СОДЕРЖАНИЕ

Номер 2, 2020

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ
Плодородие почв

Влияние удобрений на содержание подвижных форм азота и урожайность овса на серых лесных почвах Верхневолжья
В. В. Окорков, О. А. Фенова, Л. А. Окоркова 3

Калийный режим чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании в различных агроэкосистемах
В. И. Лазарев, Р. И. Лазарева, Б. С. Ильин, Н. Н. Боева 14

Удобрения

Окупаемость затрат на применение азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы
С. А. Шафран 20

Эффективность бактериальных удобрений азобактерин и калиплант при возделывании зерновых культур на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах
В. В. Лапа, Н. А. Михайловская, С. А. Касьянчик, Н. Н. Цыбулько, Т. Б. Барашенко 28

Влияние минеральных удобрений и погодных условий на продуктивность мелиссы лекарственной в условиях республики Мордовия
И. А. Хапугин, А. В. Ивойлов 37

Получение (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка(II) и его использование в качестве микроудобрения для повышения урожайности зернобобовых культур
В. В. Семенов, Н. В. Золотарева, Б. И. Петров, Н. М. Лазарев, Е. Н. Разов, А. О. Сюбаева, Н. А. Кодочилова 43

Регуляторы роста растений

Применение защитно-стимулирующих комплексов на технической конопле
В. А. Серков, С. Л. Белопухов, И. И. Дмитревская 51

Агроэкология

Природоподобные технологии биогеосистемотехники
В. П. Калиниченко, А. П. Глинушкин, М. С. Соколов, В. К. Шаршак, Е. П. Ладан, Т. М. Минкина, В. Е. Зинченко, В. В. Черненко, Д. А. Макаренков, А. Э. Рыхлик, Г. С. Ларин 61

Влияние ландшафтных условий на эффективность точной системы удобрения в звене полевого севооборота
А. И. Иванов, Ж. А. Иванова, Н. А. Цыганова 69

Влияние погодных условий в Ставропольском крае на эффективность доз азотного удобрения на кукурузе
В. Н. Багринцева, И. Н. Ивашененко 77

Влияние хлорида натрия на рост проростков и содержание пролина и натрия у сортообразцов озимого тритикале
Н. А. Хабиева, З. М. Алиева, К. У. Куркиев 84

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Шафран С.А. Почва, удобрение, урожай. М.: Изд-во “Листерра”, 2019. 471 с.
А. А. Завалин 92

Джукич Д.А., Емцев В.Т., Семенов Л.М., Путинская Г.А., Селицкая О.В. Экологическая биотехнология. Сербия: Изд-во “SAJNOS” ДОО, Нови Сад; Крагуевацкий ун-т Сербии, фак-т агрономии в Чачаке; Калканский НЦ РАЕН, 2018. ISBN 978-86-87611-65-8 (AFČ). Т. 1. 844 с.; Т. 2. 754 с.
Ю. Я. Спиридонов 94

Contents

No. 2, 2020

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

Influence of Fertilizers on the Content of Mobile Forms of Nitrogen and Yield of Oats on Gray Forest Soils of the Upper Volga Region
V. V. Okorkov, O. A. Fenova, L. A. Okorkova 3

Potash Regime in Typical Chernozem under Its Long-Term Agricultural Use in Different Agroecosystems
V. I. Lazarev, R. I. Lazareva, B. S. Ilyin, N. N. Boeva 14

Fertilizers

Recoupment of Expenses on Application of Nitrogen Fertilizers in Winter Wheat Top Dressing
S. A. Shafran 20

Efficiency of Biofertilizers Azobacterin and Kaliplant for Grain Crops Growing on Eroded Sod-Podzolic Soils
V. V. Lapa, N. A. Mikhailouskaya, S. A. Kasyanchyk, N. N. Tsybulko, T. B. Barashenko 28

Effect of Mineral Fertilizers and Weather Conditions on the Lemon Balm Productivity in Republic of Mordovia
I. A. Khapugin, A. V. Ivoilov 37

Preparation of Zinc(II) (1-hydroxyethylidene)diphosphonate and Its Use as a Microfertilizer to Increase the Yield of Leguminous Crops
V. V. Semenov, N. V. Zolotareva, B. I. Petrov, N. M. Lazarev, E. N. Razov, A. O. Syubaeva, N. A. Kodochilova 43

Plant Growth Regulator

Application of Protective-Stimulating Complexes on Technical Hemp
V. A. Serkov, S. L. Belopukhov, I. I. Dmitrevskay 51

Agroecology

Nature-Based Technologies of Biogeosystem Technique
V. P. Kalinitchenko, A. P. Glinushkin, M. S. Sokolov, V. K. Sharshak, E. P. Ladan, T. M. Minkina, V. E. Zinchenko, V. V. Chernenko, D. A. Makarenkov, A. E. Rykhlik, G. S. Larin 61

Influence of Landscape Conditions on Efficiency of Precision Fertilizer System in Crop Rotation Link
A. I. Ivanov, Zh. A. Ivanova, N. A. Tsyganova 69

Influence of Weather Conditions in the Stavropol Territory in Efficiency of Doses of Nitrogen Fertilizer on Corn
V. N. Bagrintseva, I. N. Ivashenenko 77

Effect of Sodium Chloride on the Growth of Seedlings and the Content of Proline and Sodium in Varieties of Winter Triticale
N. A. Khabieva, Z. M. Alieva, K. U. Kurkiev 84

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

Safran S. A. Soil, Fertilizer, Crop. Moscow: publishing house “Litterra”, 2019. 471 p.
A. A. Zavalin 92

Djukitch D.A., Emtsev V.T., Semenov L.M., Putinskaya G.A., Selitsky V.O. Environmental biotechnology. Serbia: Publishing house "SAJNOS" DO, Novi Sad; Kragujeva University of Serbia, faculty of agronomy in Chachak; Kalkan scientific center RAEN, 2018. ISBN 978-86-87611-65-8 (AFK). V. 1 844 p. ; V. 2. 754 p.
Yu. Ya. Spiridonov 94

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 3–13

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ
Плодородие почв

УДК 631.811:631.416.1:631.559:633.13:631.445.25(470.314)

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ АЗОТА И УРОЖАЙНОСТЬ ОВСА НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ

© 2020 г. В. В. Окорков[1,*], О. А. Фенова[1], Л. А. Окоркова[1]

[1] Верхневолжский федеральный аграрный научный центр
601261 Владимирская обл., Суздальский р-н, пос. Новый, Россия
**E-mail: okorkovvv@yandex.ru*

Поступила в редакцию 13.02.2019 г.
После доработки 02.04.2019 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

На серых лесных почвах Верхневолжья в течение 4-х ротаций 8- и 7-польного севооборотов изучено влияние действия минеральных удобрений под овес, идущий после зерновых и пропашных культур с разным уровнем применения навоза, на урожайность зерна овса и запасы минеральных форм азота в слое 0–40 см почвы. Выявлена определяющая роль азота, внесенного в составе NPK, и последействия навоза КРС в повышении его урожайности. Она проявлялась через увеличение в почве в ранний период вегетации культуры запасов нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе, сумма которых представляла мобильный фонд азота. Установлена тесная степенная взаимосвязь между урожайностью овса, с одной стороны, и запасами итратного азота и его мобильным фондом, с другой, в этот период. Выявлено, что применение дозы N40P40K40 на изученных почвах было наиболее окупаемым (6.5–8.0 кг з.е./кг д.в.), чем двойной дозы NPK и одних фосфорно-калийных удобрений. После удобренных навозом предшественников окупаемость 1 кг д.в. N40P40K40 возрастала в 1.10–1.35 раза.

Ключевые слова: серая лесная почва, овес, минеральные удобрения, последействие навоза, использование влаги овсом, изменение запасов нитратного и аммонийного азота в течение вегетации, вынос азота овсом.

DOI: 10.31857/S0002188120020118

ВВЕДЕНИЕ

Ценной продовольственной культурой в зоне Верхневолжья является овес. Он имеет большое значение при производстве продуктов питания и в животноводстве, где его используют в качестве зеленого корма, фуража, сена, особенно в смеси с однолетними бобовыми культурами (яровой викой и горохом). Смешанные посевы овса с однолетними бобовыми культурами относятся к наилучшим парозанимающим культурам.

В России посевы овса по сравнению с 1990 г. (9.1 млн га) составили в 2002 г. 4.3, в 2013 г. – 3.3 млн га. В 1990 г. урожайность культуры была равна 14.8, в 2002 г. – 15.6, в 2013 г. – 16.4 ц/га. За 2008–2013 гг. урожайность овса менялась от 14.1 до 18.2 ц/га.

В севообороте овес лучше размещать после пропашных (картофеля) или зерновых культур, удобренных навозом, т.к. он потребляет много азота. При размещении овса после озимых, удобренных навозом, при содержании подвижного P_2O_5 100–150 мг/кг для достижения урожайности овса 30–45 ц/га рекомендуют дробное применение азотных удобрений – N40–60 до посева и по N40 – в подкормку [1]. Показано, что при применении N100 до посева и N40–60 в подкормку после картофеля, идущего после удобренных озимых, можно получить урожай овса 50–60 ц/га. В работе [2] для получения урожайности овса 30–35 и 38–40 ц/га при нормальных и интенсивных технологиях рекомендуется внесение минеральных удобрений в дозах N70 и N90. В этом случае предшественниками являются озимые и пропашные культуры, под которые рекомендуется внесение органических удобрений 80 т/га. В то же время при высокой стоимости минеральных удобрений следует ориентироваться на наиболее окупаемые дозы.

Цель работы – на основе изучения влияния удобрений на содержание подвижных форм азота, их взаимосвязи с урожайностью серых лесных почв Верхневолжья разработать окупаемые дозы

минеральных удобрений под овес, идущий после удобренных навозом озимых (яровых) и пропашных культур.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Многолетний стационарный опыт заложен на серых лесных почвах в 1991–1993 гг. [3]. В опыте на фоне извести изучали эффективность как видов и доз минеральных удобрений, так и доз подстилочного навоза крупного рогатого скота и их взаимодействие. В 1-й и 2-й ротациях наблюдения вели в 8-польном севообороте со следующим чередованием культур: занятой пар (викоовсяная смесь) – озимая рожь – картофель – овес с подсевом трав – травы 1-го года пользования – травы 2-го года пользования – озимая рожь – ячмень; в 3-й и 4-й ротациях – в 7-польном. В нем исключили пропашную культуру, озимую рожь заменили на озимую (яровую) пшеницу.

Схема опыта, варианты: 1 – контроль (без удобрений и извести), 2 – известь по полной гидролитической кислотности (фон), 3 – фон + + P1K1, 4 –фон + N1P1K1, 5 – фон + N2P2K2, 6 – фон + навоз 1-я доза, 7 – фон + навоз 2-я доза, 8 – фон + навоз 3-я доза, 9 – фон + навоз 1-я доза + + P1K1, 10 – фон + навоз 1-я доза + N1P1K1, 11 – фон + навоз 1-я доза + N2P2K2, 12 – фон + навоз 2-я доза + P1K1, 13 – фон + навоз 2-я доза + + N1P1K1, 14 – фон + навоз 2-я доза + N2P2K2, 15 – фон + навоз 3-я доза + P1K1, 16 – фон + навоз 3-я доза + N1P1K1, 17 – фон + навоз 3-я доза + + N2P2K2.

Почва опытных полей – серая лесная среднесуглинистая с содержанием гумуса 2.9–4.0%, подвижного фосфора (по Кирсанову) – 130–200, обменного калия (по Масловой) – 150–180 мг/кг почвы, pH_{KCl} 5.1–5.5, $H_г$ – 3.2–3.5, сумма поглощенных оснований – 19.4–22.3 мг-экв/100 г почвы. В 3-й ротации 7-польного зернотравяного севооборота в вариантах без удобрений содержание подвижного фосфора и обменного калия сохранилось на уровне повышенной степени обеспеченности, в удобренных минеральными удобрениями вариантах – на уровне высокой и очень высокой степени обеспеченности [4].

В начале 1-й ротации провели известкование по полной гидролитической кислотности. На его фоне изучали влияние различных доз подстилочного навоза (0, 40, 60 и 80 т/га), внесенного после уборки однолетних трав, а также минеральных удобрений (без удобрений, фосфорно-калийные, одинарная и двойная дозы NPK) и их сочетания на изменение агрохимических и физико-химических свойств в слое 0–40 см почвы [3]. Во 2–4-й ротациях исследования проводили при последействии извести.

Одинарная доза NPK под зерновые культуры, однолетние и многолетние травы была равна 40 кг/га каждого элемента питания, под картофель – 60, 60 и 80 кг/га, под травы 1-го года пользования азот вносили в дозе 40 кг/га и при двойной дозе NPK [3]. Применяли $N_{аа}$, $P_{сд}$ ($P_с$) и $K_х$. Фосфорно-калийные удобрения вносили осенью под основную обработку почвы, азотные – весной под предпосевную культивацию под однолетние травы и яровые зерновые, в подкормку озимых и многолетних трав, под картофель – весной под вспашку.

Во 2-й ротации севооборота (2000–2008 гг.) под однолетние травы вместо N40P40K40 и N80P80K80 весной вносили только $N_{аа}$ в дозах N60 и N75 (PK-удобрения не применяли), а после распашки трав 2-го года пользования (2004–2006 гг.) высевали яровую пшеницу. Доза фосфорно-калийных удобрений под нее составила P60K60, одинарная доза полного минерального удобрения – N60P60K60, двойная доза – N120P120K120.

В 3-й и 4-й ротациях под озимую пшеницу после трав 2-го года пользования применяли следующие дозы удобрений: P40K40, N40P40K40, N80P80K80.

Опыт заложен на 3-х полях (закладках) в трехкратной повторности. Площадь делянки 100 м^2 (20 м × 5 м). Расположение делянок рендомизированное. Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур – общепринятая для региона. Фосфорно-калийные удобрения под яровые зерновые (овес, ячмень, пшеницу) вносили осенью поверхностно и заделывали вспашкой на глубину 20–22 см (МТЗ-82, ПЛН-3-35). Весной проводили закрытие влаги зубовыми боронами (МТЗ-82, БЗСС-3). После разбивки опыта на соответствующие делянки согласно схемы опыта поверхностно вносили $N_{аа}$, которую заделывали в почву предпосевной культивацией (МТЗ-82, КПН-4). Посев овса с подсевом трав выполняли сеялками СЗТ-3,6. Сразу после посева выполняли прикатывание почвы кольчато-шпоровыми катками (МТЗ-82, 3ККШ-6-1).

По мере необходимости проводили обработки посевов против вредителей (актара 25% в.д.г. – 0.06–0.10 кг/га) и болезней (тилт, к.э. – 0.6–0.8 л/га или альто-супер, к.э. – 0.4–0.5 л/га) [2].

В 1-й и 2-й ротациях севооборота учет урожайности овса выполняли комбайном Сампо-500 с учетной площади 44 м^2, в 3-й и 4-й – парцеллярным способом. В последнем случае с каждой делянки в 4-х местах отбирали снопы с площадки

Таблица 1. Распределение осадков, гидротермический коэффициент (ГТК) и сумма активных температур за годы исследования

Годы исследования	Осенние осадки (2-я декада сентября – 3-я декада октября), мм	Зимние и ранневесенние осадки (1-я декада ноября – 2-я декада апреля), мм	Осадки вегетационного периода (3-я декада апреля – 1-я декада сентября), мм	Сумма температур >10°С за май – 1-ю декаду сентября, °С	ГТК	Сумма осадков за год, мм
Среднемного-летние данные	93	205	296	2077	1.36	594
1993–1994	111	201	260	1731	1.48	573
1994–1995	73	245	326	2253	1.32	644
1995–1996	86	135	239	2164	1.05	460
Средние за 1-ю ротацию	90	194	275	2049	1.28	559
2001–2002	96	189	172	2087	0.82	457
2002–2003	163	171	472	2024	1.97	806
2003–2004	39	152	416	2047	1.87	607
Средние за 2-ю ротацию	99	171	353	2053	1.55	623
2008–2009	66	186	243	2228	1.09	495
2009–2010	155	182	374	2581	1.33	711
2010–2011	68	273	266	2376	1.10	607
Средние за 3-ю ротацию	96	214	294	2395	1.17	604
2015–2016	39	298	318	2347	1.28	655
2016–2017	87	239	347	1835	1.79	673
2017–2018	97	260	208	2327	0.89	514
Средние за 4-ю ротацию	74	266	291	2170	1.32	614

(парцеллы) 1 м^2. Урожайность овса рассчитывали на стандартную влажность 14%.

Во всех 4-х ротациях солому зерновых культур при сплошной уборке комбайном измельчали и запахивали. Солому овса просто измельчали.

Агрохимические анализы почвы и растений выполняли по методикам, изложенным в работе [5]. Подвижный фосфор в почве определяли по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО, обменный калий – по методу Масловой, нитратный азот – потенциометрическим методом с помощью ион-селективного электрода на нитраты, аммонийный азот – фотоколориметрическим методом в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26489). Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ STAT VIUA и EXCEL.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 1-й ротации 8-польного севооборота (1993–1996 гг.) (табл. 1) при варьировании гидротермического коэффициента (**ГТК**) от 1.05 до 1.48, суммы осадков за период вегетации от 239 до 326 мм (табл. 2), суммы активных температур от 1731 до 2253°С средняя урожайность зерна овса в вариантах без удобрений варьировала от 25.6 до 27.1 ц з.е./га (от 32.0 до 33.9 ц зерна/га) (табл. 3). Рост ГТК с 1.28 до 1.55 и среднегодовых осадков с 275 до 353 мм во 2-й ротации (2001–2004 гг.) способствовали увеличению средней урожайности овса в соответствующих вариантах с 25.6–27.1 до 33.8–34.3 ц з.е./га (до 42.2–42.9 ц зерна/га). Это совпадало с отзывчивостью этой культуры на увлажнение.

В соответствии с величинами ГТК изменялась средняя урожайность овса в 3-й и 4-й ротациях, идущего после зернового предшественника, удобренного в занятом пару. Определяющее влияние на среднюю продуктивность овса в ротациях севооборотов в неудобренных вариантах оказала величина ГТК (уравнение 1):

$$У = 19.3 + 27.3(x - 1), \quad n = 8, \quad R^2 = 0.938, \quad (1)$$

где $1.55 > x > 1.17$ – средний за ротацию гидротермический коэффициент в вегетационный период

Таблица 2. Использование влаги овсом с подсевом многолетних трав в зависимости от систем удобрения

Вариант	Запасы влаги в 1-метровом слое почвы, мм		Осадки вегетационного периода, мм	Общий расход влаги, мм	Урожай, ц з.е./га	Коэффициент водопотребления, мм/ц з.е.	Использование влаги из слоя 40–100 см почвы, мм	
	исходные	после уборки					среднее	максимальное
Овес с подсевом многолетних трав, 2002–2004 гг.								
Известкование (фон)	300	267	304	337	34.3	9.8	24	51
Фон + Нав60*	300	266	304	339	39.3	8.6	31	45
Фон + Нав60 + + N40P40K40	299	264	304	339	44.9	7.6	28	43
Фон + Нав60 + + N80P80K80	295	262	304	338	42.9	7.8	30	47
Овес с подсевом многолетних трав, 2009–2011 гг.								
Известкование (фон)	297	241	235	292	23.4	13.5	47	67
Фон + Нав60	290	232	235	294	30.6	10.9	50	71
Фон + Нав60 + + N40P40K40	295	221	235	310	36.3	9.5	59	74
Фон + Нав60 + + N80P80K80	292	233	235	295	39.0	8.7	49	63
Овес с подсевом многолетних трав, 2016–2018 гг.								
Известкование (фон)	289	240	195	244	29.8	8.1	41	56
Фон + Нав60	295	230	195	260	34.4	7.5	48	54
Фон + Нав60 + + N40P40K40	290	230	195	255	41.5	6.1	55	61
Фон + Нав60 + + N80P80K80	291	227	195	259	42.9	6.0	53	61

*Нав – навоз, т/га. То же в табл. 3, 5–7.

возделывания овса (табл. 1), У – средняя продуктивность овса в соответствующей ротации севооборота в вариантах 1 и 2 (табл. 3), ц з.е./га.

Известно [3], что в отсутствие обменного алюминия в токсичных для растений концентрациях (<3–5 мг/100 г почвы) корневые системы возделываемых культур на серых лесных почвах ополья могут проникать в подпахотные горизонты и использовать из них влагу и элементы питания. Это отмечено и для овса. Показано (табл. 1, 2), что в более влажные годы (2002–2004 гг.) средние размеры потребления влаги из слоев 40–100 см варьировали от 24 до 31 мм. Однако в засушливые 2001–2002 гг. 2-й ротации севооборота поглощение влаги из указанных слоев изменялось от 43 до 51 мм. Наиболее высокие средние и максимальные размеры потребления влаги овсом наблюдали в 3-й ротации 7-польного севооборота при среднем ГТК = 1.17.

В засушливые годы (2009–2011 гг.) установлены и наиболее высокие величины расхода влаги на создание 1 ц з.е. (8.7–13.5 мм/ц з.е.). При ГТК = = 1.32 наблюдали более эффективное использование выпадающих за вегетационный период осадков и запасов почвенной влаги (6.0–8.1 мм/ц з.е.). При большем увлажнении (2002–2004 гг.) размеры использования влаги на создание 1 ц з.е. основной продукции вновь возрастали. Применяемые удобрения, особенно полное минеральное, обеспечивали более экономичное расходование влаги на создание 1 ц з.е. основной продукции (табл. 2).

В соответствии с погодными условиями урожайность этой культуры в 7-польном севообороте по сравнению с 8-польным севооборотом в вариантах без применения удобрений снизилась с 30.0–30.4 до 26.6 ц з.е./га. Однако в вариантах с применением полного минерального удобрения и сочетания его с последействием органических удобрений она не уменьшилась или несколько возросла. В итоге практически во всех вариантах окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений

Таблица 3. Влияние удобрений на урожайность зерна овса (ц з.е./га) и их окупаемость

Вариант	8-польный зернотравянопропашной севооборот			7-польный зернотравяной севооборот			Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений 1 кг з.е.	
	1-я ротация, 1994–1996 гг.	2-я ротация, 2002–2004 гг.	Среднее	3-я ротация, 2009–2011 гг.	4-я ротация, 2016–2018 гг.	Среднее	1-я и 2-я ротации	3-я и 4-я ротации
1. Контроль	27.1	33.8	30.4	23.8	29.5	26.6	–	
2. Известь (фон)	25.6	34.3	30.0	23.4	29.8	26.6	–	
3. PK	27.5	36.2	31.8	23.9	31.6	27.8	2.2	1.5
4. NPK	33.7	41.8	37.8	31.9	40.5	36.2	6.5	8.0
5. 2 NPK	36.0	42.3	39.2	38.3	41.4	39.8	3.8	5.5
6. Навоз 40 т/га (Нав40)	27.6	37.8	32.7	28.1	32.3	30.2	–	
7. Нав60	31.3	39.3	35.3	30.6	34.4	32.5	–	
8. Нав80	29.3	38.4	33.8	29.0	36.5	32.8	–	
9. Нав40 + PK	28.4	38.6	33.5	28.8	32.8	30.8	4.4	5.2
10. Нав40 + NPK	35.4	42.8	39.0	36.0	41.8	38.9	7.5	10.2
11. Нав40 + 2NPK	38.1	42.6	40.4	40.3	43.5	41.9	4.3	6.4
12. Нав60 + PK	28.5	40.1	34.3	30.8	35.8	33.3	5.4	8.4
13. Нав60 + NPK	36.1	44.9	40.5	36.3	41.5	38.9	8.8	10.2
14. Нав60 + 2NPK	36.6	43.0	39.8	39.0	42.9	41.0	4.1	6.0
15. Нав80 + PK	30.8	40.4	35.6	30.7	38.7	34.7	7.0	8.8
16. Нав80 + NPK	36.2	41.1	38.6	36.5	42.7	39.6	7.2	10.8
17. Нав80 + 2NPK	36.8	43.4	40.1	39.9	43.6	41.8	4.2	6.3
$НСР_{05}$, ц з.е./га	1.5	5.1	3.3	2.8	2.5	2.6		

Примечания. 1. Варианты с 3-го по 17-й – на фоне внесения извести. 2. Урожайность зерна овса в ц/га в 1.25 раза больше, чем в ц з.е./га. 3. Нумерация вариантов та же в табл. 5–7.

