. – № 2. – С. 79–82.

98. Штамм ассоциативных азотфиксирующих бактерий *Azospirillum brasilense* В–4485 для обработки семян зерновых культур и многолетних злаковых трав: пат. 4632 Респ. Беларусь / В.Н. Нестеренко, Л.А. Карягина, Т.Б. Барашенко, Н.А. Михайловская, Н.А. Курилович, Г.В. Мороз; заявитель РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии». – № 970432; заявл. 05.08.1997; опубл.30.09.2002 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. – 2002. – № 3.

99. *Михайловская, Н.А.* Эффективность бактериализации ежи сборной *Azospirillum brasilense* В–4485 на дерново-подзолистой супесчаной почве / Н.А. Михайловская, Г.В. Жила, Л.А. Юрко // *Почвенные исследования и применение удобрений*. – Минск, 2004. – Вып. 28. – С. 217–222.

100. *Михайловская, Н.А.* Влияние минерального питания на эффективность бактериализации овсяницы луговой *Azospirillum brasilense* В–4485 / Н.А. Михайловская, Л.А. Юрко // *Земляробства і ахова раслін*. – 2005. – № 6. – С. 15–16.

101. Влияние бактериального удобрения Азобактерин на урожайность многолетних трав, качество и аккумуляцию радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  / Н.А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2014. – № 1(52). – С. 333–347.

102. Эффективность бактериализации разных видов трав *Azospirillum brasilense* / Н.А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2006. – № 1(36). – С. 202–207.

103. Эффективность бактериализации ячменя на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Н.А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2005. – № 2 (35). – С. 146–152.

104. *Mikhailovskaya, N.* The effect of seed inoculation by *Azospirillum brasilense* В–4485 on flax yield and its quality / N. Mikhailovskaya // *Plant, Soil and Environment*. – 2006 (9). – V. 52. – P. 402–406.

105. Азотфиксирующая активность и эффективность спирилл, обитающих на корнях растений / О.А. Берестецкий [и др.] // *Микробиология*. – 1985. – Т. 54. – Вып. 6. – С. 1102–1107.

106. *Хальчицкий, А.Е.* Приживаемость и эффективность действия бактерий рода *Azospirillum* при инокуляции сельскохозяйственных растений: автореф. дис. ...канд. биол. наук. 03.00.07. / А.Е. Хальчицкий. – Ленинград. – 1989. – 16 с.

107. Способ повышения продуктивности многолетних трав: пат. 8239 Респ. Беларусь / Н.А. Михайловская, Н.Н. Курилович, Л.Н. Лученок, Л.А. Юрко, С.В. Дюсова; заявитель РУП «Ин-т почвоведения и агрохимии» – № а 20010740; заявл. 28.08.01; опубл. 20.04.2006 // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці*. – 2006. – № 3(50). – С. 82.

108. Активность фосфатмобилизации у ризобактерий / Н.А. Михайловская [и др.] // *Почвоведение и агрохимия*. – 2007. – № 1(38). – С. 225–231.



**AZOSPIRILLUM SPP AND THEIR INFLUENCE  
ON GRAIN CROP (REVIEW)**

**N.A. Mikhailouskaya**

**Summary**

The review have shown the perspective of Azospirillum spp use as an acting agents of biofertilizers is connected with their ability to plant growth promotion, nitrogen fixation in association with grain crops, different nitrogen metabolism, chemotaxis and aerotaxis. Under the condition of choice of active Azospirillum strain possessing high capability of root colonization, N<sub>2</sub>-fixation, growth promotion as well as under the optimization of mineral N-nutrition of plants the application of Azospirillum spp may provide the real input of biological nitrogen in crop yield and the increase of protein content in crops.

*Поступила 07.09.2015*

## РЕФЕРАТЫ

### 1. ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 631.421.3

**Пироговская Г.В.** Катионно-анионный состав лизиметрических растворов из пахотных почв Беларуси (по данным 1981–2012 гг.) // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 7.