Таблица 4. Математические зависимости взаимосвязи систем удобрения и урожайности зерна овса (ц з.е./га)

Годы исследования	Уравнение взаимосвязи (n = 17)	R	R^2
1994–1996	$27.3 + 0.039x_1 + 0.115x_2$	0.953	0.909
	$26.9 + 0.038x_1 + 0.2261x_2 - 0.0015x_2^2$	0.980	0.959
2002–2004	$36.4 + 0.042x_1 + 0.068x_2$	0.854	0.729
	$34.7 + 0.056x_1 + 0.194x_2 + 0.040x_3 - 0.0017x_2^2 - 0.0007x_1x_2$	0.957	0.916
2009–2011	$25.3 + 0.066x_1 + 0.146x_2$	0.967	0.935
	$23.6 + 0.788x_1^{0.5} + 1.55x_2^{0.5} - 0.058(x_1x_2)^{0.5}$	0.990	0.980
	$23.7 + 0.165x_1 + 0.248x_2 - 0.001x_1^2 - 0.0009x_2^2 - 0.0008x_1x_2$	0.994	0.989
2016–2018	$31.6 + 0.062x_1 + 0.122x_2$	0.927	0.859
	$30.4 + 0.058x_1 + 0.173x_2 + 0.135x_3 - 0.0023x_3^2$	0.976	0.953

Примечание. x_1 – последействие доз навоза, внесенных в занятом пару, т/га; x_2 – доза внесения под овес азотных удобрений, кг N/га; x_3 – доза внесения под овес фосфорно-калийных удобрений в расчете на P_2O_5, кг/га.

прибавкой зерна овса (кг з.е.) в 3-й и 4-й ротациях была больше, чем в 1-й и 2-й.

Как на фоне последействия органических удобрений, так и при самостоятельно внесенном полном минеральном удобрении наиболее окупаемым было применение его одинарной дозы. На фоне внесения органических удобрений окупаемость минеральных удобрений была заметно

Таблица 5. Влияние удобрений на средние запасы нитратного и аммонийного азота под посевами овса в период его вегетации в слое 0–40 см почвы в 1-ю и 2-ю ротации 8-польного зернотравянопропашного севооборота

Вариант, №	Запасы $N\text{-}NO_3$, кг/га			Размеры снижения запасов $N\text{-}NO_3$ от всходов до выметывания метелки	Запасы $N\text{-}NH_4$, кг/га			Размеры снижения запасов $N\text{-}NH_4$ от всходов до выметывания метелки
	всходы (нитратная составляющая $МФ_N$)	выметывание метелки	уборка		всходы	выметывание метелки	$N\text{-}NH_4$-составляющая $МФ_N$	
1	59	25	31	0.58	114	100	24	0.12
2	68	14	32	0.79	118	104	18	0.12
3	68	15	32	0.78	118	104	18	0.12
4	128	33	55	0.74	130	105	34	0.19
5	211	81	83	0.62	127	101	42	0.20
6	64	16	37	0.75	132	117	20	0.11
7	70	18	36	0.74	136	110	35	0.19
8	78	28	38	0.64	137	113	37	0.18
9	64	17	37	0.73	135	118	23	0.13
10	148	26	74	0.82	143	113	38	0.22
11	202	67	79	0.67	146	120	39	0.18
12	71	21	40	0.70	125	108	24	0.14
13	150	37	52	0.75	140	117	30	0.16
14	192	76	47	0.60	130	109	35	0.16
15	85	21	5	0.75	135	116	25	0.14
16	149	32	70	0.79	143	117	33	0.18
17	204	63	83	0.69	146	123	33	0.16

Примечания. 1. $N\text{-}NH_4$-составляющая $МФ_N$ соответствует запасам аммонийного азота в жидкой фазе в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации овса (всходы). 2. Объемную массу в слое 0–20 см почвы принимали равной 1.30, в слое 20–40 см – 1.44 г/см^3.

больше, чем одних минеральных. Например, в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота средняя окупаемость 1 кг д.в. полного минерального удобрения N40P40K40 прибавкой урожая овса составила 6.5 кг з.е. На фоне разных доз навоза для этой дозы NPK она возросла до 7.2–8.8 кг з.е./кг д.в. В 3-й и 4-й ротациях этот показатель в вариантах с последействием навоза возрос до 10.2–10.8 при 8.0 кг з.е./кг д.в. без навоза. Окупаемость одних фосфорно-калийных удобрений и двойной дозы NPK была существенно более низкой, чем одинарной дозы NPK.

Корреляционно-регрессионный анализ подтвердил решающее влияние азота минеральных и органических удобрений на урожайность овса (табл. 4). На последействие органических, действие азота минеральных удобрений и их сочетания приходилось от 73 до 98% вариации урожайности этой культуры. При этом установлено, что положительное действие и последействие навоза на продуктивность возделываемых культур севооборотов было обусловлено преимущественно улучшением их азотного питания [6, 7].

В связи с этим были обобщены данные о динамике содержания нитратного и аммонийного азота как в течение вегетации овса, так и в ротациях севооборотов, изучена взаимосвязь их запасов с урожайностью культуры (табл. 5). Представлены данные о влиянии удобрений на запасы разных форм азота в серой лесной почве в течение вегетации овса за 1-ю и 2-ю ротации 8-польного севооборота. В вариантах контроля и фона известкования в слое 0–40 см почвы запасы нитратного азота в ранний период вегетации (всходы овса) составляли 59–68 кг/га. Применение PK-удобрений не изменяло их, а внесение возрастающих доз NPK (варианты 4, 5) повысило запасы нит-

Таблица 6. Влияние удобрений на средние запасы нитратного и аммонийного азота под посевами овса в течение его вегетации в слое 0–40 см почвы в 3-й и 4-й ротациях 7-польного зернотравяного севооборота

Вариант №	Запасы $N\text{-}NO_3$, кг/га			Размеры снижения запасов $N\text{-}NO_3$ от всходов до выметывания метелки	Запасы $N\text{-}NH_4$, кг/га			Размеры снижения запасов $N\text{-}NH_4$ от всходов до выметывания метелки
	всходы ($N\text{-}NO_3$-составляющая $МФ_N$)	выметывание метелки	уборка		всходы–выметывание метелки	уборка	$N\text{-}NH_4$- составляющая $МФ_N$	
1	37	16.4	23.0	0.56	80.4	62.3	32	0.22
2	40	18.1	24.2	0.54	84.5	69.7	27	0.18
3	44	17.6	20.6	0.60	85.0	69.2	26	0.19
4	92	23.4	36.7	0.74	90.4	73.6	23	0.19
5	142	40.2	55.2	0.72	98.0	70.2	39	0.28
6	45	16.8	31.4	0.63	87.2	80.2	11	0.08
7	49	19.3	33.4	0.61	83.2	76.0	12	0.09
8	58	19.2	36.4	0.67	84.6	78.0	10	0.08
9	54	17.4	28.7	0.68	85.8	79.0	10	0.08
10	97	31.3	39.6	0.68	88.9	68.2	31	0.23
11	158	39.4	59.0	0.75	90.2	67.9	30	0.25
12	56	19.8	32.4	0.65	82.9	74.0	14	0.11
13	98	30.6	38.5	0.69	92.9	71.0	32	0.24
14	151	40.6	55.2	0.73	103	77.8	35	0.25
15	65	20.6	35.0	0.68	80.8	67.8	19	0.16
16	114	30.8	48.0	0.73	97.3	74.7	31	0.23
17	170	45.0	62.6	0.74	108	80.4	38	0.26

Примечание. $N\text{-}NH_4$-составляющая $МФ_N$ соответствует запасам аммонийного азота в жидкой фазе в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации овса (всходы).

ратного азота до 128 и 211 кг/га соответственно. На 2-й год последействия (после картофеля) навоз слабее увеличивал запасы этой формы азота (с 59–68 до 64–78 кг/га). Сочетание последействия органических удобрений с внесением N40P40K40 по сравнению с одними минеральными удобрениями обеспечивало рост запасов $N\text{-}NO_3$ со 128 до 148–150 кг/га. При сочетании двойной дозы NPK с последействием навоза по сравнению с одними минеральными удобрениями этот показатель не увеличивался.

К периоду выметывания метелки из-за интенсивного потребления нитратов запасы этой формы азота закономерно снижались во всех вариантах опыта (до 14–81 кг/га), к уборке вновь несколько возрастали (до 31–83 кг/га). Размеры снижения запасов $N\text{-}NO_3$ от всходов до выметывания метелки варьировали от 58 до 82%.

Запасы аммонийного азота в слое 0–40 см почвы во время всходов варьировали от 114 до 146 кг/га. К периоду выметывания метелки они снижались в вариантах опыта всего на 11–22%, вновь увеличивались после уборки овса. Очевидно, снижение запасов аммонийного азота от всходов до выметывания метелки происходило за счет поглощения ионов аммония из жидкой фазы почвы. При этом долю снижения запасов нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе в каждом варианте опыта считали одинаковой и равной снижению запасов нитратного азота за указанный период. Следовательно, разделив размеры снижения запасов аммонийного азота от всходов до выметывания метелки на долю снижения запасов нитратного азота, получили средние исходные запасы аммонийного азота в жидкой фазе в период всходов овса. Суммируя эти запасы с запасами нитратного азота в период всходов, получили запасы азота в жидкой фазе в ранний период вегетации овса, т.е. мобильный фонд азота (**$МФ_N$**).

Такие же расчеты выполнены и для 3-й и 4-й ротаций 7-польного зернотравяного севооборота (табл. 6), когда овес высевали после удобренных навозом озимых (яровых) культур. Для 7- и 8-польно-

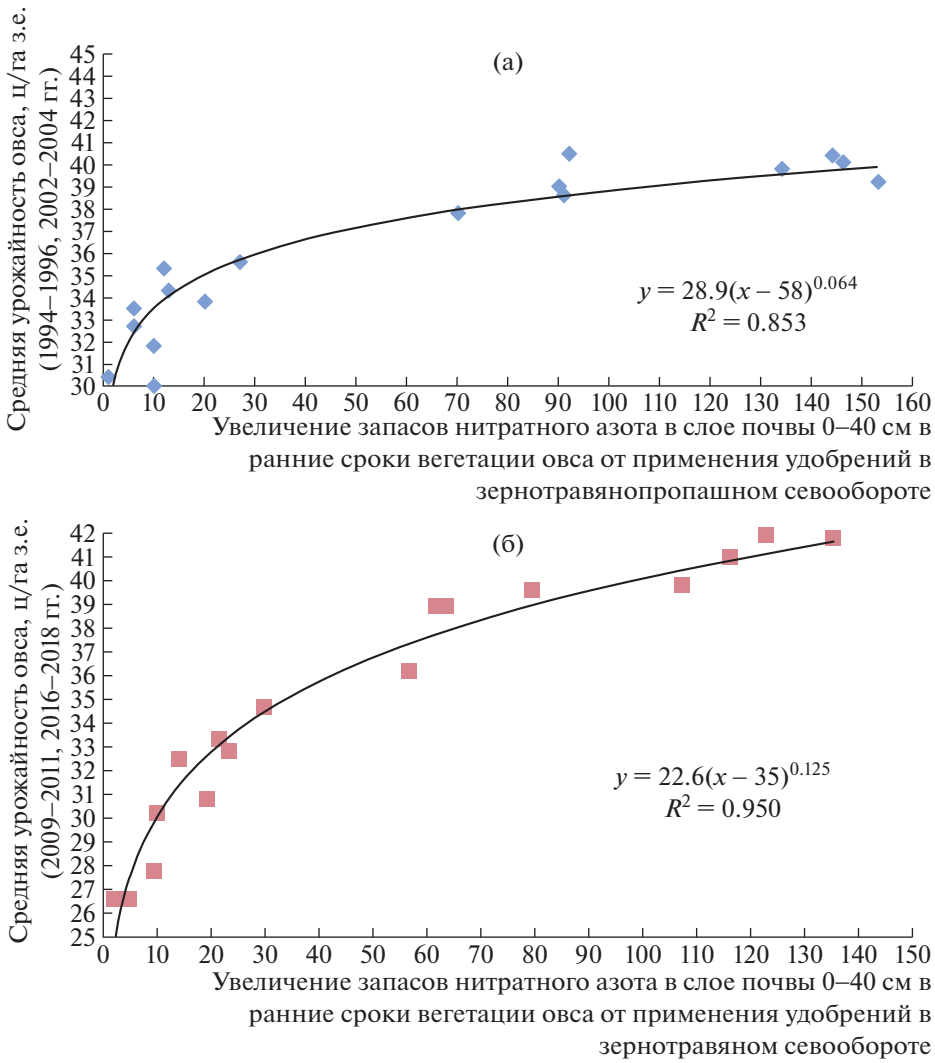

Рис. 1. Взаимосвязь средней урожайности зерна овса (ц з.е./га): (а) – в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота, (б) – в 3-й и 4-й ротациях 7-польного севооборота с запасами нитратного азота в ранние сроки вегетации культуры (x, кг/га).

го севооборотов получены близкие размеры снижения запасов $N\text{-}NO_3$ за период всходы–выметывание метелки. Но для 7-польного севооборота наблюдали более высокие относительные размеры снижения запасов $N\text{-}NH_4$ (за исключением вариантов 6–9, 12 и 15). В последних вариантах испытывали последействие органических удобрений и их сочетание с РК-удобрениями. В 7-польном севообороте запасы нитратного и аммонийного азота в ранний период вегетации овса были более низкими, чем в 8-польном севообороте. Более низкие запасы $N\text{-}NH_4$ способствовали повышению коэффициентов их использования овсом. Лишь в вариантах 6–9, 12 и 15 минерализация навоза 1-го года последействия вела к пополнению запасов $N\text{-}NH_4$, что снижало размеры уменьшения их запасов во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м.

Показано, что аммонийная составляющая мобильного фонда азота (запасы $N\text{-}NH_4$) в жидкой фазе серой лесной почвы при применении азотных удобрений была в несколько раз меньше нитратной составляющей $МФ_N$, что свидетельствовало о решающей роли запасов нитратного азота в получении высоких урожаев овса.

В работах [3, 6, 7] было установлено, что средняя продуктивность севооборота по степенной или гиперболической зависимостям увеличивалась с ростом средних запасов нитратного азота в ранний период вегетации возделываемых культур и мобильного фонда азота. Поэтому была изучена возможность описания взаимосвязи средней

Таблица 7. Влияние удобрений на взаимосвязь между мобильным фондом азота и выносом его основной и побочной продукцией в 3-й и 4-й ротациях 7-польного севооборота

Вариант, №	Мобильный фонд азота	Вынос азота основной и побочной продукцией	Отношение выноса азота основной и побочной продукцией	
	кг/га		к $МФ_N$	к запасам $N\text{-}NO_3$ в ранний срок
1	70	83	1.19	2.24
2	67	80	1.19	2.00
3	71	85	1.20	1.93
4	114	113	0.99	1.23
5	181	147	0.81	1.04
6	56	95	1.70	2.11
7	61	105	1.72	2.14
8	68	108	1.59	1.86
9	64	96	1.50	1.78
10	128	135	1.06	1.39
11	188	154	0.82	0.98
12	70	107	1.53	1.91
13	130	140	1.08	1.43
14	186	159	0.85	1.05
15	84	114	1.36	1.75
16	145	140	0.97	1.23
17	208	165	0.79	0.97

продуктивности овса в 8- и 7-польном севооборотах со средними запасами нитратного азота в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации и величинами $МФ_N$.

Для 8-польного севооборота ≈85% вариации урожайности овса приходилось на изменение запасов нитратного азота в слое 0–40 см почвы и ≈91% – на изменение мобильного фонда азота (рис. 1, 2). В 7-польном севообороте 95% вариации урожайности овса было обусловлено запасами нитратного азота и для 11-ти вариантов 98% вариации – мобильным фондом азота.

Для вариантов с последействием органических удобрений и сочетанием их с РК-удобрениями для одних и тех величин $МФ_N$ получена более высокая урожайность овса (рис. 2), чем следует из установленной степенной зависимости от указанного показателя. Как уже было выше сказано, это обусловлено повышающим урожайность овса дополнительным поступлением минерального азота за счет минерализации навоза, внесенного под предшественник.

Для оценки эффективности использования растениями элементов питания удобрений применяют балансовый коэффициент ($\boldsymbol{K_б}$) их использования [4]. Он представляет отношение выноса элемента питания возделываемой культурой к дозе его внесения с удобрением. При $K_б = 1$ элемент питания используется полностью, при $K_б > 1$ происходит дополнительное поглощение его из почвы, что ведет к снижению ее плодородия; при $K_б < 1$ наблюдается обогащение им почвы. Эти же положения верны и для мобильного фонда азота, который выступает в качестве дозы азота, формирующейся в ранний период вегетации культуры.

Показано (табл. 7), что в вариантах без внесения азотных удобрений или навоза (варианты 1–3) $МФ_N$, созданный в начале вегетации овса, был недостаточен для обеспечения полного выноса азота урожаем. Особенно заметно это выявлялось при последействии органических удобрений (варианты 6–8) и их сочетании с РК-удобрениями (варианты 9, 12, 15). Это указывало на то, что недостающиеся количества азота овес поглощает в процессе вегетации из почвы, в которую он поступает в результате трансформации органических форм азота в минеральные. Однако закладка репродуктивных органов овса происходит в ранние фазы его вегетации. Поэтому недостаток азо-

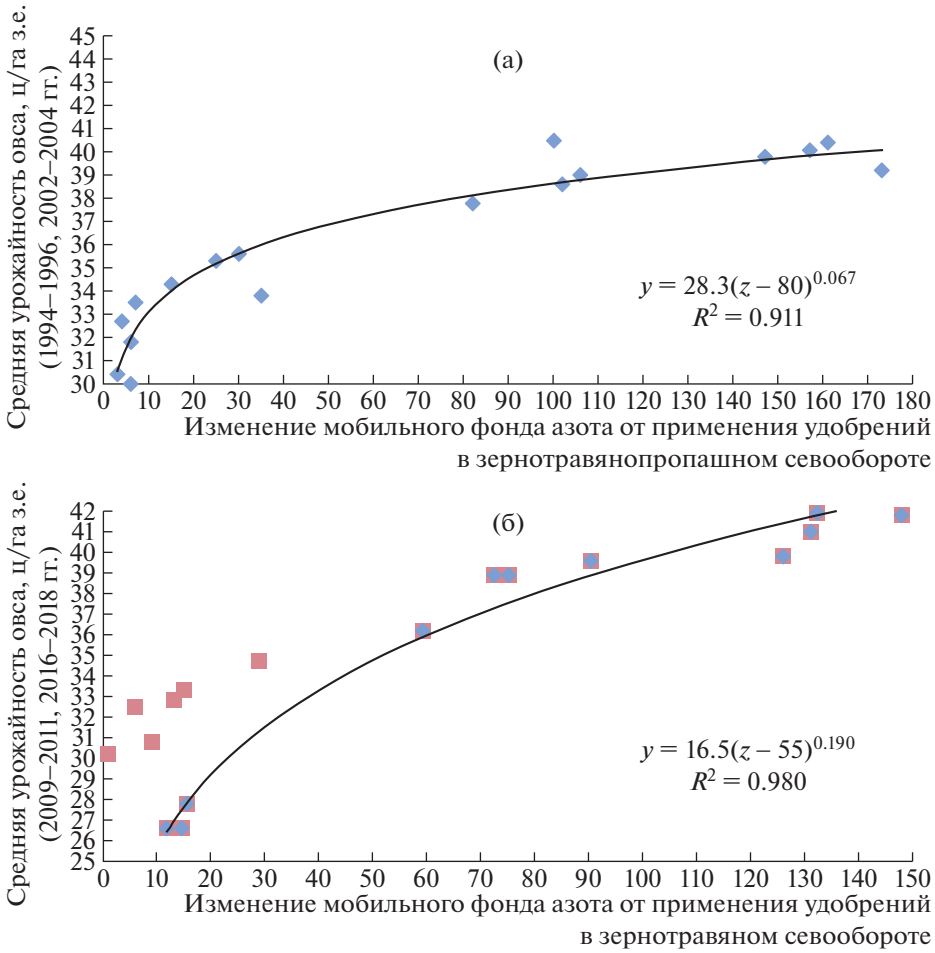

Рис. 2. Взаимосвязь средней урожайности зерна овса (ц з.е./га): (а) – в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота, (б) – в 3-й и 4-й ротациях 7-польного севооборота с мобильным фондом азота (z, кг/га).

та в этот период препятствует значительному росту урожайности культуры и соответственно выносу ей азота. Например, без применения азотных удобрений вынос азота овсом изменялся от 80 до 85 кг/га, в вариантах последействия навоза – от 95 до 108 кг/га, а при сочетании последействия органических с РК-удобрениями – от 96 до 114 кг/га.

При применении полного минерального удобрения и сочетании его с последействием органических вынос азота увеличивался до 113–165 кг/га. В этом случае отношение выноса азота основной и побочной продукцией к мобильному фонду азота было <1.1.

В работах [3, 6] в целом для севооборота установлено оптимальное отношение выноса азота культурами к величине $МФ_N$, которое находилось в пределах 0.95–1.29. Однако для овса оно было >0.97, но <1.10. Оно обеспечивалось применением под овес дозы N40P40K40 и сочетанием этой дозы NPK с последействием навоза. Бездефицитный баланс элементов питания должен устанавливаться в целом за ротацию севооборота [8].

В настоящее время широко применяют экспресс-метод определения нитратного азота, с ростом запасов которого в почве увеличивается урожайность овса (рис. 2), с помощью ион-селективного нитратного электрода. Поэтому определили и оптимальное отношение выноса азота основной и побочной продукцией к запасам нитратного азота в ранний период вегетации овса (слой 0–40 см почвы). Оно было >1.23, но <1.43 (табл. 7), что следует учитывать при почвенной диагностике минерального питания овса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на серых лесных почвах Верхневолжья в течение 4-х ротаций 8- и 7-польного севооборотов изучено влияние действия минеральных удобрений под овес, идущий после зер-

новых и пропашных культур с разным уровнем применения навоза, на урожайность зерна овса и запасы минеральных форм азота в слое 0–40 см почвы. Выявлена решающая роль азота, вносимого в составе NPK, и последействия органических удобрений на его урожайность. При высокой и очень высокой степени обеспеченности почвы подвижным фосфором и обменным калием она проявлялась через увеличение в почве в ранний период вегетации овса запасов нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе, сумма которых представляла мобильный фонд азота. Между урожайностью овса и запасами нитратного азота в слое 0–40 см почвы в этот период установлена тесная степенная зависимость. Такая же связь отмечена между первым показателем и мобильным фондом азота.

На серых лесных почвах Верхневолжья при применении дозы N40P40K40 окупаемость 1 кг д.в. была более высокой (6.5–8.0 кг з.е./кг д.в.), чем при использовании двойной дозы NPK (3.8–5.5 кг з.е./кг д.в.) и одних фосфорно-калийных удобрений (1.5–2.2 кг з.е./кг д.в.). После удобренных навозом предшественников окупаемость 1 кг д.в. N40P40K40 повышалась с 6.5–8.0 до 7.2–10.8 кг з.е.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ненайденко Г.Н.* Рациональное применение удобрений в условиях рыночной экономики. Иваново, 2007. 350 с.
2. *Ильин Л.И., Окорков В.В., Ненайденко Г.Н.* Новые высокопродуктивные технологии возделывания овса в агроценозах Верхневолжья. Владимир, 2011. 40 с.
3. *Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А.* Удобрения и тренды в плодородии серых лесных почв Верхневолжья // Верхневолжский ФАНЦ. Иваново: ПресСто, 2018. 228 с.
4. Системы земледелия / Под ред. Сафонова А.Ф. М.: КолосС, 2006. 447 с.
5. Практикум по агрохимии / Под ред. Кидина В.В. М.: КолосС, 2008. 599 с.
6. *Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А.* Приемы комплексного использования средств химизации в севообороте на серых лесных почвах Верхневолжья в агротехнологиях различной интенсивности. Суздаль: ВладимирНИИСХ, 2017. 176 с.
7. *Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А.* Влияние запасов минеральных форм азота в серых лесных почвах ополья на продуктивность севооборотов // Агрохимия. 2016. № 1. С. 17–26.
8. *Окорков В.В.* Оптимизация доз применения удобрений на серых лесных почвах Верхневолжья // Владимир. земледелец. 2018. № 1(83). С. 5–13.

Influence of Fertilizers on the Content of Mobile Forms of Nitrogen and Yield of Oats on Gray Forest Soils of the Upper Volga Region

V. V. Okorkov[a,#], O. A. Fenova[a], and L. A. Okorkova[a]

[a] *Upper Volga Federal Agricultural Research Center*
p. Noviy, Suzdal district, Vladimir region 601261, Russia

[#] *E-mail: okorkovvv@yandex.ru*

On gray forest soils of the upper Volga region during 4 rotations of 8- and 7-field crop rotations, the effect of mineral fertilizers for oats, coming after grain and tilled crops with different levels of manure application, on the grain yield of oats and reserves of mineral forms of nitrogen in the layer of 0–40 cm of soil was studied. To increase its yield the decisive role of the nitrogen applied in the composition of NPK, and the residual effect of cattle manure revealed. It was manifested through an increase in the soil reserves of nitrate and ammonium nitrogen in the liquid phase in the early vegetation period of the crop, the sum of which is the mobile nitrogen fund. A close power relationship between the yield of oats, on the one hand, and the reserves of nitrate nitrogen and its mobile fund, on the other, during this period, was established. It was found that the use of dose N40P40K40 on the studied soils was the most recouped (6.5–8.0 kg g.u./kg a.s.) than a double dose of NPK and some phosphorus-potassium fertilizers. After manure-fertilized predecessors, the payback of 1 kg of a.s. N40P40K40 increased by 1.1–1.35 times.

Key words: gray forest soil, oats, mineral fertilizers, the residual effect of manure, the use of moisture oats, the stocks variation of nitrate and ammonium nitrogen during the growing season, removal of nitrogen by oats.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 14–19

УДК 631.416.3:631.445.41:631.582

КАЛИЙНЫЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО ПРИ ЕГО ДЛИТЕЛЬНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В РАЗЛИЧНЫХ АГРОЭКОСИСТЕМАХ

© 2020 г. В. И. Лазарев[1,*], Р. И. Лазарева[1], Б. С. Ильин[1], Н. Н. Боева[1]

[1] *Курский федеральный аграрный научный центр 305021 Курск, ул. Карла Маркса, 70б, Россия*

**E-mail: vla190353@yandex.ru*

Поступила в редакцию 05.04.2019 г.
После доработки 24.04.2019 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

Длительное (50 лет) сельскохозяйственное использование чернозема типичного под различными видами полевых севооборотов и бессменными посевами без внесения удобрений не приводило к значительному изменению содержания подвижного калия в слое 0–40 см в сравнении с исходным его содержанием, несмотря на значительный вынос урожаями сельскохозяйственных культур. В вариантах с внесением 4 т навоза и минеральных удобрений в дозе К50 на 1 га севооборотной площади содержание обменного калия увеличивалось на 1.32–1.70 мг/100 г почвы в зависимости от вида севооборота. Это свидетельствовало о том, что в мощных черноземах калий, внесенный с минеральными и органическими удобрениями, быстро фиксировался почвой и в условиях периодически промывного водного режима не вымывался глубже подпахотного горизонта.

Ключевые слова: калийный режим, чернозем типичный, длительное сельскохозяйственное использование, агроэкосистемы, севооборот, бессменные посевы.

DOI: 10.31857/S000218812002009X

ВВЕДЕНИЕ

Длительное сельскохозяйственное использование черноземов и дальнейшее наращивание темпов производства растениеводческой продукции требует решения вопросов количественной оценки круговорота и баланса питательных веществ, динамики содержания основных элементов минерального питания растений в различных агроценозах [1, 2]. В формировании почвенного плодородия важная роль принадлежит калию, содержание и запасы которого определяют агрохимические ценные свойства и продуктивность почв в целом [3–5].

Калий является одним из основных макроэлементов минерального питания растений, который участвует в процессах синтеза и оттока углеводов в растениях, определяет водоудерживающую способность клеток и тканей, влияет на устойчивость растений к засухе и целому комплексу неблагоприятных факторов [6, 7].

Содержание валового калия в почвах больше, чем азота и фосфора вместе взятых – до 2–3% (30–50 т/га в пахотном слое) и зависит от минералогического, гранулометрического составов и содержания гумуса [8, 9].

Черноземы типичные характеризуются сравнительно высоким содержанием валового калия. Содержание его в пахотном слое почвы составляет 1.7–1.8%, с глубиной в 1-метровом профиле количество валового калия уменьшается до 1.3–1.4% [10]. Уровень обеспеченности почвы калием определяется не только валовыми его запасами, но и в еще большей степени наличием подвижных соединений калия, а также культурным состоянием поля.

Исследованиями [6, 11] установлено, что оптимальное содержание подвижных форм калия в пахотном слое чернозема оподзоленного составляет 100–140, чернозема выщелоченного – 120–150, чернозема типичного – 140–160, чернозема обыкновенного – 170–180 мг/кг.

Известно, что внесение навоза и калийных удобрений оказывает существенное влияние на обеспеченность почвы калием и зависит от количества внесенных калийных удобрений и длительности их применения. В свою очередь режим калия в агроландшафтах зависит и от насыщенности севооборотов пропашными культурами, которые выносят основную часть запаса элемента и снижают содержание его подвижных форм [12]. Установлено, что для бездефицитного баланса

Таблица 1. Содержание (исходное) валового, обменного и необменного калия в черноземе типичном

Глубина, см	Валовой калий, %	Необменный калий по Гедройцу		Обменный калий по Масловой	
		мг/100 г	% от валового	мг/100 г	% от валового
0–10	1.88	215	11.4	14.4	0.8
10–20	1.91	191	10.0	14.4	0.7
20–30	1.98	179	9.0	13.5	0.7
30–40	1.80	273	12.6	13.5	0.7
40–50	1.80	227	12.0	13.6	0.7
50–60	1.88	203	10.7	13.8	0.7
60–70	1.88	215	11.4	14.0	0.7
70–80	1.94	204	10.5	13.3	0.7
80–90	1.88	203	10.7	13.5	0.7
90–100	1.94	215	11.0	13.8	0.7

калия необходимо вносить в среднем K90–180 на 1 га севооборотной площади. Однако трансформация различных форм калия в почве имеет сугубо региональный характер [13]. Следует отметить, что практически во всех типах почв калийные удобрения, независимо от дозы, повышают содержание подвижного калия, причем его накопление происходит не только в пахотном горизонте, но и на глубине 30–50 см и даже за пределами 1-метрового слоя [14, 15].

В этой связи определение потенциальных почвенных запасов доступного растениям калия, изменение их содержания в многолетней динамике в черноземе типичном при его интенсивном сельскохозяйственном использовании позволяет контролировать плодородие почвы, обоснованно и активно вмешиваться в круговорот и баланс питательных веществ в различных агроэкосистемах. Цель работы – изучение калийного режима чернозема типичного в различных агроэкосистемах при длительном сельскохозяйственном использовании почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в стационарном опыте лаборатории технологий возделывания полевых культур и агроэкологической оценки земель Курского федерального аграрного научного центра в течение 50 лет. Изучали динамику содержания обменного калия в черноземе типичном мощном, в севооборотах коротких ротаций с различным насыщением их зерновыми, пропашными культурами и многолетними бобовыми травами, а также в бессменных посевах на 2-х фонах: без удобрений и с внесением за ротацию минеральных удобрений в количестве N200P250K250 и навоза 20 т/га. Опыты заложены в трехкратной повторности, общая площадь делянки – 370 м^2, учетная – 200 м^2. Полевые работы на опытном участке проводили в лучшие агротехнические сроки и в основном такими же машинами и орудиями, которые используют в производственных условиях.

Почва опытного участка – чернозем типичный мощный тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Содержание гумуса в пахотном слое – 6.2, в слое 80–100 см – 2.4–3.2%. Плотность пахотного слоя – 1.05–1.0 г/см^3, общая порозность – 58–63%, сумма поглощенных оснований – 32.9–33.9 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности почвы основаниями – 88.9–90.1%. Содержание подвижного фосфора (по Чирикову) – 14.5–14.6, обменного калия (по Масловой) – 14.5 мг/100 г почвы.

В пробах почвы содержание валового калия определяли по методу Труора–Майера мокрым озолением почвы в смеси серной и хлорной кислот с последующим отделением железа по Уоррену–Пью, обменный калий – по Масловой (ГОСТ 26204–91), необменный калий – по Гедройцу. Для обработки экспериментальных данных применяли дисперсионный метод математического анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исходное содержание валового калия в типичном мощном черноземе стационарного опыта, развитом на суглинках и глинах четвертичного периода, составляло ≈1.9%, причем с глубиной его содержание практически не менялось (табл. 1).

Количество необменного калия по Гедройцу по профилю почвы также менялось незначительно. Доля необменного калия от валового в слое 0–10 см составляла 11.4, в слое 90–100 см – 11.0%. Отмечали значительный резерв необменного калия по всему профилю чернозема типичного.

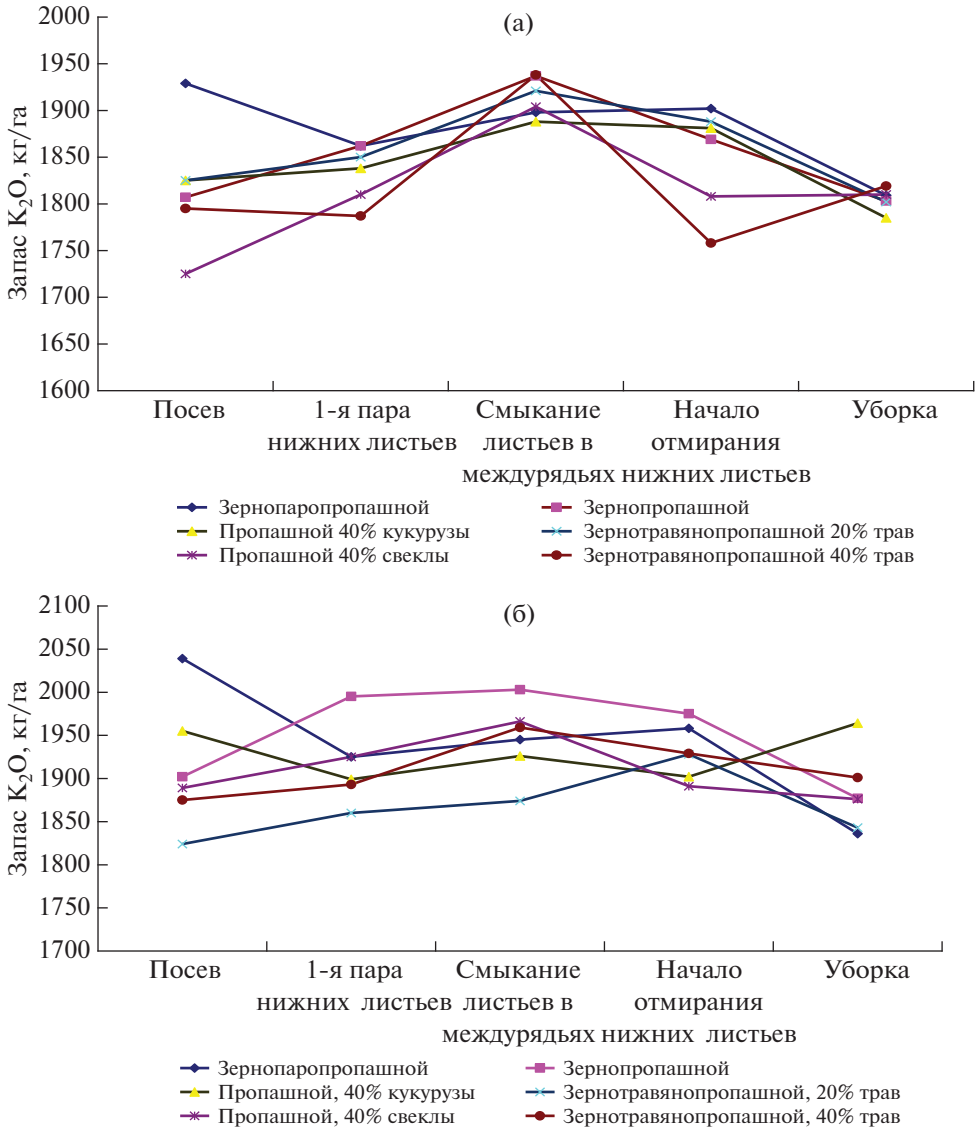

Рис. 1. Динамика запасов обменного калия в 1-метровом слое почвы под сахарной свеклой в различных видах полевых севооборотов: (а) – без удобрений, (б) – с применением удобрений.

Многолетними исследованиями установлено [12, 13], что при возделывании культур, отличающихся высоким выносом калия, в настоящее время содержание этого элемента лимитирует получение высоких урожаев сахарной свеклы, картофеля, кукурузы.

Содержание обменного калия подвержено значительным изменениям, как по годам, так и в течение вегетационного периода сельскохозяйственных культур. Отмечено, что динамика содержания обменного калия в почве под сельскохозяйственными культурами в течение вегетационного периода зависела от биологических особенностей возделываемых культур и погодных условий. Наблюдения за динамикой содержания обменного калия (по Масловой) под посевами сахарной свеклы показали, что запасы его в 1-метровом слое почвы увеличивались от посева до фазы смыкания листьев в междурядьях, достигая максимума, а затем постепенно уменьшались до уборки урожая. Ко времени уборки сахарной свеклы запасы обменного калия в 1-метровом слое почвы были практически равными или несколько больше, чем его весенние запасы (рис. 1).

Внесение минеральных удобрений увеличивало запасы обменного калия в 1-метровом слое почвы, динамика его содержания оставалась такой же, как и в неудобренных вариантах.

Характер динамики содержания обменного калия в отдельные годы был неодинаковым. Во влажные годы динамика содержания обменного калия была выражена слабо, содержание ка-

Таблица 2. Баланс калия в системе почва–растение–удобрение в различных видах полевых севооборотов за 10 ротаций

Севооборот	Исходный запас K_2O в почве, кг/га	Поступило с удобрениями, семенами, корневыми и пожнивными остатками, кг K_2O /га	Запас K_2O в почве в конце 10-й ротации, кг/га	Вынос K_2O основной и побочной продукцией, кг/га	Разница в запасах K_2O в почве за 10 ротаций, кг/га	Мобилизировано K_2O из почвы, кг/га
Зернопропашной	750	1940	795	4290	+45	–2348
	757	5260	846	5340	+89	–74
Зернопаропропашной	758	1920	781	4690	+23	–2769
	768	5150	844	5220	+76	–67
Пропашной, 40% кукуруза	751	2130	793	3850	+42	–1719
	756	5170	852	5170	+96	–6
Зернотравянопропашной	747	2340	780	4260	+33	–1921
	756	5530	832	5060	+76	+469
Пропашной, 40% сахарная свекла	751	2120	752	5120	+1	–3005
	751	5280	824	6630	+73	–1352
Зернотравянопропашной, 40% многолетние травы	761	1940	776	3850	+15	–1904
	762	5240	831	5120	+69	118

Примечание. Над чертой – без удобрений, под чертой – с применением удобрений.

лия было высоким в течение всего вегетационного периода. В сухие годы содержание обменного калия было невысоким, резко уменьшалось от весны к лету и далее к осени. Это в значительной мере затрудняло пользование данных содержания обменного калия в почве в целях диагностики потребности в удобрениях. Зная поведение обменного калия в различные по увлажнению годы, можно при наличии долгосрочного прогноза погоды использовать полученные данные для определения потребности почв в калийных удобрениях.

За многолетний период (10 ротаций 5-польных севооборотов) содержание обменного калия (по Масловой) в вариантах без внесения удобрений оставалось приблизительно одинаковым с исходным его содержанием или несколько увеличивалось, несмотря на значительный вынос урожаями сельскохозяйственных культур (табл. 2). Это указывало на то, что поглощение калия сельскохозяйственными культурами проходило с вовлечением необменных его форм.

При систематическом внесении 4 т навоза и К50 на 1 га севооборотной площади в течение 50 лет содержание обменного калия в слое почвы 0–40 см достоверно увеличивались на 1.3–1.7 мг/100 г в зависимости от вида севооборота. В зернопропашном, зернопаропропашном и пропашном севооборотах с 40%-ной долей кукурузы на зеленый корм и ранний силос содержание обменного калия через 50 лет возрастало до 16.0–16.1 мг/100 г почвы, что на 1.7–1.6 мг/100 г почвы больше исходного его содержания (рис. 2).

В зернотравянопропашном севообороте с 40% многолетних трав и пропашном севообороте с 40% сахарной свеклы содержание обменного калия в почве увеличивалось в меньшей степени: в слое почвы 0–40 см в конце 10-й ротации этих севооборотов оно составило 15.6–15.8 мг/100 г почвы, или на 1.4–1.3 мг/100 г почвы больше в сравнении с исходным содержанием. Это свидетельствовало о том, что в черноземе типичном мощном калий, внесенный с минеральными и органическими удобрениями, быстро фиксировался почвой и в условиях периодически промывного водного режима не вымывался глубже подпахотного слоя почвы.

В агроэкосистемах с бессменным возделыванием сельскохозяйственных культур (озимая пшеница) как в вариантах без внесения удобрений, так и в удобренных вариантах, запасы обменного калия в слое 0–40 см почвы имели тенденцию к увеличению (рис. 3). Вероятно, это было связано с невысоким выносом калия урожаями культуры, возделываемой бессменно.

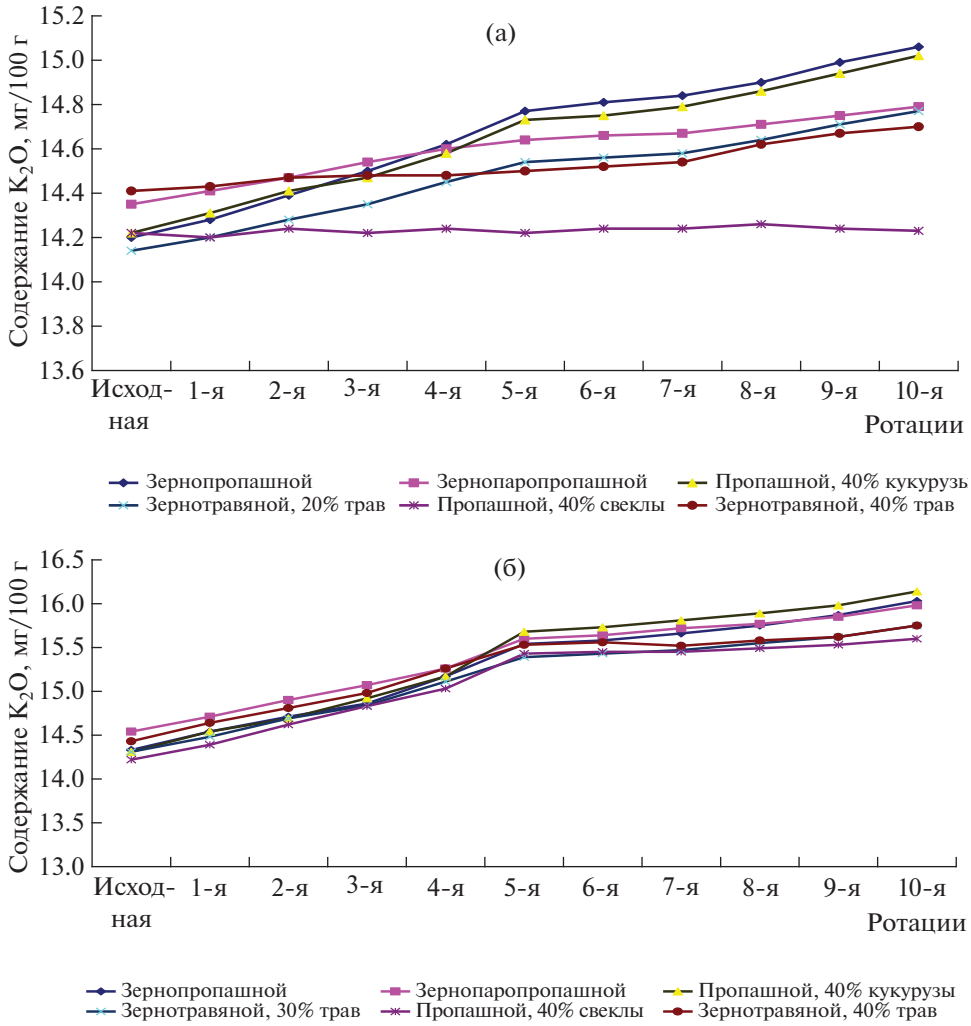

Рис. 2. Динамика содержания обменного калия (по Масловой) в различных видах полевых севооборотов: (а) – без удобрений, (б) – с применением удобрений.

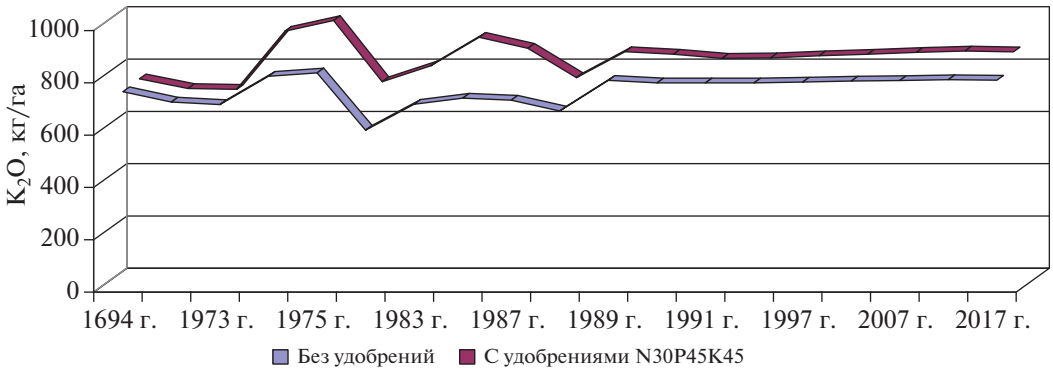

Рис. 3. Динамика содержания обменного калия (по Масловой) в черноземе типичном под бессменным посевом озимой пшеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что за 10 ротаций различных видов полевых севооборотов и в бессменных посевах сельскохозяйственных культур в течение 50 лет в вариантах без внесения удобрений значительных изменений в содержании подвижного калия в слое 0–40 см чернозема типичного не произошло, оно сохранялось на уровне

исходного его содержания, несмотря на значительный вынос урожаями сельскохозяйственных культур. Это указывало на то, что поглощение калия сельскохозяйственными культурами проходило с вовлечением необменных его форм. Основным фактором оптимизации калийного режима чернозема типичного было внесение минеральных удобрений совместно с навозом. Систематическое внесение 4 т навоза и K50 на 1 га севооборотной площади в течение 50 лет способствовало увеличению содержания обменного калия в слое почвы 0–40 см на 1.3–1.7 мг/100 г почвы в зависимости от вида севооборота.

В зернопропашном, зернопаропропашном и пропашном севооборотах с 40% кукурузы на зеленый корм и ранний силос содержание обменного калия через 50 лет увеличивалось на 1.7–1.6 мг/100 г почвы в сравнении с исходным его содержанием. В зернотравянопропашном севообороте с 40% многолетних трав и пропашном севообороте с 40% сахарной свеклы содержание обменного калия в почве увеличивалось в меньшей степени. Его содержание в слое 0–40 см почвы в конце 10-й ротации этих севооборотов составило 15.6–15.8 мг/100 г почвы, или на 1.4–1.3 мг/100 г почвы больше в сравнении с исходным содержанием. Это свидетельствовало о том, что в черноземах калий, внесенный с минеральными и органическими удобрениями, быстро фиксировался почвой и в условиях периодически промывного водного режима не вымывался глубже подпахотного слоя почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лукин С.В., Васенев И.И., Цыгуткин А.С.* Агроэкологическая оценка многолетней динамики содержания обменного калия в черноземах западной части ЦЧО // Достиж. науки и техники АПК. 2010. № 8. С. 42–45.
2. *Баршадская С.И., Квашин А.А., Дерека Ф.И.* Плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность основных сельскохозяйственных культур // Плодородие. 2011. № 2. С. 36–39.
3. *Брехов П.Т., Мязин Н.Г.* Формы калия в черноземе типичном при многолетнем внесении удобрений // Агрохим. вестн. 2012. № 4. С. 5–7.
4. *Bugarin M.R., Galvis S.A., Hernandez Mendoza T.M., Garcia-Paredes D.* Potassium buffering capacity and release kinetics in soils // Agr. Tecn. Mexico. 2007. V. 33. № 1. P. 73–81.
5. *Чекмарев П.А., Лукин С.В.* Мониторинг калийного режима черноземов ЦЧР // Достиже. науки и техн. АПК. 2011. № 8. С. 3–5.
6. *Соловиченко В.Д., Тютюнов С.И., Уваров Г.И.* Воспроизводство плодородия почв и рост продуктивности сельскохозяйственных культур Центрально-Черноземного региона. Белгород: Отчий край, 2011. 255 с.
7. *Hosseinpur A.R., Sinegani A.A.S.* Soil Potassium-release characteristics and the correlation of its parameters with garlic plant indices // Commun. Soil Sci. Plant Anal. 2007. V. 38. Iss. 1/2. P. 107–118.
8. *Лукин С.В., Соловиченко В.Д.* Результаты мониторинга плодородия почв государственного заповедника “Белогорье” // Достиж. науки и техн. АПК. 2008. № 8. С. 15–17.
9. *Чекмарев П.А., Лукин С.В.* Мониторинг калийного режима черноземов ЦЧР // Достиж. науки и техн. АПК. 2011. № 8. С. 3–5.
10. *Давляшин И.Д., Лукманов А.А., Бадиков А.Н.* Калий в пахотных почвах лесостепи // Плодородие. 2013. № 2. С. 27–28.
11. *Акулов П.Г.* Воспроизводство плодородия и продуктивность черноземов. М.: Колос, 1992. 223 с.
12. *Уваров Г.И., Карабутов А.П.* Изменение свойств в черноземе типичном при применении удобрений в длительном полевом опыте // Агрохимия. 2012. № 4. С. 14–20.
13. *Раков А.Ю., Сирота М.А.* Обменный калий как лимитирующий фактор урожайности // Земледелие. 2013. № 7. С. 31–32.
14. *Zarrabi M., Jalali M., Hajilouei Sh.M.* Kinetics of non-exchangeable potassium release through malic acid and supplying power of some soils of Iamadan province // Iran. J. Agr. Sci. 2007. V. 37. № 6. P. 1–4.
15. *Zhou J.M., Huang P.M.* Kinetics of potassium release from illite as influenced by different phosphates // Geoderma. 2007. V. 138. Iss. 3/4. P. 221–228.