В статье приведены данные многолетних лизиметрических исследований по катионно-анионному составу дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава. Сумма ионов (анионов и катионов) в лизиметрических растворах в период исследований (1981–2012 гг.) изменялись от 5,8 (песчаная) до 9,9 мг–экв/л (связносупесчаная, подстилаемая моренными суглинками). На изменение ионного состава и соотношение катионов и анионов в почвенном растворе влияет внесение известковых мелиорантов, органических и минеральных удобрений. При повышенных дозах внесения как минеральных, так и органических удобрений, увеличивается содержание катионов и анионов в почвенном растворе. При умеренных дозах применения удобрений уменьшаются отношения ( $\text{HCO}_3^-/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Cl}^-/\text{Ca}^{2+}$ ), что свидетельствует о снижении загрязнения грунтовых и поверхностных вод гидрокарбонатами, сульфатами и хлоридами.

Табл. 5. Библиогр. 19.

УДК 528 + 631.4(476)

**Курьянович М.Ф., Черныш А.Ф., Шалькевич Ф.Е.** Эффективность использования материалов дистанционных съемок при обновлении почвенных карт // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 18.

Приведены результаты анализа выполненных исследований по корректировке крупномасштабных почвенных карт, изложен опыт использования материалов дистанционных съемок при корректировке среднемасштабных почвенных карт и составлении карт СПП.

Табл. Рис. 5. Библиогр. 20

УДК 631.47:631.471

**Бындыч Т.Ю., Коляда Л.П., Трускавецкий С.Р.** Современные подходы к дистанционной фитоиндикации состояния почвенного покрова // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 30.

Для определения уровня обеспеченности почв необходимыми элементами питания растений можно использовать методы листовой диагностики с помо-

щью космической съемки посевов. За счет использования многоспектральной космической съемки высокого пространственного разрешения посевов кукурузы на начальных стадиях их развития, путем многоступенчатого тематического дешифрирования создана карта почвенных выделов, отличающихся по уровню проявления стресса растений кукурузы. Это позволяет оптимизировать наземные исследования определенных ареалов и оценить грунтовые факторы питания кукурузы как индикатора агрохимического состояния почвы, и экстраполировать полученные результаты анализа на территории, которые имеют подобные спектральные образы.

Табл. Рис. 3. Библиогр. 15.

УДК 631.6.02

**Черный С.Г., Поляшенко Н.В.** Определение допустимой нормы эрозии для южных черноземов Правобережной Степи Украины // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 38.

Проведены исследования по определению допустимых норм эрозии для южных черноземов почв правобережной Украины. На срок планирования в 50 лет при 5% снижении производительности почв для незеродированных почв допустимая эрозия составляет 4 т/га в год, а для эродированных – 5 т/га в год.

Табл. 3. Библиогр. 16.

УДК 631.4

**Чупрова В.В., Демьяненко Т.Н., Жуков З.С., Бабиченко Ю.В.** Оценка плодородия почв и почвенных комбинаций пахотных земель Красноярской Лесостепи // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 47.

На примере учхоза «Миндерлинское» Сухобузимского района Красноярского края, расположенного в лесостепной зоне, проведена оценка плодородия почв и почвенных комбинаций пахотных земель с применением почвенно-экологического индекса. Полученные результаты позволили определить лимитирующие плодородие свойства почв и способствовать оптимизации структуры размещения сельскохозяйственных культур в хозяйстве.

Табл. 3. Рис. Библиогр. 8.

УДК 631.4(477.41/42)

**Трофименко П.И., Борисов Ф.И., Трофименко Н.В.** Интенсивность дыхания почв Левобережного Полесья Украины в условиях агроценоза // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 56.

В статье освещены вопросы, связанные с определением интенсивности дыхания почв Левобережного Полесья Украины (ИДП), и установлением закономерностей формирования и обусловленности эмиссионных потерь органического углерода почвами в условиях агроценоза.

В работе использована оригинальная методика, позволяющая не только определить значения эмиссии  $\text{CO}_2$  из почв, а также вычислить величины погрешностей, которые возникают во время измерений.