Potash Regime in Typical Chernozem under Its Long-Term Agricultural Use in Different Agroecosystems

V. I. Lazarev[a,#], R. I. Lazareva[a], B. S. Ilyin[a], and N. N. Boeva[a]

[a] *Kursk Federal Agricultural Research Centre, ul. Karla Marksa 70b, Kursk 305021, Russia*

[#]*E-mail: vla190353@yandex.ru*

Long-term (50 years) agricultural use of Chernozem typical under different types of field crop rotations and permanent crops without fertilizers did not lead to a significant change in the content of mobile potassium in the layer of 0–40 cm in comparison with its initial content, despite the significant removal of crops. In the variants with the introduction of 4 t of manure and mineral fertilizers at a dose of K50 per 1 ha of crop rotation area, the content of potassium exchange increased by 1.3–1.7 mg/100 g of soil depending on the type of crop rotation. This suggests that on powerful Chernozem potassium, made with mineral and organic fertilizers, quickly accumulate in the soil and in the periodic washing of the water regime will not leach to deeper subsoil horizon.

Key word: potash regime, typical Chernozem, long-term agricultural use, agroecosystems, crop rotation, permanent crops.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 20–27

Удобрения

УДК 631.84:631.816.12.633.11“324”

ОКУПАЕМОСТЬ ЗАТРАТ НА ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ПОДКОРМКУ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

© 2020 г. С. А. Шафран

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия
E-mail: shafran38@mail.ru

Поступила в редакцию 15.07.2019 г.
После доработки 15.08.2019 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

Обсуждены вопросы дифференцированного внесения азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы с учетом степени обеспеченности почв минеральным азотом, подвижными формами фосфора и калия, реакции почвенной среды. В качестве научной основы для этой цели использовали нормативы ВНИИА по окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур в основных природно-климатических зонах страны. В отличие от ранее разработанных, данные нормативы дифференцированы в зависимости от доз, типов и агрохимических свойств почв. Это позволило устанавливать дозы азотных удобрений в зависимости от вышеупомянутых показателей и прогнозировать экономическую эффективность их применения с учетом складывающихся цен на удобрения и качества зерна.

Ключевые слова: агрохимические свойства, дифференцирование доз азота, прогноз экономической эффективности, подкормка, озимая пшеница.

DOI: 10.31857/S0002188120020143

ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране основной зерновой культурой является пшеница, доля посевов которой в последние годы в структуре посевных площадей зерновых культур составляет 59%, а в общем производстве зерна – ≈62%. В группе продовольственных зерновых культур ее удельный вес значительно больше – 93% [1]. По объему производства пшеницы Россия входит в тройку крупнейших мировых экспортеров пшеницы. Тем не менее, ее урожайность в среднем в стране остается невысокой (≈30 ц/га), хотя потенциал урожайности озимой пшеницы возрос менее чем за 100-летний период на 40 ц/га и составляет для современных сортов >100 ц/га [2]. Такое положение сложилось в связи с тем, что в последние годы резко снизилось применение удобрений в нашей стране, но особенно остро их недостаток ощущается в отношении зерновых культур. В настоящее время минеральные удобрения вносят только на половине посевных площадей, их дозы составляют 45–50 кг/га. Этого совершенно недостаточно для получения более высоких и устойчивых урожаев пшеницы. Результаты наших исследований показали, что такие агрохимические показатели, как содержание минерального азота, подвижных форм фосфора и калия в почвах, а также реакция почвенной среды оказывают значительное влияние на эффективность применения азотных удобрений во всех природно-климатических зонах. Общая закономерность такова: при увеличении содержания минерального азота в почвах снижается прибавка урожайности от азотных удобрений, наряду с этим возрастает урожайность пшеницы без внесения азота, тогда как повышение степени обеспеченности почв подвижными формами фосфора и калия, а также снижение степени их кислотности положительно отражается на эффективности азотных удобрений и в значительной мере компенсирует недобор урожайности за счет повышения содержания минерального азота в почвах. При этом возрастает суммарная урожайность озимой пшеницы, которая сформировалась за счет повышения плодородия и внесения азотных удобрений [3].

В конце прошлого столетия усилилась работа по выведению новых сортов зерновых культур. По мере включения в сортоиспытание новых, более перспективных сортов расширялись исследования по выявлению их отзывчивости на минеральные удобрения. Одновременно менялся и уровень почвенного плодородия. Благодаря внесе-

нию минеральных удобрений в дозах, значительно превышающих среднерегиональный уровень, селекционные поля научно-исследовательских учреждений и госсортоучастков характеризовались высоким и очень высоким содержанием питательных веществ, тогда как в условиях производства можно встретить почвы с очень низким, низким и средним содержанием подвижных форм фосфора и калия, т.е. недостаточно обеспеченных этими элементами питания. Так, по состоянию на 1 января 2016 г., в Центральном федеральном округе таких площадей насчитывается 47, в Приволжском – 63, в Уральском – 83%. Кроме того, в Нечерноземной зоне в последние годы вследствие снижения уровня применения удобрений наметилась устойчивая тенденция к уменьшению содержания питательных веществ в пахотных почвах [4]. Вполне возможно, что новые сорта, выведенные на высокоплодородных почвах, по-другому реагируют на менее плодородные. Несоответствие возможностей нового сорта и условий производства является одной из причин низкой реализации потенциала высокопродуктивных сортов зерновых культур. По данным ЦРНЗ, потенциальная урожайность пшеницы и ячменя реализуется в производственных условиях на 30–40% [5]. Например, поля бывшего НИИСХ ЦРНЗ, на которых испытывали новые сорта озимой пшеницы, характеризовались реакцией почвенной среды близкой к нейтральной, высоким и очень высоким содержанием подвижного фосфора и повышенным – подвижного калия. Это позволило на фоне N25P65K60 без внесения азота в виде подкормки получить урожайность выведенных и включенных в реестр в прошлом столетии сортов в размере 3.13–4.34 т/га, а в последние годы – 5.06–5.67 т/га. Соответственно изменилась также реакция сортов на внесение азотных удобрений. Сорта ранних периодов селекции формировали максимальную прибавку урожая при использовании в подкормку N30 и N60, тогда как современные – в дозах N90 и N120 [6]. Рассмотренные данные еще раз подтверждают, что агрохимические свойства почв играют важную роль не только в формировании урожайности, но и в повышении эффективности азотных удобрений, особенно современных сортов озимой пшеницы.

В технологии возделывания озимых зерновых культур важное значение имеет применение азотных удобрений, оптимальным сроком внесения которых является период весеннего возобновления вегетация растений.

Для организации рационального использования и обоснования целесообразности внесения азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы, наряду с агрохимическими факторами, важное значение имеют экономические показатели, поскольку стоит задача не только повысить урожайность и качество зерна, но добиться того, чтобы затраты на применение удобрений окупились стоимостью прибавки урожая. В последние годы, как известно, в нашей стране сложился определенный диспаритет цен на минеральные удобрения и сельскохозяйственную продукцию. В результате многие сельскохозяйственные предприятия не имеют возможности приобрести минеральные удобрения. Особенно это заметно в Нечерноземной зоне, в которой уровень применения удобрений очень снизился, хотя в этой полосе эффективность азотных удобрений значительно выше по сравнению с другими регионами [8]. Для взаимной адаптации агрохимических и экономических факторов наиболее удобным показателем является окупаемость удобрения прибавкой урожая. На основании обобщения большого количества экспериментальных данных научно-исследовательских институтов и агрохимической службы ВНИИА разработаны нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур для основных почвенно-климатических условий страны [7]. Достоинством этих нормативов, в отличие от ранее разработанных, является то, что они привязаны к основным типам почв, дифференцированы по дозам и агрохимическим свойствам почв. Это позволяет устанавливать дозы минеральных удобрений в зависимости от агрохимических свойств почв и уровня планируемой урожайности; выделять поля, на которых применение удобрений дает возможность обеспечить максимальную экономическую эффективность и составлять прогноз экономической эффективности применения минеральных удобрений в зависимости от складывающихся цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию.

Цель работы – составление прогноза окупаемости затрат на применение азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы при современных ценах на азотные удобрения и зерно озимой пшеницы в зависимости от его качества.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Научной основой для составления прогноза окупаемости затрат на применение азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы послужили вышеупомянутые нормативы. При расчетах затрат на применение удобрений исходили из стоимости удобрений, НДС, затрат на доставку со складов до полей, затрат на хранение и складскую

Таблица 1. Границы окупаемости азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы (в ценах 2019 г.)

Категория качества зерна	Стоимость зерна, руб./т	Затраты на применение удобрений, руб./т д.в.		Границы окупаемости удобрений, кг/кг	
		аммиачная селитра	карбамид	аммиачная селитра	карбамид
3-й класс	13250	64700	69493	4.9	5.2
4-й класс	10650	64700	69493	6.1	6.5
5-й класс	8650	64700	69493	7.5	8.0

переработку, на внесение удобрений, на уборку, доработку и перевозку дополнительного урожая, действующих в 2019 г.

Для того, чтобы установить целесообразность внесения удобрений, выбрать наиболее рациональную дозу азота и поле, на котором можно получить наибольший экономический эффект, использовали такой показатель, как граница окупаемости удобрений (**ГОУ**), которая обозначает величину прибавки урожая, стоимость которой равняется всем затратам на применение удобрений и выражается в кг/кг или т/т (табл. 1). Расчет проводили по формуле:

$$ГОУ = З/С,$$

где З – затраты на применение удобрений, руб./т, С – стоимость зерна, руб./т.

Полученную величину сравнивали с нормативами окупаемости удобрения. Если она выше норматива, то применение данного удобрения невыгодно, а если ниже, то целесообразно (табл. 2–4).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно биржевым торгам в 2019 г., цены на зерно пшеницы в зависимости от его качества составляли 8650–13250 руб./т, на аммиачную селитру в среднем – 12500, на карбамид – 19500 руб./т. Затраты на применение этих удобрений в действующем веществе составляют соответственно 65700 и 69443 тыс. руб./т. Границы их окупаемости будут меняться от 4.9 до 8.0 кг/кг. В связи с тем, что стоимость карбамида значительно выше по сравнению с аммиачной селитрой, то и границы окупаемости этого удобрения более высокие (табл. 1). Поэтому дальнейшее обсуждение результатов исследования касается только данных для аммиачной селитры.

Для того, чтобы определиться, в каких случаях применение аммиачной селитры в подкормку озимой пшеницы будет экономически оправданным, приведенные величины сравнивали с нормативной окупаемостью азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы на основных типах почв России в зависимости от комплекса агрохимических показателей, в дозах N30 и N60, полагая, что внесение N90–120 для одноразовой подкормки вряд ли целесообразно.

Согласно нормативам, на окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы оказывает влияние множество факторов, среди которых тип почвы, реакция почвенной среды, содержание минерального азота, подвижных форм фосфора и калия. Вклад этих факторов в формирование урожайности различный, и в совокупности они оказывают огромное влияние на окупаемость азотных удобрений. При этом отмечены определенные закономерности, первая из которых – это снижение эффективности азотных удобрений при продвижении с севера на юг. Так, на дерново-подзолистых почвах при низкой степени их окультуренности окупаемость N30 прибавкой урожая составляла 17.3 кг/кг, на каштановых – 4.7 кг/кг, при степени окультуренности выше средней – 37.3 и 8.3 кг/кг (табл. 2). На всех представленных почвенных разновидностях снижалась окупаемость азота прибавкой урожая при увеличении содержания минерального азота в почвах. На дерново-подзолистых почвах разница в окупаемости между низким и повышенным содержанием минерального азота составляла ≈35, на каштановых – 74%. Увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия, напротив, способствовало повышению эффективности азотных удобрений. При переходе дерново-подзолистых почв из низкой группы обеспеченности P_2O_5 в повышенно обеспеченную окупаемость азота возрастала в 1.7 раза, серых лесных – в 1.9, черноземов выщелоченных – в 2.1, черноземов типичных – в 1.6, черноземов карбонатных – в 2.0 и каштановых почв – в 1.8 раза.

На дерново-подзолистых и серых лесных почвах четко прослеживается влияние реакции почвенной среды на окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы. Разница между менее кислыми дерново-подзолистыми почвами и более кислыми в зависимости от сте-

Таблица 2. Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы 3-го класса в зависимости от комплекса агрохимических свойств почв, кг/кг

Почва	Содержание P_2O_5							
	низкое				выше среднего			
	Содержание K_2O							
	низкое		выше среднего		низкое		выше среднего	
	N30	N60	N30	N60	N30	N60	N30	N60
Низкое содержание минерального азота								
Дерново-подзолистые*	17.3/21.7	10.0/12.5	22.7/28.3	12.7/15.8	24.7/30.3	14.2/17.7	30.3/37.3	16.8/20.8
Серые лесные*	13.3/15.7	7.7/8.8	18.7/21.7	10.2/12.0	20.3/23.3	11.5/13.2	25.7/29.3	14.2/16.3
Черноземы								
выщелоченные*	11.7	7.0	16.3	9.3	16.7	11.7	24.7	14.2
типичные*	13.0	7.3	14.7	8.2	18.3	10.3	20.3	11.3
обыкновенные*	6.7	3.8	10.0	5.7	11.0	6.2	14.3	7.8
карбонатные**	6.6	3.8	7.3	4.2	12.7	7.3	13.0	7.8
каштановые**	4.7	2.8	6.0	3.5	7.3	4.2	8.3	4.8
Среднее содержание минерального азота								
Дерново-подзолистые	15.7/19.7	9.2/11.3	20.7/25.7	11.5/14.3	22.3/27.7	12.8/16.0	27.3/34.0	15.3/19.0
Серые лесные	10.3/12.0	5.8/6.8	14.3/16.7	7.8/9.2	15.7/18.0	8.8/10.2	19.7/22.7	10.8/12.5
Черноземы								
выщелоченные	9.0	5.3	12.7	7.2	15.3	9.0	19.0	10.8
типичные	10.0	5.7	11.3	6.3	14.0	8.0	15.7	8.7
обыкновенные	6.0	3.5	9.0	5.0	9.7	5.5	12.7	7.0
карбонатные	5.0	3.0	5.7	3.2	9.7	5.7	10.0	6.0
каштановые	3.7	2.2	4.7	2.7	5.7	3.2	6.3	3.7
Повышенное содержание минерального азота								
Дерново-подзолистые	12.7/16.0	7.3/9.2	16.7/20.7	9.3/11.7	18.0/22.3	10.3/13.0	22.0/27.7	12.5/15.3
Серые лесные	8.3/9.7	4.7/5.5	11.3/13.3	6.2/7.3	12.3/14.3	7.0/8.2	15.7/18.0	8.5/10.0
Черноземы								
выщелоченные	7.3	4.3	10.0	5.7	12.3	7.2	15.3	8.7
типичные	6.0	3.3	6.7	3.8	8.3	4.8	9.3	5.3
обыкновенные	3.3	2.0	5.0	2.8	5.3	3.0	7.0	3.8
карбонатные	3.3	2.0	4.0	2.0	6.7	4.0	7.0	4.2
каштановые	2.7	1.5	3.3	1.8	4.0	2.2	4.3	2.5

Примечания. 1. Над чертой – pH ≤ 5.0, под чертой – pH > 5.0. 2. Цветом выделены варианты, в которых затраты на применение аммиачной селитры не могут окупиться стоимостью прибавки урожая. То же в табл. 3, 4.
*К низкой обеспеченности отнесены почвы с содержанием $N_{мин}$ < 5.0, к средней – 5.1–10.0, к повышенной и высокой – >10 мг/кг, ** <10.0 мг/кг, 10.1–20.0 и >20.0 мг/кг соответственно. То же в табл. 3, 4.

Таблица 3. Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы 4-го класса в зависимости от комплекса агрохимических свойств почв, кг/кг

Почва	Содержание P_2O_5							
	низкое				выше среднего			
	Содержание K_2O							
	низкое		выше среднего		низкое		выше среднего	
	N30	N60	N30	N60	N30	N60	N30	N60
Низкое содержание минерального азота								
Дерново-подзолистые	17.3/21.7	10.0/12.5	22.7/28.3	12.7/15.8	24.7/30.3	14.2/17.7	30.3/37.3	16.8/20.8
Серые лесные	13.3/15.7	7.7/8.8	18.7/21.7	10.2/12.0	20.3/23.3	11.5/13.2	25.7/29.3	14.2/16.3
Черноземы								
выщелоченные	11.7	7.0	16.3	9.3	16.7	11.7	24.7	14.2
типичные	13.0	7.3	14.7	8.2	18.3	10.3	20.3	11.3
обыкновенные	6.7	3.8	10.0	5.7	11.0	6.2	14.3	7.8
карбонатные	6.6	3.8	7.3	4.2	12.7	7.3	13.0	7.8
каштановые	4.7	2.8	6.0	3.5	7.3	4.2	8.3	4.8
Среднее содержание минерального азота								
Дерново-подзолистые	15.7/19.7	9.2/11.3	20.7/25.7	11.5/14.3	22.3/27.7	12.8/16.0	27.3/34.0	15.3/19.0
Серые лесные	10.3/12.0	5.8/6.8	14.3/16.7	7.8/9.2	15.7/18.0	8.8/10.2	19.7/22.7	10.8/12.5
Черноземы								
выщелоченные	9.0	5.3	12.7	7.2	15.3	9.0	19.0	10.8
типичные	10.0	5.7	11.3	6.3	14.0	8.0	15.7	8.7
обыкновенные	6.0	3.5	9.0	5.0	9.7	5.5	12.7	7.0
карбонатные	5.0	3.0	5.7	3.2	9.7	5.7	10.0	6.0
каштановые	3.7	2.2	4.7	2.7	5.7	3.2	6.3	3.7
Повышенное содержание минерального азота								
Дерново-подзолистые	12.7/16.0	7.3/9.2	16.7/20.7	9.3/11.7	18.0/22.3	10.3/13.0	22.0/27.7	12.5/15.3
Серые лесные	8.3/9.7	4.7/5.5	11.3/13.3	6.2/7.3	12.3/14.3	7.0/8.2	15.7/18.0	8.5/10.0
Черноземы								
выщелоченные	7.3	4.3	10.0	5.7	12.3	7.2	15.3	8.7
типичные	6.0	3.3	6.7	3.8	8.3	4.8	9.3	5.3
обыкновенные	3.3	2.0	5.0	2.8	5.3	3.0	7.0	3.8
карбонатные	3.3	2.0	4.0	2.0	6.7	4.0	7.0	4.2
каштановые	2.7	1.5	3.3	1.8	4.0	2.2	4.3	2.5

пени окультуренности при дозе N30 составляет 4.4–7.3 кг/кг, для серых лесных почв – соответственно 2.4–3.6 кг/кг. Для всех типов почв увеличение дозы азота влекло за собой снижение окупаемости азотных удобрений в пределах 70–80%.

Сопоставление границы окупаемости аммиачной селитры при получении пшеницы 3-го класса с данными, приведенными в табл. 2, показало, что в подавляющем большинстве случаев применение данного удобрения может окупиться стои-

Таблица 4. Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы 5-го класса в зависимости от комплекса агрохимических свойств почв, кг/кг

Почва	Содержание P_2O_5							
	низкое				низкое			
	Содержание K_2O							
	низкое		выше среднего		низкое		выше среднего	
	N30	N60	N30	N60	N30	N60	N30	N60
Низкое содержание минерального азота								
Дерново-подзолистые	17.3 / 21.7	10.0 / 12.5	22.7 / 28.3	12.7 / 15.8	24.7 / 30.3	14.2 / 17.7	30.3 / 37.3	16.8 / 20.8
Серые лесные	13.3 / 15.7	7.7 / 8.8	18.7 / 21.7	10.2 / 12.0	20.3 / 23.3	11.5 / 13.2	25.7 / 29.3	14.2 / 16.3
Черноземы								
выщелоченные	11.7	7.0	16.3	9.3	16.7	11.7	24.7	14.2
типичные	13.0	7.3	14.7	8.2	18.3	10.3	20.3	11.3
обыкновенные	6.7	3.8	10.0	5.7	11.0	6.2	14.3	7.8
карбонатные	6.6	3.8	7.3	4.2	12.7	7.3	13.0	7.8
каштановые	4.7	2.8	6.0	3.5	7.3	4.2	8.3	4.8
Среднее содержание минерального азота								
Дерново-подзолистые	15.7 / 19.7	9.2 / 11.3	20.7 / 25.7	11.5 / 14.3	22.3 / 27.7	12.8 / 16.0	27.3 / 34.0	15.3 / 19.0
Серые лесные	10.3 / 12.0	5.8 / 6.8	14.3 / 16.7	7.8 / 9.2	15.7 / 18.0	8.8 / 10.2	19.7 / 22.7	10.8 / 12.5
Черноземы								
выщелоченные	9.0	5.3	12.7	7.2	15.3	9.0	19.0	10.8
типичные	10.0	5.7	11.3	6.3	14.0	8.0	15.7	8.7
обыкновенные	6.0	3.5	9.0	5.0	9.7	5.5	12.7	7.0
карбонатные	5.0	3.0	5.7	3.2	9.7	5.7	10.0	6.0
каштановые	3.7	2.2	4.7	2.7	5.7	3.2	6.3	3.7
Повышенное содержание минерального азота								
Дерново-подзолистые	12.7 / 16.0	7.3 / 9.2	16.7 / 20.7	9.3 / 11.7	18.0 / 22.3	10.3 / 13.0	22.0 / 27.7	12.5 / 15.3
Серые лесные	8.3 / 9.7	4.7 / 5.5	11.3 / 13.3	6.2 / 7.3	12.3 / 14.3	7.0 / 8.2	15.7 / 18.0	8.5 / 10.0
Черноземы								
выщелоченные	7.3	4.3	10.0	5.7	12.3	7.2	15.3	8.7
типичные	6.0	3.3	6.7	3.8	8.3	4.8	9.3	5.3
обыкновенные	3.3	2.0	5.0	2.8	5.3	3.0	7.0	3.8
карбонатные	3.3	2.0	4.0	2.0	6.7	4.0	7.0	4.2
каштановые	2.7	1.5	3.3	1.8	4.0	2.2	4.3	2.5

мостью прибавки урожая. Исключение составляют каштановые низко окультуренные почвы при применении доз N30 и N60 даже на повышенно окультуренных почвах. На почвах, которые характеризовались повышенным содержанием минерального азота, эффект от внесения азотных удобрений заметно снижается, и в этих случаях следует ожидать их экономически обоснованного применения на дерново-подзолистых и серых почвах, а также черноземах выщелоченных в дозах N30–60. На черноземах типичных внесение азотных удобрений может окупиться стоимостью

прибавки урожая на низко окультуренных почвах в дозе N30, на высоко окультуренных – в обеих дозах. На черноземах обыкновенных и карбонатных положительный результат можно ожидать только на окультуренных почвах при дозе N30. На каштановых почвах затраты на применение аммиачной селитры не окупятся.

При получении пшеницы 4-го класса затраты на применение аммиачной селитры могут окупиться в меньшем количестве случаев по сравнению с рассмотренными выше. Диапазон рентабельного использования этого удобрения сокращается, но при этом по-прежнему в большинстве случаев при низкой степени обеспеченности почв минеральным азотом его внесение может быть оправдано с экономической точки зрения. Сюда относятся дерново-подзолистые и серые лесные почвы, черноземы выщелоченные и типичные, а также черноземы обыкновенные и карбонатные, которые характеризуются повышенным и высоким содержанием подвижного фосфора. На каштановых почвах можно ожидать подобного результата при такой же степени их обеспеченности P_2O_5, но только при применении дозы N30.

На дерново-подзолистых почвах с повышенным содержанием минерального азота положительный результат можно ожидать во всех рассматриваемых случаях, на серых лесных также, но за исключением почв с низкой обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия при применении дозы N60 (табл. 3).

Получение зерна 5-го класса еще в большей степени будет способствовать дальнейшему сокращению диапазона рентабельного применения аммиачной селитры в подкормку озимой пшеницы. Вместе с тем по-прежнему при низкой обеспеченности почв Нечерноземной зоны минеральным азотом подкормка озимой пшеницы аммиачной селитрой будет экономически оправдана. В отдельных случаях этот агроприем может быть эффективен в зоне распространения черноземных почв, но только при их достаточной обеспеченности подвижными формами фосфора и калия и в дозе 30 кг/га (табл. 4). При повышенном содержании минерального азота положительный эффект от внесения аммиачной селитры можно ожидать на дерново-подзолистых почвах практически во всех рассматриваемых случаях, а на серых лесных – только на площадях, которые характеризуются повышенной степенью обеспеченности P_2O_5 и K_2O в дозах 30–60 кг/га, в том случае, когда содержание этих питательных веществ относится к низкой группе, – при применении N30.