В ходе исследований установлено, что в 2013 г. ИДП основных почв Левобережного Полесья существенно изменяли свои значения в зависимости от типа почвы, вида угодья, сельскохозяйственной культуры и интенсивности использования. Выявлено, что на момент обследования ИДП у дерново-среднеподзолистой связно-песчаной почвы на древнем аллювии составила  $1,130 \pm 0,633$  кг/га/час, тогда как у торфянисто-болотной хорошо разложившейся почвы на современном аллювии соответственно  $13,955 \pm 1,318$  кг/га/ч.

Установлено, что в 2014 г. в условиях дефицита влаги диапазон значений ИДП в указанных выше почвах заметно сужался и составил  $2,78 \pm 0,35$  до  $6,76 \pm 0,58$  кг/га/ч соответственно.

Выявлено, что наиболее значимой по величине является комплексная погрешность, которая образуется по причине несовершенства прибора и оборудования, а также значения  $\Delta\text{CO}_2$  (разница конечной и начальной концентрации внутри камеры). Суммарная величина этих погрешностей составляет от 60,6 до 93,4% от общего значения погрешности.

Табл. 2. Рис. 2. Библиогр. 18.

УДК 631.587

**Афанасьев Ю.А.** Оценка состояния чернозема оподзоленного в условиях капельного орошения и овощного севооборота Левобережной Лесостепи Украины // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 66.

Установлены закономерности изменений солевого, питательного, водного режимов, агрофизических и физико-химических свойств чернозема оподзоленного при капельном орошении водой первого класса качества и разных систем удобрения в овощном севообороте. Определены варианты оптимального сочетания режимов капельного орошения и систем удобрения, обеспечивающие наивысшую урожайность овощных культур.

Табл. 3. Рис. Библиогр. 14.

## 2. ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ И ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

УДК 631.81.095.337:632.116

**Пироговская Г.В., Исаева О.И.** Поступления макро- и микроэлементов с атмосферными осадками и их потери при вымывании из дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 76.

В статье приведены нормативы поступления макро- и микроэлементов с атмосферными осадками и их потери при вымывании в грунтовые воды в зависимости от гранулометрического состава дерново-подзолистых почв, форм и доз

применяемых удобрений (по данным многолетних наблюдений, проведенных на лизиметрической станции в г. Минск в период с 1981 по 2015 гг.).

Табл. 6. Библиогр. 7.

УДК 631.8:631.51:631.445

**Фатеев А.И., Бородина Я.В., Мартыненко В.М., Собко Н.Г.** Влияние систем удобрения и обработки почвы в короткоротационном севообороте на питательный режим чернозема типичного // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 86.

Приведены результаты исследований эффективности применения органической системы удобрения (сидераты, нетоварная часть урожая) и минеральной (умеренные нормы минеральных удобрений) в короткоротационном севообороте на фоне вспашки и поверхностной обработки почвы. Установлено, что существенных изменений содержания гумуса в слое почвы 0–30 см не произошло. В целом за четырехлетнюю ротацию севооборота отмечено снижение содержания щелочногидролизующего азота, подвижных форм фосфора и калия в почве.

Табл. 4. Библиогр. 7.

УДК 631.41

**Цыбулько Н.Н.** Временная динамика параметров миграции  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в системе почва–растение: сравнительный анализ // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 92.

Установлено, что за послеаварийный период произошло существенное снижение биологической доступности  $^{137}\text{Cs}$  вследствие необменной фиксации и уменьшения водорастворимых и обменных форм в почве. Коэффициенты перехода его сократились на дерново-подзолистых почвах в зерновые культуры в 3,0–6,7 раза, в клубни картофеля – в 5,0–7,5 раза. На торфяно-болотных почвах доступность  $^{137}\text{Cs}$  снизилась в среднем 2,5 раза. Переход  $^{137}\text{Cs}$  в растения на этих почвах в 2,7 раза выше, чем на дерново-подзолистых почвах. Показатели поступления  $^{90}\text{Sr}$  в растения наиболее интенсивно снижались сразу после аварийных выпадений, в дальнейшем они стабилизировались. В связи с высокой подвижностью  $^{90}\text{Sr}$  в почве (50% и более находится в обменной форме) переход его в сельскохозяйственные культуры существенно выше по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$  – в зерновые культуры более чем на порядок, в картофель – в среднем в 5 раз.

Рис. 5. Библиогр. 16.

УДК 631.452:631.434

**Господаренко Г.Н., Прокопчук И.В.** Содержание гумуса в черноземе оподзоленном после длительного применения удобрений в полевом севообороте // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 102.

Статья посвящена анализу содержания гумуса и изменения его запасов в черноземе оподзоленном тяжелосуглинистом после длительного (50 лет) применения

удобрений в полевом севообороте. Снижение содержания гумуса и его запасов по сравнению с данными на момент закладки опыта, обусловлено повышением процесса минерализации и незначительным возвращением в почву органических остатков. Системы удобрения, которые изучались в опыте, по-разному влияли на гумусовое состояние. Наилучшая динамика стабилизации запасов гумуса наблюдается при органоминеральной системе удобрения в вариантах опыта навоз 9 т + N45P68K36 и навоз 13,5 т + N67P102K54 на 1га севооборотной площади.

Табл. 4. Библиогр. 11.

УДК 631.45

**Асеева Т.А.** Приемы расширенного воспроизводства плодородия тяжелосуглинистых почв Приамурья // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 107.

Все наблюдения за балансом гумуса очень трудоемки, а оценка его по фактическому содержанию в почвах требует длительного времени. Поэтому был использован расчетный метод [5], в основу которого положены уравнения регрессии для определения основной продукции, справочные данные по содержанию азота в различных частях растений, коэффициенты гумификации растительных остатков и подстилочного навоза, коэффициенты пересчета органических удобрений на подстилочный навоз. Пользуясь этой методикой, рассчитали баланс гумуса в малопольных специализированных зерно-соевых севооборотах различных типов.

Табл. 9. Библиогр. 5.

УДК 631.8:633.16:631.445.2

**Серая Т.М., Богатырева Е.Н., Кирдун Т.М., Бирюкова О.М., Белявская Ю.А., Торчило М.М.** Влияние заправки побочной продукции предшественника и доз минеральных удобрений на урожайность ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 117.

В исследованиях на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что снижение доз фосфорных и калийных удобрений с учетом содержания фосфора и калия в запаханной соломе предшественника обеспечило урожайность зерна ячменя на уровне полных доз минеральных удобрений при снижении затрат на удобрения на 51 USD/га, или на 26%. Внесение компенсирующей дозы азота по растительным остаткам предшественника в виде карбамида обеспечило прибавку урожайности зерна ячменя 15,4 ц/га при весеннем его внесении и 3,4 ц/га при осеннем внесении. В вариантах с внесением NPK под ячмень дополнительное внесение азота по соломе увеличило урожайность в среднем на 4,2 ц/га.

Табл. 7. Библиогр. 7.

631.8.022.3:631.445.2:633.16

**Иовик Л.Н.** Агроэкономическая эффективность внесения органических удобрений на основе отходов биогазовой установки под ячмень на дерново-

во-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 125.

При возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве действие альтернативных органических удобрений сравнимо с действием традиционных видов удобрений. В целом по опыту изучаемые удобрения имеют близкую агрономическую и экономическую эффективность. Их применение положительно влияет на показатели качества зерна и соломы и обеспечивает высокую питательную и энергетическую ценность. Использование твердых видов органических удобрений способствует формированию положительного баланса основных элементов питания. Однако их внесение под ячмень является убыточным.

Табл. 8. Библиогр. 12.

УДК 631.87:633.15

**Иовик Л.Н., Серая Т.М.** Эффективность жидких и твердых органических удобрений на основе отходов биогазовой установки при возделывании кукурузы на зеленую массу на дерново-подзолистой супесчаной почве // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 138.

На дерново-подзолистой супесчаной почве изучена сравнительная эффективность новых и традиционных видов органических удобрений. Установлено, что жидкие и твердые органические удобрения на основе отходов биогазовой установки положительно влияют на урожайность и качество зеленой массы кукурузы. Действие эффлюента на урожайность аналогично влиянию минеральных удобрений и традиционных жидких органических удобрений при внесении в дозах близких по азоту. Наивысшую питательную и энергетическую ценность зеленая масса имела при удобрении эффлюентом. Максимальный чистый доход получен при применении эффлюента в дозах 35 и 70 т/га – 226 и 257 USD/га.