На черноземах в подавляющем большинстве вариантов затраты на применение аммиачной селитры в подкормку озимой пшеницы не окупятся стоимостью прибавки урожая. Положительный результат можно отследить лишь на черноземах выщелоченных при повышенном содержании подвижного фосфора и при применении доз N30–60, а также на черноземах типичных при внесении N30 (табл. 4).

Таким образом, приведенные результаты свидетельствуют о том, что наибольшую окупаемость затрат на проведение подкормки озимой пшеницы можно ожидать на всех почвах при низкой степени обеспеченности их минеральным азотом, повышенным и высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия, слабокислой и близкой к нейтральной реакции почвенной среды. В связи с этим при недостатке удобрений для проведения подкормки на всей посевной площади озимой пшеницы в первую очередь азот следует внести именно в такие почвы.

На окупаемость затрат, связанных с применением удобрений, большое влияние оказывают дозы питательных веществ. С увеличением доз снижается окупаемость прибавкой урожая. Поэтому при выборе дозы азотного удобрения следует обращать внимание на цель, которую ставит сельхозтоваропроизводитель. Если намечено получить максимальную окупаемость, то следует ориентироваться на меньшую дозу, а если наибольшую прибавку урожая – наиболее высокую.

Окупаемость затрат на применение азотных удобрений оказывает существенное влияние на качество зерна озимой пшеницы, поскольку закупочная цена существенно зависит от данного показателя. Если принять зерно 3-го класса за 100%, стоимость пшеницы 4-го и 5-го классов составит соответственно 80 и 65%. Примерно в таком же соотношении складывались цены в предыдущие годы, например, в 2015–2016 гг. [1].

Таким образом, выбор доз азота и полей, на которых можно получить наибольший эффект от азотной подкормки, позволит обеспечить получение максимально возможной прибавки урожая, стоимость которой будет превышать затраты на его применение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обоснования целесообразности и рационального использования азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы важное значение имеет их дифференцированное внесение с учетом степени обеспеченности почв минеральным азотом, подвижными формами фосфора и калия, реакции почвенной среды. Наиболее удобным для

этих целей является такой показатель, как окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая. Нормативы ВНИИА по окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур для основных почвенно-климатических зон свидетельствуют о том, что в отличие от ранее разработанных, они привязаны к основным типам почв, дифференцированы по дозам и основным свойствам почв. Это дает возможность устанавливать дозы питательных веществ в зависимости от агрохимических свойств почв и уровня планируемой урожайности; выделять поля, на которых применение удобрений позволит обеспечить максимальную эффективность и прогнозировать экономическую эффективность их применения в зависимости от складывающихся цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию.

Сравнение нормативов окупаемости азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы с границами окупаемости аммиачной селитры (в ценах 2019 г.) показало, что на экономическую эффективность применения данного удобрения большое влияние оказывало качество зерна. При получении пшеницы 3-го класса в подавляющем большинстве вариантов применения аммиачной селитры в подкормку озимой пшеницы может окупиться стоимостью прибавки урожая. Затраты на применение аммиачной селитры при получении пшеницы 4-го класса по-прежнему в большинстве случаев может быть оправдано с экономической точки зрения на почвах с низкой степенью обеспеченности минеральным азотом.

Получение зерна 5-го класса будет способствовать дальнейшему сокращению диапазона рентабельного применения аммиачной селитры в подкормку озимой пшеницы. Этот агроприем будет эффективен на почвах Нечерноземной зоны и в отдельных случаях в зоне распространения черноземов, но только при их достаточной обеспеченности подвижными формами фосфора и калия.

Рассмотренные выше результаты исследований свидетельствуют о том, что при правильном использовании азотных удобрений можно достичь их рентабельного применения даже в жестких экономических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алтухов А.И.* Совершенствование организационно-экономического механизма – необходимое условие увеличения производства высококачественного зерна пшеницы в стране // Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. М.: Росинформагротех, 2018. С. 5–40.
2. *Журавлева Е.В.* Достижения селекции в создании новых адаптивных сортов пшеницы для увеличения производства зерна высокого качества // Там же. С. 51–60.
3. *Шафран С.А., Духанина Т.М.* Значение комплексного агрохимического окультуривания почв в повышении эффективности азотных удобрений под пшеницу // Агрохимия. 2017. № 11. С. 21–30.
4. *Шафран С.А.* Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и его резервы // Агрохимия. 2016. № 8. С. 3–11.
5. *Неттевич Э.Д.* Итоги селекции основных зерновых культур в начале 3-го тысячелетия. М.: НИИСХ ЦРНЗ, 2002. 45 с.
6. *Журавлева Е.В.* Научное обоснование повышения продуктивности и качества зерна питательных сортов озимой пшеницы в земледелии Центрального Нечерноземья: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 2011. 41 с.
7. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. М.: ВНИИА, 2016. 96 с.
8. *Сычев В.Г., Шафран С.А.* Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и его резервы // Агрохимия. 2016. № 8. С. 3–11.

Recoupment of Expenses on Application of Nitrogen Fertilizers in Winter Wheat Top Dressing

S. A. Shafran

D. N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia

E-mail: shafran38@mail.ru

The issues of differentiated application of nitrogen fertilizers in winter wheat feeding taking into account the degree of soil availability with mineral nitrogen, mobile forms of phosphorus and potassium, the reaction of the soil environment were discussed. As a scientific basis for this purpose, the VNIIA standards on the payback of mineral fertilizers by increasing the yield of grain crops in the main natural and climatic zones of the country were used. In contrast to the previously developed, these standards are differentiated depending on the doses, types and agrochemical properties of soils. It allowed to establish doses of nitrogen fertilizers depending on the above-mentioned indicators and to predict economic efficiency of their application taking into account the developing prices of fertilizers and quality of grain.

Key words: agrochemical properties, differentiation of nitrogen doses, forecast of economic efficiency, top dressing, winter wheat.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 28–36

УДК 631.87:633.1:631.445.24:631.459

ЭФФЕКТИВНОСТЬ БАКТЕРИАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ АЗОБАКТЕРИН И КАЛИПЛАНТ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ЭРОДИРОВАННЫХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ

© 2020 г. В. В. Лапа[1], Н. А. Михайловская[1,*], С. А. Касьянчик[1], Н. Н. Цыбулько[1], Т. Б. Барашенко[1]

[1] *Институт почвоведения и агрохимии 220108 Минск, ул. Казинца, 90, Беларусь*

**E-mail: bionf1@yandex.ru*

Поступила в редакцию 24.05.2019 г.
После доработки 19.07.2019 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

В Центральной и Северной почвенных провинциях Беларуси в длительных стационарных опытах на дерново-подзолистых суглинистых почвах, в разной степени подверженных водно-эрозионной деградации, изучена эффективность бактериальных удобрений – азобактерина (*Azospirillum brasilense* ВКПМ В-4485*)* и калипланта (*Bacillus circulans* БИМ В-376Д) при возделывании зерновых культур. Применение азобактерина и калипланта повышало адаптационный потенциал растений за счет аддитивного действия биологических механизмов стимуляции (гормонального эффекта, улучшения минерального питания, биоконтроля) и обеспечивало повышение урожайности и качества продукции зерновых культур. Эффективность бактериальных удобрений повышалась в условиях стресса на средне- и сильноэродированных почвах. На дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках прибавки зерна от азобактерина в среднем составили 4.6, 5.6 и 6.5% соответственно на неэродированной, слабо- и среднеэродированной почвах; от калипланта – 11.4, 11.5 и 16.4%. На дерново-подзолистых почвах на моренных суглинках прибавки зерна от азобактерина достигали 5.9, 5.3 и 7.9%; от калипланта – 8.3%, 8.5% и 14.4% соответственно на неэродированной, средне- и сильноэродированной почвах. Азобактерин повышал содержание и сбор сырого протеина в зерне ярового ячменя на 2.0–2.6% и 1.2–1.6 ц/га, озимой ржи – на 1.1–1.8% и 0.7–1.0 ц/га соответственно. Калиплант улучшал качество белка яровой пшеницы за счет повышения содержания критических (Lys*, Thr* и Met*) и незаменимых (Val, Phe, Ile, Leu) аминокислот.

Ключевые слова: азобактерин, калиплант, адаптация, эродированные дерново-подзолистые суглинистые почвы, зерновые культуры.

DOI: 10.31857/S0002188120020088

ВВЕДЕНИЕ

На территории Беларуси водная эрозия представляет серьезную экологическую проблему. Холмисто-грядовый рельеф, достаточная увлажненность территории и специфика почвообразующих пород способствуют развитию водно-эрозионных процессов на пахотных землях в Центральной и Северной почвенно-экологических провинциях республики [1]. В результате поверхностного смыва с обрабатываемых склонов выносится от 0.1 до 100 и более т/га почвы ежегодно [2]. При этом происходят потери органического вещества, минеральной части почвы и прочно связанных с ними микробной биомассы и экстрацеллюларных почвенных ферментов [3, 4]. Обусловленное водной эрозией ухудшение агрофизических, агрохимических и биологических свойств почв приводит к снижению их производительной способности. Снижение урожайности зерновых культур достигает 12–40% в зависимости от степени эродированности почвы [1].

На эродированных почвах, где растения подвержены стрессу и испытывают дефицит элементов питания, приоритетной задачей является повышение их адаптивного потенциала и урожайности. Значимый эффект дает применение микробных удобрений, способных воздействовать на метаболизм растений и повышать их адаптивные возможности, за счет вовлечения биологических механизмов стимуляции роста, улучшения минерального питания и биологического контроля фитопатогенов.

Наибольший интерес представляют микробные удобрения, включающие азотфиксирующие

и калиймобилизующие бактерии. Среди азотфиксаторов перспективны *Azospirillum* spp., отличающиеся разносторонним приспособительным метаболизмом углерода и азота. Источниками азота для *Azospirillum* spp. могут служить атмосферный азот, аммоний, нитраты, нитриты [5–7]. *Azospirillum* spp. оказывают существенный гормональный эффект на растения [8, 9]. Зональный штамм *Azospirillum brasilense* ВКПМ В-4485, на основе которого создано бактериальное удобрение азобактерин, характеризуется высоким азотфиксирующим потенциалом и способностью к растворению ортофосфата кальция [10], положительно воздействует на активность нитратредуктазы (**nir+**) [11].

Среди бактерий, способных к мобилизации калия из труднодоступных почвенных форм, наиболее перспективны распространенные в умеренной зоне слизистые бациллы [12–14]. Слизеобразование является также защитным фактором, обеспечивающим выживание бактерий в ризосфере при неблагоприятных экологических условиях. Наши исследования подтвердили высокую активность калиймобилизации у слизеобразующих бацилл. При изучении потенциальной способности к мобилизации калия из слюд и гидрослюд наибольшую активность мобилизации калия регистрировали именно у слизеобразующих бацилл [15, 16]. По результатам тестирования в лабораторных и вегетационных экспериментах отобран активный штамм *Bacillus circulans* БИМ В-376Д, на основе которого создано бактериальное удобрение калиплант. Штамм *Bacillus circulans* БИМ В-376Д [17] характеризуется способностью к мобилизации труднодоступных форм почвенного калия [15], мобилизации фосфора из нерастворимых трехзамещенных ортофосфатов кальция и высокой ростостимулирующей активностью [10].

Цель работы – изучить влияние биоудобрений азобактерин и калиплант на урожайность и качество зерновых культур на эродированных дерново-подзолистых почвах Республики Беларусь.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытания бактериальных удобрений (**БУ**) азобактерина и калипланта проводили в полевых опытах на эродированных дерново-подзолистых почвах в Центральной (стационар “Стоковые площадки”, Минская обл.) и Северной (стационар “Браслав”, Витебская обл.) почвенно-экологических провинциях Беларуси.

Полевые опыты по оценке эффективности азобактерина на зерновых культурах. В 2014–2016 гг. в 2-х стационарных опытах изучена эффективность азобактерина на озимой пшенице (*Triticum aestivum* L.) сорта Богатка на эродированных почвах. Опыты заложены по геоморфологическому профилю, на водоразделе расположена неэродированная почва, в верхней части склона – среднеэродированная, в средней части – сильноэродированная почва. На дерново-подзолистой почве на мощных лессовидных суглинках (“Стоковые площадки”, склон южной экспозиции) действие азобактерина изучали на общем фоне применения минеральных удобрений N60+40P60K100. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: гумус – 1.8–2.5%; pH 5.2–5.9; P_2O_5 – 290–330 и K_2O – 180–230 мг/кг. Агрохимические показатели определяли по общепринятым методикам: органическое вещество – ГОСТ 26213–91, обменная кислотность pH_{KCl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483–85, содержание подвижных форм фосфора и калия – по Кирсанову (ГОСТ 26207–91).

На дерново-подзолистой почве на мощных моренных суглинках (Витебская обл.) эффективность азобактерина изучали на фоне применения N70+20P50K120. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка: гумус – 1.9–2.1%, pH 6.2–6.5, P_2O_5 – 210–306 и K_2O – 180–195 мг/кг.

Эффективность азобактерина на яровом ячмене (*Hordeum vulgare* L.) сорта Стратус в 2017 г. и озимой ржи (*Secale cereale* L.) сорта Пламя в 2018 г. изучена в стационарном опыте “Стоковые площадки” (склон северной экспозиции) на неэродированной, слабо- и среднеэродированной дерново-подзолистой почве на мощных лессовидных суглинках. Агрохимические свойства пахотного слоя почвы: гумус – 1.8–2.1%, pH 5.4–5.8, P_2O_5 – 328–360 и K_2O – 233–300 мг/кг. Фон удобрений – N90 + 30P50K100.

Полевые опыты по оценке эффективности калипланта на яровой пшенице. Оценку эффективности бактериального удобрения калиплант на яровой пшенице (*Triticum aestivum*) проводили на тех же стационарах. Действие калипланта при обработке посевов яровой пшеницы сортов Контесса (2004 г.) и Рассвет (2006, 2007 гг.) изучено на эродированных дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах, сформированных на мощных моренных суглинках (Витебская обл.) на фоне применения N80P60K86. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы: гумус – 1.5–2.0%, pH 6.1–6.3, P_2O_5 – 177–280 и K_2O – 127–185 мг/кг.

Оценку действия калипланта на яровой пшенице сортов Контесса и Рассвет при инокуляции семян проводили на эродированных дерново-подзолистых почвах на мощных лессовидных суглинках (стационар “Стоковые площадки”, склон южной экспозиции) на фоне N77P47K63 + + навоз 30 т/га. Агрохимическая характеристика

пахотного слоя почвы: гумус – 1.6–2.0%, pH 5.5–5.8, P_2O_5 – 346–432 и K_2O – 316–428 мг/кг.

Повторность в опытах трехкратная. В стационаре "Стоковые площадки" общая площадь делянки на неэродированной почве – 50 м^2, на эродированных – 40 м^2, учетная площадь – 35 и 30 м^2; в стационаре "Браслав" общая площадь делянки – 12 и 10.5 м^2, учетная – 9 и 7.5 м^2 соответственно.

Фосфорные и калийные удобрения (АФ, K_x) в опытах применяли в основное внесение, азотные ($N_м$) – в основное внесение и подкормку. Навоз (30 т/га) вносили под зяблевую вспашку. Для инокуляции зерновых культур использовали жидкую препаративную форму бактериальных удобрений. Титры бактерий в препаратах были не меньше 1.5 × 10^9 КОЕ/мл. Инокуляцию посевов озимых культур проводили весной в фазе кущения, яровых – в фазе всходы–начало кущения, состав рабочей смеси в расчете на 1 га: 1 л БУ + + 150–200 л воды. Для предпосевной обработки семян калиплантом использовали рабочую смесь в расчете на 1 т семян: 1 л БУ, 1–2 л 2%-ного водного раствора прилипателя (NaКМЦ) и 3–4 л воды.

Агрометеорологические условия в годы исследования в целом были благоприятными для возделывания зерновых культур. За 8-летний период наблюдений в стационаре "Стоковые площадки" гидротермический коэффициент (**ГТК**) за вегетационный период варьировал от 1.23 до 1.81 при среднемноголетней норме 1.64. 2007 г. и 2015 г. характеризовались как слабо засушливые (ГТК 1.23 и 1.32), в 2018 г. отмечены повышенные температуры и неравномерное выпадение осадков. За 6-летний период исследований в стационаре "Браслав" 2007 г. и 2016 г. характеризовались как слабо засушливые (ГТК 1.26 и 1.20) при среднемноголетней норме 1.61.

Лабораторные эксперименты по оценке антагонистической активности штаммов азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий. Антагонистическую активность штаммов *A. brasilense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенам зерновых культур р. *Fusarium* (*F. poae, F. oxysporum, F. graminearum*) и *Alternaria* sp. изучали с применением методов встречных культур и агаровых блоков на картофельно-глюкозном агаре [18]. Ингибирование радиального роста гриба (**ИРРГ**) через 3, 5, 7 и 10 сут экспозиции вычисляли по формуле: ИРРГ (%) = [1 – (рост гриба в сторону бактериальной культуры, мм / рост гриба в той же чашке Петри в обратную сторону (контроль), мм] × 100% [18].

Биологическую ценность продукции определяли по основным показателям качества зерна – содержанию сырого белка и его аминокислотному составу. Содержание критических (АКкр* – треонин, метионин, лизин) и незаменимых (АКн – треонин, метионин, лизин, валин, фенилаланин, изолейцин и лейцин) аминокислот в белке определяли на жидкостном хроматографе HP AGILENT 1100 SERIES. По содержанию незаменимых и критических аминокислот в белке рассчитаны аминокислотный скор и химическое число. Аминокислотный скор (%) характеризует содержание аминокислот в белке по отношению к аминокислотной шкале ФАО/ВОЗ. Химическое число (%) характеризует содержание аминокислот в белке зерна по отношению к идеальному белку [19].

Для статистической обработки результатов применяли дисперсионный анализ с использованием программы MS Exel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность азобактерина на озимой пшенице на эродированных почвах. В исследованиях [20] было установлено, что интродуцированные *A. brasilense* B-4485 конкурентно заселяют корни пшеницы, ячменя и злаковых трав. В течение вегетации численность бактерий постепенно снижалась и ко времени уборки урожая практически сравнивалась со спонтанной в почвах Беларуси. Аналогичные закономерности получены для *A. brasilense* Cd [21]. В работах [22, 23] доказано, что для воздействия *A. brasilense* на метаболизм растений достаточно краткого контакта с корнями в начальных фазах онтогенеза при высокой концентрации интродуцента.

В 2-х полевых опытах на эродированных почвах изучено влияние азобактерина (обработка посевов) на урожайность и качество озимой пшеницы сорта Богатка. Положительный эффект от азобактерина получен на разных элементах склона, прибавки зерна составили: на дерново-подзолистой почве на лессовидных суглинках – 3.5, 3.5 и 3.3 ц/га (5.0, 5.5 и 5.6%), на моренных суглинках – 3.1, 2.7 и 3.1 ц/га (5.9, 5.3 и 7.9%) на неэродированной, средне- и сильноэродированной почвах соответственно. Азобактерин оказал влияние на качество зерна: содержание сырого протеина повышалось на 0.5–0.9% при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве на лессовидных суглинках и на 0.4–0.5% – на моренных суглинках. Отмечено достоверное увеличение массы 1000 зерен (табл. 1).

Интерес к азоспириллам во многом связан с возможностью регулирования накопления белка в зерне. По результатам наших исследований можно отметить, что *A. brasilense* B-4485 действительно вносил вклад в обеспечение растений азотом [24]. В работах [5, 25] в качестве возможных механизмов влияния инокуляции на метаболизм азота рассмотрены азотфиксация и денитрификация. В зависимости от концентрации кислоро-

Таблица 1. Влияние азобактерина на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Богатка на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах (2014–2016 гг.)

Вариант		Дерново-подзолистая почва								
		на моренных суглинках					на лессовидных суглинках				
		сырой протеин, %	масса 1000 зерен, г	урожайность, ц/га	прибавка		сырой протеин, %	масса 1000 зерен, г	урожайность, ц/га	прибавка	
					ц/га	%				ц/га	%
Неэродированная почва	К	12.9	42.9	52.5	–		11.9	46.9	69.4	–	
	БУ	13.3	43.4	55.6	3.1	5.9	12.8	48.5	72.9	3.5	5.0
Среднеэродированная почва	К	12.4	42.4	50.7	–		11.8	45.3	64.2	–	
	БУ	12.9	42.9	53.4	2.7	5.3	12.3	46.8	67.7	3.5	5.5
Сильноэродированная почва	К	12.2	39.6	39.4	–		11.5	44.7	59.0	–	
	БУ	12.7	41.1	42.5	3.1	7.9	12.4	46.3	62.3	3.3	5.6
$НСР_{05}$											
фактор *А* (почва)		0.33	0.48	3.04			0.66	0.45	2.93		
фактор *Б* (БУ)		0.40	0.39	3.00			0.70	0.46	3.19		

Примечание. К – контроль без удобрения, БУ – бактериальное удобрение азобактерин (обработка посевов). То же в табл. 2, 3.

да и нитратов в среде, а также от свойств штамма-инокулянта (nir+ или nir–) ассоциация может обеспечивать растения азотом либо за счет азотфиксации, либо за счет денитрификации. Повышение ассимиляции азота из почвы и удобрений за счет стимуляции роста растений – также фактор, способствующий накоплению азота в инокулированных растениях [7, 11, 20, 23].

В 2017 г. в полевом опыте на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках изучена эффективность азобактерина (*A. brasilense*) на посевах ярового ячменя Стратус. Эффективность бактериального удобрения существенно повышалась в стрессовых условиях на эродированных почвах. На слабо- и среднеэродированных почвах прибавки от инокуляции посевов азобактерином составили 3.5 и 3.4 ц/га (6.6%) по сравнению с 2.8 ц/га (4.9%) на неэродированной почве. Аналогичные закономерности были отмечены при возделывании озимой ржи сорта Пламя в 2018 г. Азобактерин действовал эффективнее в условиях стресса. На неэродированной почве прибавка от инокуляции посевов составила 2.1 ц/га (3.9%), на слабоэродированной – 2.2 ц/га (4.3%) и на среднеэродированной – 3.0 ц/га (6.5%). В среднем за 2 года эффективность азобактерина составила 3.0 ц к.е./га (4.6%) на водоразделе, 3.5 ц к.е./га (5.6%) на слабо- и 3.8 ц к.е./га (6.5%) на среднеэродированной почве (табл. 2).

Влияние азобактерина на качество продукции зерновых культур проявлялось в повышении содержания сырого протеина в зерне, увеличении сбора сырого белка и массы 1000 зерен. Для ярового ячменя сорта Стратус показатели повышения содержания сырого протеина и сбора сырого белка составили 2.0–2.6% и 1.2–1.6 ц/га, для озимой ржи сорта Пламя – 1.1–1.8% и 0.7–1.0 ц/га соответственно (табл. 3). Таким образом, применение азобактерина при возделывании озимой пшеницы, озимой ржи и ярового ячменя позволило повысить урожайность и качество зерна по содержанию сырого протеина на разных элементах склона.

Гормональный эффект считается одним из основных факторов повышения урожайности при использовании бактериальных удобрений. При внесении азоспирилл наблюдают характерные признаки действия ауксинов и их производных, к которым относятся увеличение объема и массы корней, числа и массы побегов [26]. Краткосрочные *in vitro* эксперименты по определению количественной оценки влияния *A. brasilense* B-4485 на развитие растений в начальные стадии онтогенеза показали, что за счет инокуляции объем корней увеличивался в среднем на 30, их сырая масса – на 54, сырая масса надземной части – на 25% [10]. Однако гормональный эффект может быть не единственным фактором, ответственным за стимуляцию роста при использовании азоспирилл. В работе [8] приведено альтернативное объяснение стимуляции роста: в анаэробных условиях в присутствии нитратов *Azospirillum* (nir+) способны восстанавливать их до нитритов, которые при взаимодействии с аскорбиновой кислотой образуют соединение, способное также существенно

Таблица 2. Влияние азобактерина на урожайность зерновых культур на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках

Вариант		Яровой ячмень, сорт Стратус, 2017 г.			Озимая рожь, сорт Пламя, 2018 г.			Среднее, 2017–2018 гг.		
		урожайность, ц/га	прибавка		урожайность, ц/га	прибавка		урожайность, ц/га к.ед.	прибавка	
			ц/га	%		ц/га	%		ц/га к.ед.	%
Неэродированная почва	К	56.2			54.0			65.8		
	БУ	59.0	2.8	4.9	56.1	2.1	3.9	68.8	3.0	4.6
Слабоэродированная почва	К	53.0			51.3			62.3		
	БУ	56.5	3.5	6.6	53.5	2.2	4.3	65.8	3.5	5.6
Среднеэродированная почва	К	51.8			46.1			58.6		
	БУ	55.2	3.4	6.6	49.1	3.0	6.5	62.4	3.8	6.5
$НСР_{05}$										
фактор *А* (почва)		1.8			2.7			2.4		
фактор *Б* (БУ)		2.8			3.0			2.9		

Таблица 3. Влияние азобактерина на качество зерновых культур на эродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках (2017–2018 гг.)

Вариант		Яровой ячмень сорта Стратус			Озимая рожь сорта Пламя		
		сырой протеин, %	сбор протеина, ц/га	масса 1000 зерен, г	сырой протеин, %	сбор протеина, ц/га	масса 1000 зерен, г
Неэродированная почва	К	11.1	5.4	52.2	9.6	4.5	45.3
	БУ	13.1	6.6	53.8	11.2	5.4	46.6
Слабоэродированная почва	К	9.9	4.5	51.4	9.1	4.0	42.9
	БУ	12.5	6.1	52.4	10.9	5.0	43.6
Среднеэродированная почва	К	9.6	4.3	50.8	9.0	3.6	41.2
	БУ	11.8	5.6	51.6	10.1	4.3	42.8
$НСР_{05}$							
фактор *А* (почва)		0.56		0.30	0.38		0.28
фактор *Б* (БУ)		0.88		0.50	0.69		0.46

стимулировать рост растений. Этот эффект часто ошибочно интерпретируют как гормональный.

Стимуляция развития корневой системы за счет разных механизмов приводит к увеличению поглощающей поверхности корней и обеспечивает повышение адаптивных возможностей инокулированных азобактерином растений по использованию воды [9] и элементов минерального питания из почвы и удобрений [10, 11, 23], что актуально в условиях стресса на эродированных почвах.

Эффективность калипланта на эродированных почвах. Исследования по оценке эффективности калипланта на яровой пшенице проведены в 2004–2007 гг. на наиболее подверженных водно-эрозионным процессам дерново-подзолистых почвах на лессовидных и моренных суглинках. Установлено, что предпосевная обработка семян калиплантом приводила к повышению продуктивности яровой пшеницы по всей почвенно-эрозионной катене. На дерново-подзолистой почве на лессовидных суглинках среднегодовые прибавки от калипланта составили: на водоразделе – 7.8 (11.4%), на среднеэродированной почве – 7.0 (11.5%) и на сильноэродированной – 9.1 ц к.е./га (16.4%). На дерново-подзолистой почве на моренных суглинках прибавки от калипланта составили: на водоразделе – 4.5 (8.3%), на среднеэродированной почве – 3.9 (8.5%) и на сильноэродированной – 5.6 ц к.е./га (14.0%) (рис. 1).

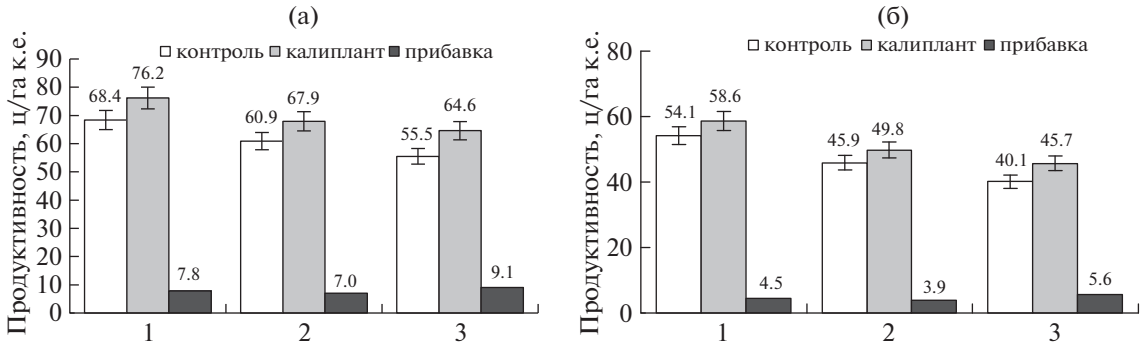

Рис. 1. Среднегодовая продуктивность яровой пшеницы (2004–2007 гг.) на дерново-подзолистых почвах на лессовидных (а) и моренных (б) суглинках; 1 – неэродированная, 2 – среднеэродированная, 3 – сильноэродированная почва.

Тот факт, что наибольший эффект от инокуляции отмечен на сильноэродированных почвах, свидетельствует об антистрессовом действии калипланта. Предпосевная инокуляция семян оказывала значимый адаптационный эффект. В краткосрочных *in vitro* экспериментах стимуляция развития корневой системы и надземной части растений под влиянием калиймобилизующих бактерий проявлялась в увеличении объема корней на 18, их сырой массы – на 24, сухой массы – на 40, сырой и сухой массы надземной части – на 18 и 6% соответственно [10, 27]. Основными факторами адаптации были увеличение поглощающей поверхности корней и способность *B. circulans* повышать подвижность почвенных запасов калия за счет его мобилизации из труднодоступных форм. В специальных *in vitro* экспериментах с калийсодержащими минералами установлена способность *B. circulans* использовать калий мусковита, гидромусковита и биотита, а также использовать разные по степени подвижности формы калия в мусковите [15].

В зависимости от конкретных экологических условий вклад разных механизмов действия калипланта может варьировать. Следует отметить, что на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках, отличающихся высоким содержанием K_2O, в качестве основных действующих факторов адаптации следует рассматривать гормональное действие и биологический контроль фитопатогенов. Вклад микробной мобилизации труднодоступных почвенных форм калия, очевидно, будет несущественным.

Влияние калипланта на качество яровой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах. Наряду с показателями урожайности, приоритетное значение при возделывании зерновых культур на эродированных почвах имеет качество продукции. Изучено влияние калипланта на основные показатели качества зерна 2-х сортов яровой пшеницы при разных способах внесения бактериального удобрения. Калиплант не оказывал существенного влияния на содержание белка в зерне яровой пшеницы. Однако при разных способах его внесения отмечено улучшение качества белка за счет повышения содержания критических (Lys*, Thr* и Met*) и незаменимых (Val, Phe, Ile, Leu) аминокислот.

При возделывании яровой пшеницы на среднеэродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках за счет обработки семян калиплантом аминокислотный скор повышался на 13–19% для сорта Контесса и на 3–4% для сорта Рассвет; на неэродированных почвах для сорта Контесса – на 5, сорта Рассвет – на 2–6%. На сильноэродированных почвах тенденция повышения биологической ценности белка отмечена только для сорта Рассвет, скор критических и незаменимых кислот повышался на 2% (табл. 4).

При возделывании яровой пшеницы сортов Контесса и Рассвет на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на моренных суглинках калиплант (обработка посевов) повышал биологическую ценность белка зерна по всей почвенно-эрозионной катене. Наибольшее положительное влияние отмечено для сорта Контесса. На среднеэродированной почве химическое число повышалось на 6–8, аминокислотный скор – на 8–11%, на неэродированной почве – на 3–5 и 3–7% соответственно. На сильноэродированной почве показатели биологической ценности зерна яровой пшеницы Контесса возрастали несущественно на 2–4% (табл. 5).

При возделывании яровой пшеницы сорта Рассвет значимый положительный эффект отмечен в условиях сильноэродированной почвы – химическое число повышалось на 3–8, аминокислотный скор – на 5–11%, на среднеэродированной почве – на 2–5 и 3–7%, на неэродированной почве – на 4–9 и на 5–12% соответственно. По биологической ценности белок яровой пшеницы, выращенной с применением калипланта, в

Таблица 4. Влияние калипланта на биологическую ценность белка яровой пшеницы на дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках

Почва	Вариант	Lys*, мг/г белка	Содержание аминокислот, мг/г белка		Аминокислотный скор, % к шкале ФАО/ВОЗ	
			ΣАКкр*	ΣАКн	АКкр*	АКн
Яровая пшеница сорта Контесса						
Неэродированная почва	контроль	20.0	80.3	328	67	93
	калиплант	23.5	85.6	342	72	98
Среднеэродированная почва	контроль	19.1	70.1	264	59	75
	Калиплант	26.8	85.4	330	72	94
Сильноэродированная почва	Контроль	18.8	69.0	257	58	73
	Калиплант	19.1	68.5	257	58	74
$НСР_{05}$		3.4				
Яровая пшеница сорта Рассвет						
Неэродированная почва	Контроль	19.9	66.3	255	56	73
	Калиплант	20.6	68.7	276	58	79
Среднеэродированная почва	Контроль	20.7	66.7	258	56	74
	Калиплант	24.4	71.7	268	60	77
Сильноэродированная почва	Контроль	18.2	64.7	258	54	74
	Калиплант	17.3	66.7	266	56	76
$НСР_{05}$		2.8				

Примечание. АКкр* – критические аминокислоты, АКн – незаменимые аминокислоты. То же в табл. 5.

Таблица 5. Влияние калипланта на биологическую ценность белка яровой пшеницы на дерново-подзолистой почве на моренных суглинках

Почва	Вариант	Химическое число		Аминокислотный скор	
		%			
		ΣАКкр*	ΣАКн	АКкр*	АКн
Яровая пшеница Контесса					
Неэродированная почва	Контроль	43	57	58	74
	Калиплант	46	62	61	81
Среднеэродированная почва	Контроль	44	58	59	76
	Калиплант	50	66	67	87
Сильноэродированная почва	Контроль	47	62	63	81
	Калиплант	50	65	65	85
Яровая пшеница Рассвет					
Неэродированная почва	Контроль	35	50	46	65
	Калиплант	44	54	58	70
Среднеэродированная почва	Контроль	39	54	51	70
	Калиплант	44	56	58	73
Сильноэродированная почва	Контроль	38	54	50	70
	Калиплант	46	57	61	75

большей степени соответствовал требованиям ФАО/ВОЗ.

Антагонистическая активность *A. brasilense* и *B. circulans* по к отношению фитопатогенным грибам рр. *Fusarium* и *Alternaria*. Факторами, влияющими на урожайность зерновых культур, являются антагонистические свойства азоспирилл и слизистых бацилл по отношению к фитопатогенам р. *Fusarium* – возбудителям распространенных болезней зерновых культур. В исследованиях *in vitro* по оценке активности биологического контроля у азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий по отношению к фитопатоген-

Таблица 6. Антагонистическая активность *A. brasilense* и *B. circulans* по отношению к фитопатогенным грибам рр. *Fusarium* и *Alternaria*

Фитопатогенный микромицет	ИРРГ, %							
	A. brasilense				*B. circulans*			
	Время экспозиции, сут							
	3	5	7	10	3	5	7	10
F. poae	15.1	27.8	43.9	44.1	26.1	27.5	42.3	42.3
F. oxysporum	9.1	19.0	33.7	34.8	14.2	22.4	25.8	26.3
F. graminearum	33.7	37.9	40.6	41.0	13.7	35.5	37.3	37.9
Alternaria sp.	17.3	23.9	25.4	27.3	12.9	20.0	27.4	29.2

Примечание. ИРРГ – ингибирование радиального роста гриба.

ным грибам установлено, что за счет штамма *A. brasilense* ингибирование радиального роста гриба *F. poae* на 5-е сут составило 27.8, на 7-е сут – 43.9, на 10-е сут – 44.1%; за счет *B. circulans* – 27.5, 42.3 и 42.3% соответственно. Ингибирование радиального роста гриба *F. oxysporum* азотфиксирующими бактериями на 5-е сут составило 19.0, на 7-е сут – 33.7 и на 10-е сут – 34.8%; для калиймобилизующих бактерий – 22.4, 25.8 и 26.3% соответственно (табл. 6). Данные свидетельствовали о фунгистатическом потенциале азотфиксирующих и калиймобилизующих бактерий, что позволяло сдерживать развитие болезней в посевах зерновых культур.

Бактериальные удобрения азобактерин и калиплант способны повышать адаптационный потенциал зерновых культур в стрессовых условиях на эродированных почвах за счет полифункционального положительного действия на растения, что в итоге приводит к повышению урожайности и качества продукции зерновых культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что на эродированных почвах, где зерновые культуры подвержены стрессу, применение азобактерина и калипланта повышало их адаптационный потенциал за счет прямого стимулирующего действия штаммов *A. brasilense* ВКПМ В-4485 и *Bacillus circulans* БИМ В-376Д (гормональный эффект, улучшение минерального питания) и непрямого влияния (биологический контроль фитопатогенов). Аддитивное действие азобактерина и калипланта приводило к повышению урожайности и качества продукции зерновых культур на эродированных почвах.

Наибольшее положительное влияние на урожайность, как правило, отмечали в условиях стресса на средне- и сильноэродированных почвах. Эффективность азобактерина на яровом ячмене сорта Стратус и озимой ржи сорта Пламя в среднем составила 4.6% на неэродированной почве, 5.6% и 6.5% на слабо- и среднеэродированных дерново-подзолистых почвах на лессовидных суглинках; на озимой пшенице Богатка – 5.0, 5.5 и 5.6% на водоразделе, средне- и сильноэродированных дерново-подзолистых на лессовидных суглинках; на моренных суглинках – 5.9, 5.3 и 7.9% соответственно. Эффективность калипланта на яровой пшенице на дерново-подзолистой почве на лессовидных суглинках составила: на водоразделе – 11.4%, средне- и сильноэродированных почвах – 11.5 и 16.4%; на моренных суглинках на водоразделе – 8.3%, средне- и сильноэродированной почвах – 8.5 и 14.0%.

Азобактерин повышал содержание и сбор сырого протеина в зерне ярового ячменя сорта Стратус на 2.0–2.6% и 1.2–1.6 ц/га, в зерне озимой ржи сорта Пламя – на 1.1–1.8% и 0.7–1.0 ц/га соответственно. Калиплант не оказывал влияния на содержание белка в зерне яровой пшеницы, однако при разных способах его внесения отмечено улучшение качества белка за счет повышения содержания критических (Lys*, Thr* и Met*) и незаменимых (Val, Phe, Ile, Leu) аминокислот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Черныш А.Ф., Лапа В.В., Касьянчик С.А., Юхновец А.В., Устинова А.М., Дубовик А.Э., Чижиков Ю.А., Мандрик М.Л., Аношко В.С., Качков Ю.П.* Проектирование противоэрозионных комплексов и использование эрозионно опасных земель в разных ландшафтных зонах Беларуси. Рекомендации. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, 2005. 52 с.
2. *Черныш А.Ф., Качков Ю.П., Касьяненко И.И.* Экологически безопасное использование земель холмисто-моренных ландшафтов Белорусского Поозерья // Природн. ресурсы. 2003. № 2. С. 21–36.
3. *Косинова Л.Ю., Гантимурова Н.И., Танасиенко А.А.* Влияние эрозии на микробные сообщества черноземов Западной Сибири // Почвоведение. 1993. № 8. С. 72–80.
4. *Михайловская Н.А., Черныш А.Ф., Погирницкая Т.В., Юхновец А.В.* Ферментативная активность эродированных дерново-подзолистых почв на мощных моренных суглинках // Почвовед. и агрохим. 2013. № 2 (51). С. 123–133.
5. *Danneberg G., Kronenberg A., Neuer G. and Bothe H.* Aspects of nitrogen fixation and denitrification by *Azospirillum* // Plant Soil. 1986. V. 90. P. 193–202.
6. *Bothe H., Klein B., Stephan M.P., Dobereiner J.* Transformations of inorganic nitrogen by *Azospirillum* spp. // Arch. Microbiol. 1981. V. 130. P. 96–100.

7. *Steenhoudt O., Vanderleyden J. Azospirillum*, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects // FEMS Microbiol. Rev. 2000. V. 24. Iss. 4. P. 487–506.
8. *Zimmer W., Roeben K., Bothe H.* An alternative explanation for plant growth promotion by bacteria of the genus *Azospirillum* // Planta. 1988. V. 176. P. 333–342.
9. *Sarig S., Blum A., Okon Y.* Improvement of the water status and yield of field grown grain sorghum (*Sorghum bicolor*) by inoculation with *Azospirillum brasilense* // J. Agric. Sci. Camb. 1988. V. 110. P. 271–277.
10. *Михайловская Н.А., Миканова О., Барашенко Т.Б., Барашенко Т.В.* Активность фосфатмобилизации у ризобактерий // Почвовед. и агрохим. 2007. № 1 (38). С. 225– 231.
11. *Нестеренко В.Н., Карягина Л.А., Барашенко Т.Б., Михайловская Н.А., Курилович Н.Н., Мороз Г.В.* Штамм ассоциативных азотфиксирующих бактерий *Azospirillum brasilense* В-4485 для обработки семян зерновых культур и многолетних злаковых трав: Пат. 4632, РБ / А.Б. 2002. № 3. С. 90.
12. *Аристовская Т.В.* Микробиология процессов почвообразования. Л.: Наука, 1980. 187 с.
13. *Bennett P.C.* Quartz dissolution in organic rich aqueous system // Geochim. Cosmochim. Acta. 1991. V. 55. P. 1781–1797.
14. *Welch S.A., Ullman W.J.* The effect of soluble organic acids on feldspar dissolution rates and stoichiometry // Geochim. Cosmochim. Acta. 1993. V. 57. P. 2725–2736.
15. *Михайловская Н.А.* Количественная оценка активности калиймобилизующих бактерий и их эффективность на посевах озимой ржи // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. 2006. № 3. С. 41–46.
16. *Mikhailouskaya N., Tchernysh A.* K-mobilizing bacteria and their effect on wheat yield // Agronomijas vestis (Latv. J. .Agron.). 2005. V. 8. P. 147–150.
17. *Михайловская Н.А., Богдевич И.М., Журавлева О.В., Барашенко Т.Б., Курилович Н.Н., Дюсова С.В.* Штамм бактерий *Bacillus circulans* БИМ В-376Д для бактеризации семян зерновых культур: Пат. 9646, РБ // А.Б. 2007. № 4 (57). С. 112.
18. *Егоров Н.С.* Руководство к практическим занятиям по микробиологии. М.: Изд-во МГУ, 1995. 217 с.
19. *Богдевич И.М., Лапа В.В., Босак В.Н., Ивахненко Н.Н., Шмигельская И.Д., Путятин Ю.В.* Рекомендации по определению биологической ценности белка сельскохозяйственных культур. Минск, 2005. С. 13–15.
20. *Нестеренко В.Н.* Использование ассоциативных микроорганизмов для повышения урожайности ячменя и многолетних злаковых трав: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Минск, 1993. 23 с.
21. *Bashan Y., Levanony H., Ziv-Vecht O.* The fate of field-inoculated *Azospirillum brasilense* Cd in wheat rhizosphere during the growing season // Can. J. Microbiol. 1987. V. 33. P. 1074–1079.
22. *Bashan Y.* Short exposure to *Azospirillum brasilense* Cd inoculation enhanced proton efflux of intact wheat roots // Can. J. Microbiol. 1990. V. 36. P. 419–425.
23. *Okon Y., Kapulnik Y.* Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots // Plant Soil. 1986. V. 90. P. 3–16.
24. *Михайловская Н.А., Барашенко Т.Б., Погирницкая Т.В., Дюсова С.В.* Бинарная композиция *A. brasilense* + *B. circulans* и ее эффективность для инокуляции озимой пшеницы на эродированных дерново-подзолистых суглинистых почвах // Почвовед. и агрохим. 2017. № 1 (58). С. 187–199.
25. *Boddy R.M., Dobereiner J.* Nitrogen fixation associated with grasses and cereals: Recent progress and perspectives for future // Fertil. Res. 1995. V. 42. P. 241–250.
26. *Bashan Y., Levanony H.* Current status of *Azospirillum* inoculation technology: *Azospirillum* as a challenge for agriculture // Can. J. Microbiol. 1990. V. 36. P. 591–608.
27. *Михайловская Н.А., Лученок Л.Н., Курилович Н.Н., Дюсова С.В., Журавлева О.В.* Влияние силикатных бактерий на развитие проростков ячменя и пшеницы // Почвенные исследования и применение удобрений. 2003. Вып. 27. С. 316–324.

Efficiency of Biofertilizers Azobacterin and Kaliplant for Grain Crops Growing on Eroded Sod-Podzolic Soils

V. V. Lapa[a], N. A. Mikhailouskaya[a,#], S. A. Kasyanchyk[a], N. N. Tsybulko[a], and T. B. Barashenko[a]

[a] *Belarusian Research Institute for Soil Science and Agrochemistry*
ul. Kazintsa 62, Minsk 220108, Belarus
[#]*E-mail: bionf1@yandex.ru*

Adaptation of plants is of importance under growing in stress conditions on eroded soils. Application of biofertilizers azobacterin and kaliplant lead to the improvement of plant adaptive potential as a result of direct stimulation effect (phytohormons, plant nutrition improvement) as well as indirect influence (biological control of phytopatogens). Additive impact of azobacterin and kaliplant on plant growth and nutrition provided crop yields and crop quality increase on eroded soddy-podzolic soils. As a rule the largest positive effect on crop yield was observed in stress conditions on moderately and severely eroded soils. Azobacterin application resulted in the increase of crude protein content in grain of spring barley and winter rye. Kaliplant application resulted in the increase of critical and indispensable amino acids contents in spring wheat protein.

Key words: azobacterin, kaliplant, adaptation, eroded sod-podzolic loamy soil and crops.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 37–42

УДК 631.811:633.812:551.5(470.345)

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МЕЛИССЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ

© 2020 г. И. А. Хапугин[1], А. В. Ивойлов[1,*]

[1] *Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева*
430005 Саранск, ул. Большевистская, 68, Россия
**E-mail: ivoilov.av@mail.ru*

Поступила в редакцию 22.03.2019 г.
После доработки 13.04.2019 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

В полевом мелкоделяночном опыте на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в условиях неустойчивого увлажнения Республики Мордовия изучено влияние минеральных удобрений на продуктивность мелиссы лекарственной (*Melissa officinalis* L.). Установлено, что урожайность листостебельной массы и семян, выход эфирного масла различались по годам и зависели как от метеорологических условий периода вегетации, так и от внесения минеральных удобрений. Показано, что наибольший сбор воздушно-сухой массы мелиссы (1.14 кг/м^2) отмечен в 2014 г. в условиях благоприятного гидротермического режима в период формирования листостебельной массы растений, наименьший (0.38 кг/м^2) – в 2018 г. (ГТК = 0.33). Внесение удобрений увеличивало урожайность листостебельной массы мелиссы лекарственной в среднем за 2 года с 3.10 до 3.24–3.98 кг/м^2. При внесении Р60К90 получен максимальный сбор семян (60.0 г/м^2) и выход эфирного масла (9.90 кг/га). Изменения компонентного состава масла определяли погодные условия и применение удобрения.

Ключевые слова: минеральные удобрения, мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.), продуктивность, выход эфирного масла, качество эфирного масла.

DOI: 10.31857/S0002188120020076

ВВЕДЕНИЕ

Мелисса лекарственная (*Melissa officinalis* L.) – ценное многолетнее травянистое растение семейства Яснотковые (Губоцветные) – Lamiaceae, известное в культуре с конца XVII века, занимает одно из ведущих мест в производстве эфирных масел, которое широко используется в медицинской, пищевой, парфюмерно-косметической, ликероводочной отраслях народного хозяйства, как медонос [1–3].

Потребность страны в масле мелиссы весьма велика: по экспертным оценкам для всех нужд его ежегодно требуется порядка 500 т. Различные отрасли хозяйства России обеспечиваются отечественным сырьем незначительно; большая часть эфирного масла импортируется из-за рубежа, затрачивая на это десятки миллионов долларов США [4]. В связи с этим весьма актуально увеличение урожайности за счет улучшения приемов агротехники и расширение посевных площадей этой ценной культуры, в том числе посредством интродукции в новые районы, пригодные для ее возделывания [4–6].

В настоящее время накоплен большой материал, свидетельствующий о высокой эффективности применения минеральных и органических удобрений под традиционные сельскохозяйственные культуры. В отношении эфиромасличных растений, особенно в новых районах их возделывания, таких публикаций исключительно мало [7, 8].

Цель работы – изучение влияния минеральных удобрений на урожайность листостебельной массы и семян мелиссы лекарственной в условиях неустойчивого увлажнения лесостепи Среднего Поволжья, на выход и показатели качества эфирного масла.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2014–2018 гг. в мелкоделяночном полевом опыте, заложенном в 2013 г. в Ромодановском р-не Республики Мордовия на черноземе выщелоченном тяжелосуглини-

Таблица 1. Метеорологические условия вегетационных периодов 2013–2018 гг.