Табл. 7. Библиогр. 10.

УДК 631.81.095.337:633.16:631.442

**Рак М.В., Пукалова Е.Н, Савицкая В.А., Гук Л.Н.** Эффективность кобальтовых удобрений при возделывании ярового ячменя на разных уровнях обеспеченности супесчаной почвы кобальтом // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 150.

Определены параметры оптимизации питания ячменя кобальтом в зависимости от уровней обеспеченности дерново-подзолистой супесчаной почвы этим элементом, которые повышают урожайность и содержание кобальта в зерне.

Табл. 5. Рис. 2. Библиогр. 10.

УДК 631.445:631.82

**Семененко Н.Н.** Экспресс-способ определения азотминерализующей способности торфяных почв // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 158.



Способ определения азотминерализующей способности торфяных почв основан на проведении гидролиза в течение  $18 \pm 0,5$  ч при температуре  $+27$  °С в присутствии восстановителя нитратов сплава Деварда или цинковой пыли минеральных и органических соединений азота с использованием в качестве экстрагента раствора  $0,2$  М КОН при соотношении почва:раствор  $1:20$ , измерении концентрации азота аммония в фильтрате с использованием фотометра и обработке результатов анализа с помощью персонального компьютера.

Табл. 5. Библиогр. 13.

УДК 631.847.21:633.1

**Михайловская Н.А.** Азоспириллы и их влияние на злаковые культуры (обзор литературы) // Почвоведение и агрохимия. – 2015. – № 2(55). – С. 167.

Анализ научной литературы показал, что перспективность использования азоспирилл в качестве действующих агентов бактериальных удобрений обусловлена их способностью стимулировать рост растений, фиксировать молекулярный азот в ассоциации со злаковыми культурами, разнообразным метаболизмом азота, хемотаксисом и аэротаксисом. При условии выбора активного штамма, сочетающего способность к колонизации корней сельскохозяйственной культуры, высокую азотфиксирующую и ростостимулирующую активность, а также при оптимизации минерального азотного питания, применение азоспирилл может обеспечивать реальный вклад биологического азота в урожай и повышение качества продукции по содержанию белка.

Библиогр. 108.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Почвоведение и агрохимия» согласно приказу ВАК Республики Беларусь от 4.07.2005 № 101 включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Направляемые статьи должны являться оригинальными материалами, не опубликованными ранее в других печатных изданиях.

Текст научной статьи должен быть подготовлен в соответствии с требованиями главы 5 Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (утверждена Постановлением ВАК Республики Беларусь от 22.02.2006 № 2) и иметь следующую структуру: индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК); введение; основную часть (разделы – методика и объекты исследования, результаты исследований и их обсуждение), выводы, список цитированных источников. К статье прилагается аннотация на русском и английском языках (с переводом названия статьи, фамилий авторов). Статья должна быть подписана всеми авторами.

Объем статьи не должен превышать 10 страниц формата А 4, но не менее 14 тыс. печатных знаков.

Электронный вариант должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word шрифтом Arial (размер кегля – 10 пт, через одинарный интервал, абзац – 0,75). Рисунки даются в формате TIF.JPG 300–600 точек на дюйм. Текст на рисунках также должен быть набран гарнитурой Arial, размер кегля соизмерим с размером рисунка. Подписи к рисункам и схемам делаются отдельно.

Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ссылки нумеруются согласно порядку цитирования в тексте. Порядковые номера ссылок по тексту должны быть написаны внутри квадратных скобок (например [1], [2]). Ссылка на неопубликованные работы не допускается.

Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте.

Размерность всех величин, используемых в статьях, должна соответствовать Международной системе единиц измерения (СИ).

Поступившая статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии и рассматривается на заседании редколлегии. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к печати. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Редакция оставляет за собой право вносить в текст редакционную правку.

Ответственная за выпуск *Н.Ю. Жабровская*  
Редактор *Т.Н. Самосюк*  
Компьютерная верстка *Е.А. Титовой*

Подписано в печать 17.12.2015. Формат 70x100 1/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 15,6. Уч.-изд. л. 12,0. Тираж 120 экз. Заказ 543.

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