Год	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь		
	декады														
	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я
Среднесуточная температура воздуха, °C															
2014	10.9	18.6	19.7	27.0	13.6	14.3	19.6	21.0	18.9	21.2	21.3	16.5	14.1	11.0	11.0
2015	13.1	12.5	21.7	17.6	19.4	23.4	19.2	16.7	19.8	17.9	15.4	15.0	13.8	13.7	18.9
2016	12.6	13.0	17.8	13.5	19.9	20.4	19.0	22.3	20.8	23.0	22.1	20.1	13.4	9.6	9.0
2017	13.2	10.3	13.0	12.4	15.8	16.5	16.1	19.5	20.2	20.5	19.1	17.6	13.7	16.0	7.2
2018	15.5	16.5	14.1	12.3	15.3	22.5	22.9	21.7	21.4	20.9	19.4	18.7	18.1	15.9	11.4
Норма	11.8	13.2	14.8	16.6	17.8	18.4	18.6	19.2	19.1	18.7	16.7	15.6	14.0	11.3	8.6
Осадки, мм															
2014	9	10	7	7	8	34	2	2	2	10	5	31	2	2	3
2015	2	10	0	10	0	33	13	28	5	22	11	8	0	1	0
2016	9	7	20	14	7	10	16	1	45	1	21	0	10	9	30
2017	8	6	22	23	19	10	89	16	15	5	0	9	35	9	5
2018	9	4	6	17	3	0	13	7	23	5	0	2	0	0	24
Норма	10	13	14	15	23	20	30	19	23	19	20	13	13	17	19
Гидротермический коэффициент по Селянинову (ГТК)															
2014	0.51			0.89			0.10			0.76			0.19		
2015	0.26			0.71			0.80			0.78			0.02		
2016	0.85			0.58			0.97			0.33			2.29		
2017	1.13			1.20			2.07			0.24			1.59		
2018	0.46			0.40			0.63			0.12			0.53		
Норма	0.92			1.09			1.20			0.95			2.26		

стом со следующими агрохимическими показателями пахотного (0–27 см) слоя: pH_{KCl} (ГОСТ 26483-85) 6.1 ± 0.5, pH_{H_2O} (ГОСТ 26423-85) 6.9 ± 0.4, гидролитическая кислотность (ГОСТ 26212-91) – 2.8 ± 0.6 смоль/кг почвы, сумма поглощенных оснований (ГОСТ 27821-88) – 41.8 ± 2.2 смоль/кг, содержание гумуса (ГОСТ 26213-91) – 10.9 ± 1.0%, подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91) 320 ± 32 и 120 ± 12 мг/кг соответственно. По агрохимическим свойствам участок под опытом отличался от типичных в республике показателей для данной разновидности почв более высоким содержанием гумуса и подвижных форм фосфора [9, 10], но вполне оптимальными по своим параметрам для выращивания мелиссы лекарственной [11].

В 2014–2016 гг. проводили учеты продуктивности мелиссы на неудобренном фоне, затем в 2017 г. был развернут опыт по диагностической схеме Пауля Вагнера, варианты: 1 – без удобрений (контроль), 2 – N45P60, 3 – N45K90, 4 – P60K90, 5 – N45P60K90. Размещение вариантов в опыте случайное (рендомизированное), повторность четырехкратная.

Удобрения в форме $N_{аа}$, $P_{сг}$ и $K_{мг}$ вносили вручную весной под обработку почвы незадолго перед посадкой рассады культуры согласно схеме опыта, впоследствии – в начале периода вегетации растений.

Площадь элементарной делянки составляла 3.3 м^2 (2.2 × 1.5 м). На делянке высаживали 15 растений по схеме 50 × 30 см. Выращивание рассады, посадка растений и уход за ними осуществлялись в соответствии с рекомендациями [12].

Погодные условия в годы проведения исследований были различными, но типичными для региона с неустойчивым гидротермическим режимом в период вегетации растений (табл. 1).

Учет урожая проводили в соответствии с [13] с некоторыми изменениями и дополнениями применительно к культуре: листостебельной массы в 2 укоса в начале цветения по 10 растениям с делянки, оценку семенной продуктивности – по 5 растениям, убранным в фазу технической спе-

Таблица 2. Продуктивность мелиссы лекарственной

Год	Урожайность			Сбор эфирного масла, кг/га
	листостебельной массы	воздушно-сухой массы	семян	
	кг/м^2		г/м^2	
Без удобрений (контроль)				
2014	5.30 ± 1.24	1.14 ± 0.55	34.8 ± 11.5	
2015	4.75 ± 1.82	0.90 ± 0.44	32.1 ± 12.2	Не определяли
2016	4.29 ± 1.40	0.88 ± 0.38	34.1 ± 9.1	
2017	4.55 ± 1.84	1.10 ± 0.63	41.0 ± 18.3	10.9 ± 4.4
2018	1.65 ± 0.52	0.38 ± 0.11	25.5 ± 8.1	4.0 ± 1.3
N45P60				
2017	4.75 ± 2.75	1.04 ± 0.37	55.2 ± 41.5	9.5 ± 5.5
2018	1.74 ± 0.99	0.32 ± 0.06	8.4 ± 11.1	3.5 ± 2.0
N45K90				
2017	5.14 ± 2.55	1.15 ± 0.54	64.2 ± 85.8	12.9 ± 5.6
2018	2.29 ± 1.38	0.49 ± 0.24	26.3 ± 13.0	5.7 ± 3.5
P60K90				
2017	5.04 ± 1.11	1.05 ± 0.15	71.2 ± 77.5	14.6 ± 3.2
2018	1.78 ± 0.75	0.45 ± 0.18	48.8 ± 4.3	5.2 ± 2.1
N45P60K90				
2017	5.21 ± 2.11	1.11 ± 0.38	54.0 ± 22.0	11.5 ± 4.7
2018	2.74 ± 1.34	0.68 ± 0.30	25.4 ± 15.7	6.0 ± 2.9

лости (при молочно-восковой спелости семян в соцветиях у 75% растений). Расчеты урожая и сбор эфирного масла с единицы площади осуществляли по общепринятой методике [14]. Массовую долю эфирного масла определяли гидродистилляцией по [15, 16], качественный анализ эфирного масла – в Испытательной лаборатории Саратовского национального исследовательского госуниверситета им. Н.Г. Чернышевского (аттестат аккредитации № SSAQ 000.10.1.0306 от 16.10.2018 г.). Полученные результаты обработаны методом вариационной статистики [17] с применением программ “Stat 3” и Excel 2003.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показано, что продуктивность мелиссы лекарственной в условиях Республики Мордовия различалась по годам и зависела как от метеорологических условий периода вегетации, так и от реакции растений на внесение удобрений (табл. 2). В варианте без применения удобрений наивысший сбор сырья был получен в 2014 г. с благоприятным гидротермическим режимом в период формирования листостебельной массы растений. Наименьшая продуктивность была зафиксирована в 2018 г. в условиях недостаточного увлажнения, когда с мая по 2-ю декаду сентября включительно выпало 89 мм осадков, или 37% от климатической нормы, а ГТК за период вегетации составил 0.33, что свидетельствовало об очень сильной засухе [18].

Внесение удобрений увеличивало урожайность мелиссы лекарственной. Например, если в среднем за 2017–2018 гг. в варианте без применения удобрений сбор листостебельной массы составил 3.10 кг/м^2, то при внесении N45P60 – 3.24, N45K90 – 3.72, P60K90 – 3.41 и N45P60K90 – 3.98 кг/м^2. Анализ полученных результатов с использованием алгоритма Ф. Йетса [14] свидетельствовал, что наибольшее долевое участие в повышении прибавки урожайности листостебельной массы мелиссы приходилось на калийное удобрение (47%), наименьшее – на фосфорное (17%). Аналогичная закономерность отмечена и для выхода воздушно-сухой массы растений: 49% в суммарной прибавке урожая обеспечивало внесение калийного удобрения, 33% – азотного и 18% – фосфорного.

Наибольший сбор семян отмечен при внесении P60K90. В среднем за 2 года исследования прибавка в этом варианте составила 26.8 г/м^2, или 81% к неудобренному контролю. Внесение

Таблица 3. Компонентный состав эфирного масла мелиссы лекарственной, %

Компонент эфирного масла	Варианты				
	контроль	NP	NK	PK	NPK
2017 г.					
Линалоол (3,7-диметил-1,6-октадиен-3-ол)	8	12	11	9	14
Цитронеллаль (3,7-диметил-6-октеналь)	15	15	13	10	16
Цитронеллол (3,7-диметил-6-октен-1-ол)	4	5	5	4	3
Нерол [α-(*цис*-3,7-диметил-2,7-октадиен-1-ол), β-(*цис*-3,7-диметил-2,6-октадиен-1-ол)]	2	3	3	1	4
Нераль (3,7-диметил-2,6-октадиеналь, Z-изомер)	17	9	8	12	14
Гераниол [α-(*транс*-3,7-диметил-2,7-октадиен-1-ол), β-(*транс*-3,7-диметил-2,6-октадиен-1-ол)]	19	13	16	18	11
Гераниаль (E-3,7-диметил-2,6-октадиеналь)	11	17	16	18	18
β-карнофиллен	13	7	8	12	7
Прочие	11	19	20	16	13
2018 г.					
Линалоол (3,7-диметил-1,6-октадиен-3-ол)	15	16	14	11	19
Цитронеллаль (3,7-диметил-6-октеналь)	14	14	15	11	13
Цитронеллол (3,7-диметил-6-октен-1-ол)	7	8	11	9	9
Нерол [α-(*цис*-3,7-диметил-2,7-октадиен-1-ол), β-(*цис*-3,7-диметил-2,6-октадиен-1-ол)]	3	2	3	2	1
Нераль (3,7-диметил-2,6-октадиеналь, Z-изомер)	10	7	7	9	10
Гераниол [α-(*транс*-3,7-диметил-2,7-октадиен-1-ол), β-(*транс*-3,7-диметил-2,6-октадиен-1-ол)]	16	13	13	15	8
Гераниаль (E-3,7-диметил-2,6-октадиеналь)	10	15	16	17	15
β-карнофиллен	10	8	9	10	7
Прочие	15	17	12	16	18

P60K90 также увеличивало в среднем за 2 года сбор эфирного масла с 7.45 кг/га (контроль без удобрений) до 9.90 кг/га. Близкую результативность обеспечивало внесение дозы N45K90.

Отзывчивость мелиссы на внесение удобрений определялась и условиями увлажнения. Более весомые прибавки урожайности листостебельной и воздушно-сухой массы мелиссы получены в 2017 г., когда в период активного роста растений выпало достаточное количество осадков (141 мм при климатической норме 88 мм).

Определение компонентного состава эфирного масла мелиссы лекарственной позволило идентифицировать около 10 компонентов, основными среди которых были монотерпеновые соединения: линалоол (8–19%), цитронеллаль (10–16%), цитронеллол (3–11%), нерол (1–4%), нераль (8–17%), гераниол (11–19%), гераниаль (10–18%), β-карнофиллен (7–13%); на прочие химические соединения приходилось от 11 до 20% (табл. 3).

Отмечены значительные изменения в составе эфирного масла как по годам, так и в вариантах опыта, что свидетельствовало о том, что почвенно-климатические условия произрастания растений влияют на количественное содержание отдельных химических соединений [19, 20]. Например, в эфирном масле мелиссы лекарственной в 2018 г. в условиях засухи увеличивалось по сравнению с 2017 г. долевое содержание линалоола, цитронеллаля, цитронеллола и уменьшалось – нераля, гераниола и гераниаля.

В условиях 2017 г. внесение минеральных удобрений во всех сочетаниях приводило к снижению в эфирном масле мелиссы долевого участия нераля и гераниола и к увеличению гераниаля и β-карнофиллена, но не влияло на долевое содержание в нем цитронеллола; увеличение массовой доли линалоола и цитронеллаля наблюдали в основном при внесении азота в составе минеральных удобрений. В условиях 2018 г. внесение удобрений увеличивало долевое содержание в эфирном масле гераниаля и цитронел-

лола и снижение нерола и ß-карнофиллена. При этом не выявлено значительных изменений в содержании основных компонентов, приводящих к ухудшению качества эфирного масла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, урожайность листостебельной массы и семян мелиссы лекарственной, выход эфирного масла из растительного сырья различались по годам и зависели как от метеорологических условий периода вегетации, так и от внесения минеральных удобрений.

Наибольший сбор воздушно-сухой массы мелиссы в варианте без удобрений (1.14 кг/м^2) был получен в 2014 г. с благоприятным гидротермическим режимом в период формирования листостебельной массы растений, наименьший (0.38 кг/м^2) – в условиях засухи 2018 г. (ГТК = 0.33).

Внесение удобрений увеличивало урожайность листостебельной массы мелиссы лекарственной в среднем за 2 года с 3.10 до 3.24–3.98 кг/м^2. При этом наибольшее долевое участие в повышении прибавки урожайности листостебельной и воздушно-сухой массы мелиссы приходилось на калийное удобрение, наименьшее – на фосфорное.

Максимальный сбор семян отмечен при внесении P60K90 (в среднем за 2 года исследования прибавка в этом варианте составила 26.8 г/м^2, или 81% к неудобренному контролю – 33.2 г/м^2). Применение фосфорно-калийных удобрений также увеличивало в среднем за 2 года сбор эфирного масла с 7.45 кг/га (контроль без удобрений) до 9.90 кг/га. Компонентный состав эфирного масла варьировал как по годам, так и в вариантах опыта: в условиях засухи 2018 года увеличивалось по сравнению с 2017 г. долевое содержание линалоола, цитронеллаля, цитронеллола, и уменьшалось – нераля, гераниола и гераниаля.

Авторы благодарят канд. биол. наук Алексея Владимировича Панина (Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского) за предоставленные семена сортосмеси мелиссы лекарственной и оказание помощи с проведением компонентного анализа эфирного масла и ст. лаборанту Наталье Александровне Санягиной (Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева) за методическую помощь при проведении агрохимических анализов почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Машанов В.И.* Новые эфиромасличные культуры. Симферополь: Таврия, 1988. 215 с.
2. *Полуденный Л.В.* Эфиромасличные и лекарственные растения. М.: Колос, 1989. 282 с.
3. *Назаренко Л.Г.* Эфиромасличные, пряно-ароматические и лекарственные растения. Симферополь: Таврия, 2003. 217 с.
4. *Черкашина Е.В.* Экономика и организация рационального использования и охраны земель эфиромасличной и лекарственной отрасли в Российской Федерации: Автореф. дис. ... д-ра экон. наук. М., 2014. 40 с.
5. *Баханова М.В., Намзалов Б.Б.* Интродукция растений. Улан-Удэ: Изд-во Бурят. ун-та, 2009. 207 с.
6. *Викторов В.П., Черняева Е.В.* Интродукция растений: уч. пособ. М.: Прометей, 2013. 207 с.
7. *Аутко А.А., Рупасова Ж.А., Аутко А.А.* Влияние минерального питания и погодных условий на элементный состав надземной массы пряно-ароматических лекарственных растений сем. Яснотковых в Беларуси // Весці Акадэміі аграрных навук Рэспублікі Беларусь. 2002. № 2. С. 55–58.
8. *Аутко А.А., Позняк О.В., Аутко А.А.* Эффективность применения минеральных и органических удобрений при возделывании пряно-ароматических и лекарственных растений // Почвовед. и агрохим. 2005. № 1 (34). С. 157–160.
9. *Клочков А.М.* Почвы Мордовии, их использование и улучшение. Саранск: Мордов. кн. изд-во, 1978. 324 с.
10. *Щетинина А.С.* Почвенный покров и почвы Мордовии / Под ред. Ахтырцева Б.П. Саранск: Изд-во Сарат. ун-та, Саран. филиал, 1988. 200 с.
11. *Полуденный Л.В.* Эфиромасличные и лекарственные растения. М.: Колос, 1989. 282 с.
12. *Шаламова Е.Л.* Технология возделывания лекарственных растений. Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2009. 54 с.
13. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 3. Масличные, эфиромасличные, лекарственные и технические культуры, шелковица, тутовый шелкопряд / Под ред. Федина М.А. М., 1983. 184 с.
14. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
15. *Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И., Ярош Н.П., Луковникова Г.А.* Методы биохимических исследований растений. Л.: Колос, 1972. 456 с.
16. *Сидоров И.И., Турышева Н.А., Фалеева Л.П., Ясюкевич Е.И.* Технология натуральных эфирных масел и синтетических душистых веществ. М.: Легкая и пищ. пром-ть, 1984. 368 с.
17. *Зайцев Г.Н.* Математический анализ биологических данных. М.: Наука, 1991. 184 с.
18. Справочник агронома по сельскохозяйственной метеорологии: Нечерноземная зона Европейской

части РСФСР / Под ред. Грингофа И.Г. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. 526 с.
19. *Володарский Л.И.* Практическое руководство по сбору и заготовке дикорастущих лекарственных растений. М., 1989. 112 с.
20. *Ефремов А.А., Зыкова И.Д., Горбачев А.Е.* Компонентный состав эфирного масла надземной части мелиссы лекарственной окрестностей Красноярска по данным хромато-масс-спектрометрии // Химия раст. сырья. 2015. № 1. С. 77–81.

Effect of Mineral Fertilizers and Weather Conditions on the Lemon Balm Productivity in Republic of Mordovia

I. A. Khapugin[a] and A. V. Ivoilov[a,#]

[a] *Ogarev Mordovia State University*
Bolshevistskaya ul. 68, Saransk 430005, Russia
[#]*E-mail: ivoilov.av@mail.ru*

Under conditions of unstable moisture of the Republic of Mordovia, we studied the effect of mineral fertilizers and weather conditions on the *Melissa officinalis* L. productivity during the small-plot field experiment on leached heavy loamy chernozem. We found that the yield of leafy mass and seeds, the essential oil yield differed by year and depended on the meteorological conditions of the growing season and on the mineral fertilizers treatment. The highest yield of *M. officinalis* air-dry weight (1.14 kg/m^2) has been occurred in 2014 under conditions of favorable hydrothermal regime during the formation of leafy-stem mass of plants, the lowest yield (0.38 kg/m^2) has been found in 2018 (hydrothermal index: 0.33). The fertilizers treatment increased the leafy-stem mass of *M. officinalis* in average from 3.10 kg/m^2 to 3.24–3.98 kg/m^2. The maximal seed yield (60.0 g/m^2) and essential oil yield (9.90 kg/ha) was found after treatment of P60K90 fertilizer. The weather conditions and applied fertilizers were determining the changes in essential oil contents.

Key words: mineral fertilizers, lemon balm (*Melissa officinalis* L.), productivity, essential oil yield, quality of essential oil.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 43–50

УДК 546.47:547.233.1:548.537:548.58:631.81.095.337:633.31/37

ПОЛУЧЕНИЕ (1-ГИДРОКСИЭТИЛИДЕН)ДИФОСФОНАТА ЦИНКА(II) И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В КАЧЕСТВЕ МИКРОУДОБРЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР[1]

© 2020 г. В. В. Семенов[1,*], Н. В. Золотарева[1], Б. И. Петров[1], Н. М. Лазарев[1], Е. Н. Разов[2,3], А. О. Сюбаева[4,], Н. А. Кодочилова[4]**

[1] Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН
603950 Нижний Новгород, Бокс-445, ул. Тропинина, 49, Россия
[2] Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
603950 Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23, Россия
[3] Институт проблем машиностроения РАН – филиал Федерального исследовательского центра "Институт прикладной физики РАН"
603024 Нижний Новгород, ул. Белинского, 85, Россия
[4] Нижегородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого
607686 Нижегородская обл., Кстовский р-н, с.п. Селекционной станции, ул. Центральная, 38, Россия
**E-mail: vvsemenov@iomc.ras.ru*
***E-mail: anstsub@mail.ru*

Поступила в редакцию 06.02.2019 г.
После доработки 23.04.2019 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

Представлены результаты исследования синтеза (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка, его физико-химических свойств, получение на его основе водных растворов и изучение их влияния на урожайность и химический состав зернобобовых культур. Установлены достоверные прибавки урожайности полевого гороха сорта Красивый от использования хелатной формы цинка: в качестве внекорневой подкормки – 0.44 т/га и при обработке семян – 0.53 т/га. При использовании хелатной формы цинка увеличилось содержание фосфора и калия в семенах гороха посевного сорта Стабил – до 0.64 и 1.29% соответственно, а также повысилось количество азота и калия в семенах люпина белого сорта Дега –до 6.74 и 1.36% соответственно.

Ключевые слова: (1-гидроксиэтилиден)дифосфонат цинка(II), микроудобрения, урожайность, зернобобовые культуры.

DOI: 10.31857/S000218812002012X

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время наряду с общеизвестными видами и формами удобрений в распоряжение сельскохозяйственных производителей поступили новые комплексные удобрения, в состав которых входит набор жизненно необходимых микроэлементов в хелатной форме. Они являются биологически активными, способны легко транспортироваться и усваиваться растениями. Высокие результаты достигаются при использовании координационных соединений – комплексонатов биометаллов, которые способны давать устойчивые водные растворы при различных температурных условиях окружающей среды. Они являются ценными микроудобрениями, эффективность действия которых может превышать действие обычных неорганических солей. Высокая растворимость в воде комплексонатов металлов является важным фактором для успешного использования их в сельском хозяйстве в качестве микроудобрений. Многие координационные соединения металлов обладают малой растворимостью в водной среде, что является препятствием к их использованию. Задача исследователей-хими-

[1] Работа выполнена в рамках Госзадания (тема № 45.8 "Химия функциональных материалов", рег. № 0094-2016-0012), поддержана РАН, Программа № 35 Президиума РАН "Научные основы создания новых функциональных материалов". При выполнении работы использовали приборы Центра коллективного пользования ННГУ Научно-образовательного центра "Физика твердотельных наноструктур" и Аналитического центра Института металлоорганической химии РАН.

ков заключается в нахождении растворимых форм или в получении устойчивых коллоидных растворов. Ранее предложили [1–3] способ повышения растворимости (1-гидроксиэтилиден)дифосфонатов металлов посредством присоединения к ним органических аминов, содержащих гидроксильные группы или олигоэтиленгликолевый фрагмент. В настоящей работе представлены результаты исследования синтеза труднорастворимого (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка, его физико-химических свойств, получение на его основе водных растворов и испытаний их действия на урожайность зернобобовых культур (люпина белого, гороха), получены экспериментальные данные для разработки технологии применения хелатной формы микроэлемента в виде внекорневой подкормки растений и предпосевной обработки семян.

(1-Гидроксиэтилиден)дифосфоновая кислота $(CH_3)(HO)C[P(O)(OH)_2]_2$ представляет собой недорогой и доступный комплексонат, на основе которого получены координационные соединения многих металлов [4]. Производные цинка с установленной методом рентген-структурного анализа (**РСА**) структурой получены гидротермальным синтезом из оксида или галогенидов цинка и (1-гидроксиэтилиден)дифосфоновой кислоты в присутствии органических аминов, таких как 4,4'-бипиридин [5], 1.10-фенантролин [6], 2,4,6-трис(4-пиридил)-1,3,5-триазин [7], диметиламин [8], алкилидендиамины $H_2N(CH_2)_nNH_2$ (n = 2, 4, 5, 6) [9–11]. Без дополнительных лигандов совершенные кристаллы получить не удается. Второй способ заключается в синтезе кристаллических двойных солей [12], обычно калия или натрия. Соединения цинка с фосфоновыми кислотами использованы в составе сложных микроудобрений [13, 14], ингибиторов коррозии стали [15–21] и косметических препаратов [22].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

ИК-спектры соединений в виде суспензии в вазелиновом (область 1400–400 см$^{-1}$) и фторированном (4000–1400 см$^{-1}$) маслах между пластинами KBr регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре ФСМ 1201. Рентгенографические исследования выполнены на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-7000. Электронная микроскопия выполнена на сканирующем электронном микроскопе Tescan VEGA II. Микрорельеф исследовали при увеличениях от 500× до 50000×. Съемку проводили при ускоряющем напряжении 20 кВ и рабочем расстоянии 2–8 мм, использовали детекторы вторичных электронов (***SE)*** и обратно рассеянных электронов (***BSE***). В работе использовали (1-гидроксиэтилиден)дифосфоновую кислоту $H_4L \cdot H_2O$ квалификации “ч” производства ПАО “Химпром”, г. Новочебоксарск, ТУ 2439-363-05783441-2002, 2-аминоэтанол квалификации “ч” производства ООО “Синтез ОКА”, г. Дзержинск, ТУ 2423-002-78722668-2010.

Полевой опыт по применению хелатной ($ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$) и традиционной ($ZnSO_4$) форм микроудобрения для предпосевной обработки семян (***ОС***) и внекорневой подкормки (***ПК***) растений заложен в 2018 г. на опытном поле отдела земледелия и кормопроизводства Нижегородского НИИСХ – филиала ФАНЦ Северо-Востока. Объекты исследования: горох посевной сорта Стабил, горох полевой сорта Красивый, люпин белый сорта Дега. Почва опытного участка – светло-серая лесная среднесуглинистая с низким содержанием гумуса, высоким содержанием подвижного фосфора и средним – подвижного калия, с обменной кислотностью близкой к нейтральной. В качестве микроэлемента для исследования использовали растворы комплекса цинка $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$ и сульфата цинка $ZnSO_4$. Повторность опыта четырехкратная, общая площадь делянки – 63 м^2, учетная – 28 м^2. Минеральные удобрения вносили в почву общим фоном весной в виде диаммофоски в дозе N20P60K60. Содержание гумуса в почве устанавливали методом Тюрина (ГОСТ 26213-91), содержание подвижного фосфора и калия – по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 54650-2011), величину обменной кислотности – по ГОСТ 26483-85. Уборку и учет урожая культур проводили в фазе полной спелости семян, поделяночно. Определение содержания элементов питания в семенах вели по следующим методикам: азота – по ГОСТ 13496.4-93, фосфора – по ГОСТ 26657-97 и калия – по ГОСТ 30504-97. Статистическую обработку данных проводили по методике [23] с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2007.

(1-Гидроксиэтилиден)дифосфонат цинка(II) дигидрат. К суспензии 10.0 г (1.23×10^{-1} моль) оксида цинка в 150 мл дистиллированной воды прилили при перемешивании 27.5 г (1.23×10^{-1} моль) (1-гидроксиэтилиден)дифосфоновой кислоты в 150 мл дистиллированной воды. Через 15 мин реакционная смесь просветлела, еще через 30 мин помутнела, через 2 ч загустела. Через 2-е сут образовавшийся гель не созрел и не отделил водную фазу. После добавления 200 мл воды смесь размешали, отфильтровали на воронке Бюхнера, промыли дистиллированной водой. Осадок сушили на

воздухе 2 сут при 25°С и затем в сушильном шкафу при 100–110°С. Получили 21.8 г (7.14×10^{-2} моль, 58%) (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка(II) дигидрата $ZnH_2L \cdot 2H_2O$ в виде крупных кусков слипшихся микрочастиц, после размола превращавшихся в белый порошок. ИК-спектр, ν, см$^{-1}$: 3372, 3262, 3187 пл, 2725, 1709, 1641, 1271 пл, 1194, 1152, 1093, 1069, 1033, 944, 920, 875, 819, 720, 646, 545, 494, 464. Найдено, %: С – 7.88, Н – 3.43, Р – 20.46, Zn – 21.61, $C_2H_{10}O_9P_2Zn$. Вычислено, %: С – 7.86, Н – 3.30, Р – 20.28, Zn – 21.41.

(1-Гидроксиэтилиден)дифосфонат трис(2-гидроксиэтанаминий) цинка(II) дигидрат. К суспензии 5.00 г (6.14×10^{-2} моль) оксида цинка в 75 мл дистиллированной воды при перемешивании прилили раствор 13.70 г (6.12×10^{-2} моль) (1-гидроксиэтилиден)дифосфоновой кислоты в 75 мл воды. К образовавшейся через 1 ч вязкой творожистой массе прибавили при перемешивании 11.24 г (1.84×10^{-1} моль, 11.0 мл) 2-аминоэтанола в 25 мл воды. Через 30 мин прозрачный бесцветный раствор вылили в большой кристаллизатор и оставили для испарения воды без нагревания. Через 10 сут на дне кристаллизатора образовалась толстая пленка прозрачной бесцветной смолы, которую переносили на фторопластовый поддон и сушили 7 ч при 100–110°С. Получили 21.90 г (4.48×10^{-2} моль, 73%) (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната трис(2-гидроксиэтанаминий) цинка(II) дигидрата $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH \cdot 2H_2O$ в виде кусков прозрачных бесцветных стекол, измельчающихся до белого порошка. ИК-спектр, ν, см$^{-1}$: 2981 ш, 2725, 2129, 1617, 1528, 1078, 1045, 995, 956, 812, 670, 583, 470. Найдено, %: С – 19.81, Н – 6.63, Р – 12.89, Zn - 13.18, $C_8H_{31}N_3O_{12}P_2Zn$. Вычислено, %: С – 19.66, Н – 6.39, Р – 12.68, Zn – 13.38.

Водный раствор комплекса цинка $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$. К суспензии 49.8 г (0.61 моль) оксида цинка в 750 мл дистиллированной воды прилили при интенсивном перемешивании раствор 137.1 г (0.61 моль) (1-гидроксиэтилиден)дифосфоновой кислоты в 750 мл дистиллированной воды. Через 20 мин суспензия оксида цинка растворилась, еще через 30 мин реакционная смесь помутнела, через 1.5 ч загустела. При интенсивном перемешивании к смеси прилили раствор 112.2 г (1.84 моль) 2-аминоэтанола в 250 мл дистиллированной воды. Через 10 мин теплая смесь просветлела. Прозрачный бесцветный раствор комплекса цинка $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$ перелили в мерную колбу и разбавили до 2 л. Концентрация комплекса – 0.306 моль/л, содержание цинка – 2.00 мас. %, фосфора – 1.9 мас. %, азота – 1.28 мас. %.

Определение растворимости дигидрата (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка. Суспензию 0.55 г мелко растертого порошка $ZnH_2L \cdot 2H_2O$ в 100 мл H_2O перемешивали 1 ч, через 20 ч фильтровали, фильтрат упаривали. Осадок на фильтре и остаток из фильтрата сушили при 100–110°С. Масса осадка составила 0.25 г, остатка из фильтрата – 0.30 г. Растворимость при 25°С – 0.60 г в 100 мл, 6.00 г в 1 л дистиллированной воды.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее рациональным способом синтеза (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка следует признать реакцию (1-гидроксиэтилиден)дифосфоновой кислоты с оксидом цинка, поскольку каких-либо побочных продуктов при этом не образуется.

Взаимодействие компонентов, взятых в эквимолярных количествах, протекает в водной среде в 2 визуально наблюдаемых стадии. Первоначально происходит достаточно быстрое (15–20 мин) растворение суспензии оксида цинка и образование прозрачного бесцветного раствора. Вслед за тем через 30–45 мин реакционная смесь мутнеет, появляются белые хлопья мелкодисперсной твердой фазы, увеличивается вязкость, через 2 ч теряет текучесть, через 20 ч расслоения на твердый осадок и жидкость не наблюдается. Смесь может быть размешана только после дополнительного добавления дистиллированной воды. Фильтрование размешанного геля, промывка дистиллированной водой и сушка при 100–110°С приводят к образованию дигидрата (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка(II) $ZnH_2L \cdot 2H_2O$. Поведение его при синтезе и сушке аналогично таковому для коллоидных систем. Данные сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (рис. 1) подтвердили мелкодисперсный состав соединения, которое представляет собой смесь нитевидных образований микронных размеров.

Рентгеновский фазовый анализ (**РФА**) (рис. 2) свидетельствовал о кристаллической форме, т.е. из первоначально образовавшегося раствора (1-гидроксиэтилиден)дифосфонат цинка выпадает в виде нитевидных кристаллов (вискеров). Их размеры сильно варьируют. Длина достигает 100, ширина – 5, толщина – 2 мкм. Минимальные размеры составляют соответственно 3, 0.5, 0.5 мкм. Самые тонкие могут иметь небольшой изгиб, толстые не изогнуты. Короткие нити представляют собой обломки длинных. Микронные размеры структурных элементов обеспечивают коллоидное поведение синтезированного соединения.

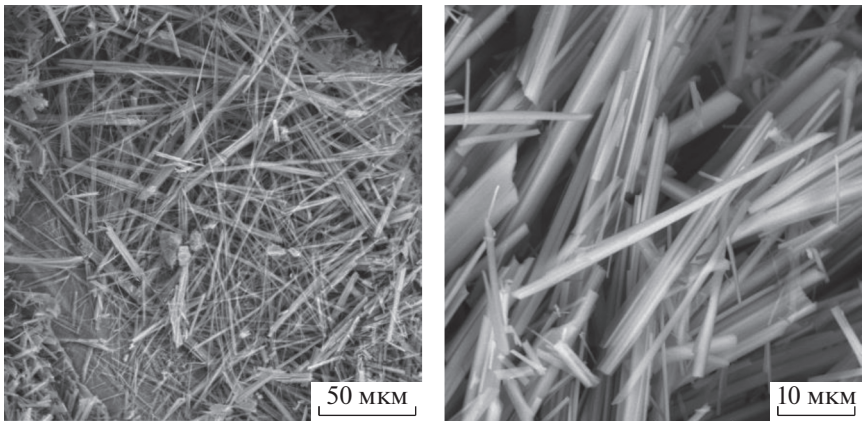

Рис. 1. СЭМ-изображение дигидрата (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка.

В представленной дифрактограмме (рис. 2, кривая *1*) множество отражений от граней кристалла (острые пики) выходят на фоне аморфного гало (подъема нулевой линии). Данные СЭМ подтвердили наличие аморфной примеси. Среди массы нитей встречаются небольшие бесформенные образования, которые, по-видимому, представляют собой не закристаллизовавшийся дифосфонат цинка. На снимках можно обнаружить также участки, содержащие вискеры, склеенные аморфной фазой.

Растворимость их в воде составляет только 0.60 г в 100 мл. Столь малая растворимость представляется неудобной для использования полученного соединения в качестве одного из компонентов микроудобрений, товарный вид которых обычно представляет собой близкий к насыщенному раствор неорганических солей и координационных соединений металлов. Перед использованием крепкий раствор разбавляют водой в 10 и более раз. При хранении в условиях знакопеременных температур раствор не должен выделять осадков, поскольку они представляют собой кристаллические соединения, которые трудно растворяются при разбавлении перед использованием. Для получения водорастворимой формы (1-гидроксиэтилиден)дифосфонат цинка был обработан 2-аминоэтанолом. Водная суспензия высушенного и размолотого порошка растворяется после добавления 3 молей органического амина на 1 моль комплекса цинка. Для получения водного раствора нет необходимости фильтровать и высушивать соединение. Более рациональным представляется вариант с добавлением 2-аминоэтанола в реакционную смесь, содержащую трудно перемешиваемый творожистый осадок. Проведенные эксперименты показали, что растворение наступает быстро (10–15 мин). Полученный раствор устойчив и не выделяет осадка при хранении в течение 1-го года.

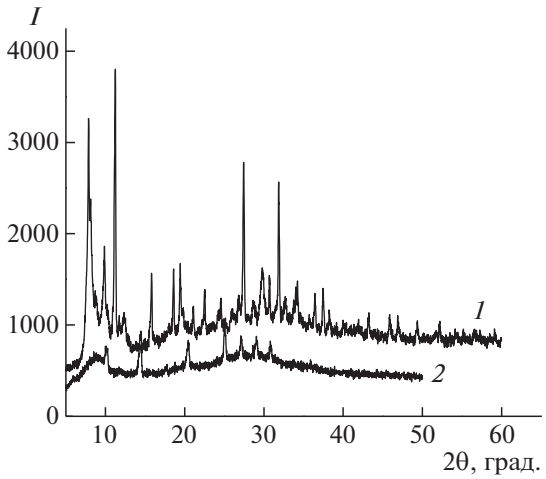

Рис. 2. Дифрактограмма дигидрата (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка (*1*) и дигидрата (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната трис(2-гидроксиэтанаминий) цинка (*2*).

Из представленной на рис. 2 (кривая *2*) дифрактограммы следует, что обработка дигидрата (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка 2-аминоэтанолом привела к сильной аморфизации. Выступающие на фоне аморфного гало малоинтенсивные рефлексы соответствуют не исходному соединению, а получившемуся новому производному, имеющему незначительную склонность к кристаллизации. Полученный результат отражает отмеченную в работах [2, 3] общую закономерность, заключающуюся в большей растворимости структурно родственных аморфных соединений по сравнению с кристаллическими.

В синтезе с выделением и идентификацией (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната трис(2-гидрок-

Таблица 1. Урожайность зернобобовых культур, т/га

Вариант	Горох посевной		Горох полевой		Люпин белый	
	1	2	1	2	1	2
1. Контроль (фон NPK)	1.04	–	0.66	–	0.79	–
2. ПК*, $ZnSO_4$	0.81	–0.23	0.91	+0.25	0.48	–0.31
3. ПК, $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$	0.81	–0.23	1.10	+0.44	0.67	–0.12
4. ОС**, $ZnSO_4$	0.98	–0.06	1.05	+0.39	0.46	–0.33
5. ОС, $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$	0.61	–0.43	1.19	+0.53	0.84	+0.05
$НСР_{05}$ частных	0.18		0.41		0.14	
фактор *А* (вид обработки культур)	0.10		0.24		0.08	
фактор *Б* (форма микроэлемента)	0.13		0.29		0.10	

Примечание. В графе 1 – средние величины показателя, в графе 2 – отклонение средних от контроля. То же в табл. 2.
*ПК – внекорневая подкормка. **ОС – обработка семян. То же в табл. 2.

сиэтанаминий) цинка(II) дигидрата была использована стадия концентрирования (медленного испарения воды) длительным выдерживанием водного раствора при комнатной температуре в широкой чаше. Быстрое концентрирование упариванием при 70–80°С привело к помутнению и последующему разделению продукта реакции на твердую фазу и окрашенную в янтарный цвет вязкую смолу. Ранее аналогичный процесс наблюдали в работе [3] на примере бис(1-гидроксиэтилиден)дифосфоната трис(1-гидроксиэтанаминий) марганца(II) $Mn(H_3L)_2 \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH \cdot 4H_2O$, который диспропорционировал до малорастворимого (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната 2-гидроксиэтанаминий марганца(II) $MnH_2L \cdot H_2NCH_2CH_2OH$. Использованный прием позволил исключить реакцию диспропорционирования, выделить и идентифицировать (1-гидроксиэтилиден)дифосфонат трис(2-гидроксиэтанаминий) цинк(II) дигидрат.

Представлены данные полевого опыта, полученные в результате испытаний растворов цинка (хелатных и традиционных) на 3-х зернобобовых культурах (табл. 1). Показано, что применение микроудобрения влияло на урожайность культур как положительно, так и отрицательно.

Внекорневая подкормка культур цинком в традиционной и хелатной форме привела к существенному снижению величины урожая семян гороха посевного (на 22%) и люпина белого (на 15–40%) относительно контроля. Однако полевой горох сорта Красивый положительно отозвался на использование данного микроэлемента, особенно в виде хелатного комплекса для внекорневой подкормки – урожайность составила 1.10 т/га, что в 1.7 раза больше контроля (0.66 т/га). Обработка семян гороха посевного сорта Стабил и люпина белого сорта Дега перед посевом цинком также либо не привела к получению значительной прибавки урожая, либо способствовала его снижению. Однако для гороха полевого по-прежнему эффективность использования данного микроэлемента подтвердилась получением достоверных прибавок, которые составили 0.39 и 0.53 т/га для традиционной и хелатной формы элемента соответственно.

Применение цинка на зернобобовых культурах в качестве внекорневой подкормки и обработки семян положительно сказалось на динамике химического состава семян (табл. 2).

Содержание азота в семенах гороха посевного сорта Стабил было максимальным при использовании элемента в традиционной форме для обработки семян – 3.61% (на 0.26% больше контроля). Внекорневая подкормка растений цинком оказалась менее эффективной, вне зависимости от формы использованного элемента. Достоверная прибавка содержания фосфора в семенах культуры отмечена в варианте с использованием хелатной формы цинка для обработки растений в период вегетации – 0.64%. Однако в случае использования этой же формы элемента для обработки семян гороха перед посевом данный показатель снижался до 0.57%.

Количество калия в семенах культуры при использовании цинка для внекорневой подкормки было максимальным и составило 1.29% (на 0.15% больше контроля), при этом различий между формами использованного элемента в данных вариантах опыта не наблюдали.

Содержание общего азота в семенах гороха полевого сорта Красивый при использовании цинка варьировало в пределах 3.53–3.97%. Максимум его содержания отмечен в варианте с обработкой

Таблица 2. Химический состав семян зернобобовых культур, % на сухое вещество

Вариант	Азот общий		Фосфор		Калий	
	%					
	1	2	1	2	1	2
Горох посевной						
1. Контроль (фон NPK)	3.35	–	0.62	–	1.14	–
2. ПК*, $ZnSO_4$	3.31	–0.04	0.62	0.00	1.29	+0.15
3. ПК, $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$	3.25	–0.10	0.64	+0.02	1.29	+0.15
4. ОС**, $ZnSO_4$	3.61	+0.26	0.61	–0.01	1.18	+0.04
5. ОС, $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$	3.41	+0.06	0.57	–0.05	1.20	+0.06
$НСР_{05}$ частных	0.08		0.02		0.04	
фактор *А* (вид обработки культур)	0.05		0.01		0.02	
фактор *Б* (форма микроэлемента)	0.06		0.02		0.03	
Горох полевой						
1. Контроль (фон NPK)	3.84	–	0.61	–	1.08	–
2. ПК, $ZnSO_4$	3.80	–0.04	0.62	+0.01	1.19	+0.11
3. ПК, $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$	3.53	–0.31	0.61	0.00	1.09	+0.01
4. ОС, $ZnSO_4$	3.97	+0.13	0.60	–0.01	1.11	+0.03
5. ОС, $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$	3.90	+0.06	0.62	+0.01	1.07	–0.01
$НСР_{05}$ частных	0.18		0.02		0.06	
фактор *А* (вид обработки культур)	0.10		0.01		0.03	
фактор *Б* (форма микроэлемента)	0.13		0.01		0.04	
Люпин белый						
1. Контроль (фон NPK)	5.71	–	0.37	–	1.14	–
2. ПК, $ZnSO_4$	6.46	+0.75	0.49	+0.12	1.34	+0.20
3. ПК, $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$	6.47	+0.76	0.49	+0.12	1.36	+0.22
4. ОС, $ZnSO_4$	6.34	+0.63	0.48	+0.11	1.28	+0.14
5. ОС, $ZnH_2L \cdot 3H_2NCH_2CH_2OH$	6.74	+1.03	0.46	+0.09	1.36	+0.22
$НСР_{05}$ частных	0.36		0.07		0.04	
фактор А (вид обработки культур)	0.21		0.04		0.03	
фактор В (форма микроэлемента)	0.26		0.05		0.03	

семян традиционной формой элемента (прибавка на 0.13% больше контроля). Количество фосфора в семенах культуры в вариантах опыта практически не изменялось, находясь на уровне 0.60–0.62%. Схожая динамика отмечена и для содержания калия в семенах гороха, которое находилось на уровне контроля (1.07–1.11%). Исключение составлял лишь вариант с подкормкой растений традиционной формой цинка, где содержание калия было максимальным – 1.19% (на 0.11% больше контроля).

Внекорневая подкормка люпина белого микроэлементом привела к росту содержания общего азота в семенах до 6.46–6.47% (существенной разницы между формами использованного микроэлемента не отмечено). Однако бóльшим показателем отличался вариант с обработкой семян люпина хелатной формой элемента – 6.74%, что в 1.2 раза превышало контроль. Содержание фосфора в семенах культуры варьировало в пределах 0.46–0.49% (на 0.09–0.12% больше контроля). Стоит отметить отсутствие существенной разницы в вариантах опыта, как между способами обработки культуры, так и между формами цинка. Содержание калия в семенах люпина при использовании цинка достигало 1.36% (в 1.2 раза больше контроля). При этом наиболее результативным оказалось использование хелатной формы элемента, как для обработки семян, так и для внекорневой подкормки растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан удобный безотходный способ получения (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната цинка из доступных реагентов – оксида цинка и (1-гидроксиэтилиден)дифосфоновой кислоты. Соединение получено в виде труднорастворимых в водной среде нитевидных кристаллов, которые легко переводятся в растворимую форму посредством добавления 2-аминоэтанола. Испытания водных растворов в качестве микроудобрения на зернобобовых культурах показали следующие положительные результаты:

– урожайность полевого гороха сорта Красивый при внекорневой подкормке в виде хелатного комплекса увеличилась в 1.7 раза относительно контрольного варианта;

– в результате обработки семян гороха полевого сорта Красивый получены прибавки урожая 0.39 и 0.53 т/га для традиционной и хелатной формы элемента соответственно;

– содержание фосфора и калия в семенах гороха посевного сорта Стабил в варианте с внекорневой подкормкой растений хелатной формой цинка составило 0.64 и 1.29% (достоверно больше контроля на 0.02 и 0.15% соответственно);

– показано достоверное увеличение содержания общего азота в семенах люпина белого сорта Дега при обработке семян культуры хелатной формой цинка (на 1.03% больше контроля), а также содержания калия (на 0.22% больше контроля) как при обработке семян, так и при внекорневой подкормке растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Семенов В.В., Золотарева Н.В., Петров Б.И.* Способ получения порошкообразных водорастворимых координационных соединений железа(III) и марганца(II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой: Пат. 2015110362, РФ // Б.И. 2015.
2. *Семенов В.В., Золотарева Н.В., Петров Б.И., Баранов Е.В., Титова В.И., Варламова Л.Д., Гейгер Е.Ю., Короленко И.Д., Дабахова Е.В.* Получение аморфных водорастворимых комплексов биометаллов на основе (1-гидроксиэтилиден)дифосфоновой кислоты, 2-аминоэтанола и 2-амино-2-(гидроксиметил) пропан-1,3-диола // Журн. общ. химии. 2015. Т. 85. № 5. С. 822–830. (Rus. J. Gen. Chem. 2015. V. 85. № 5. P. 1116–1124. DOI: 10.1134/S1070363215050199).
3. *Семенов В.В., Золотарева Н.В., Петров Б.И., Новикова О.В., Куликова Т.И., Разов Е.Н., Круглов А.В., Котомина В.Е., Гейгер Е.Ю., Варламова Л.Д., Титова В.И., Корченкина Н.А., Саков А.П.* Термически инициированное диспропорционирование тетрагидрата бис(1-гидроксиэтилиден)дифосфоната марганца(II). Образование и свойства лепидоидной структуры из нитевидных кристаллов (1-гидроксиэтилиден)дифосфоната-2-гидроксиэтаниминий марганца(II). Агрономическая эффективность комплекса марганца(II) с (1-гидроксиэтилиден)дифосфоновой кислотой // Изв. АН. Сер. хим. 2018. № 2. С. 336–344. (Rus. Chem. Bul. Int. Ed. 2018. V. 67. № 2. P. 336–344).
4. *Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Попов К.И.* Комплексоны и комплексонаты металлов. М.: Химия, 1988. 544 с.
5. *Ma Y.J., Han S.D., Mu Y., Pan J., Li J.H., Wang G.M.* Bipyridine-triggered modulation of structure and properties of zinc-diphosphonates: coordination role vs. template rule // Dalton Trans. 2018. V. 47. № 5. P. 1650–1656.
6. *Wang W.N., Sun Z.G., Zhu Y.Y., Dong D.P., Li J., Tong F., Huang C.Y., Chen K., Li C., Jiao C.Q.* Hydrothermal synthesis, structures, and luminescent properties of four new zinc(II) diphosphonate hybrids with mixed ligands // Cryst. Eng. Comm. 2011. V. 13. № 20. P. 6099–6106.
7. *Wang G., Li J., Han S., Bao Z.* Organic zinc phosphate photochromic material and preparation method // Fam. Zhuanli Shenqing. 2017. CN 106281301 A 20170104.
8. *Tong F., Zhu Y., Sun Z., Wang W., Zhao Y., Xu L., Gong J.* Mixed-solvothermal syntheses, structures and luminescence properties of two new Zn(II) phosphonates with layered and 3D framework structures // Inorg. Chim. Acta. 2011. V. 368. № 1. P. 200–206.
9. *Paul A.K., Kanagaraj R., Pant N., Naveen K.* Rare examples of amine-templated organophosphonate open-framework compounds: combined role of metal and amine for structure building // Crystal Growth Design. 2017. V. 17. № 11. P. 5620–5624.
10. *Chen H., Sun Z., Dong D., Meng L., Zheng X., Zhu Y., Zhao Y., Zhang J.* Hydrothermal syntheses, crystal structures and thermal stability of two divalent metal phosphonates with a layered and a three-dimensional structure // J. Coord. Chem. 2008. V. 61. № 8. P. 1316–1324.
11. *Song H.H., Zheng L.M., Wang Z., Yan C.H., Xin X.Q.* Zinc diphosphonates templated by organic amines: Syntheses and characterizations of $[NH_3(CH_2)_2NH_3]Zn(hedpH_2)_2 \cdot 2H_2O$ and $[NH_3(CH_2)_nNH_3]Zn_2(hedpH)_2 \cdot 2H_2O$ (n = 4, 5, 6) (hedp = 1-Hydroxyethylidenediphosphonate) // Inorg. Chem. 2001. V. 40. № 19. P. 5024–5029.
12. *Трунова О.К., Шовкова Г.В., Бон В.В., Гудима А.О.* Исследование комплексообразования в системе Zn(II) – 1-гидроксиэтилидендифосфоновая кислота // Укр. хим. журн. 2009. Т. 75. № 11–12. С. 71–77.
13. *Лембиков В.М., Левин Б.В., Токмакова Т.В., Буркова М.Н., Гритсенко Л.С., Киселева О.В., Волкова В.В., Афанасьева Л.Г.* Способ получения жидкого микроудобрения: Пат. 2580962, РФ // Б.И. 2016.
14. *Ершов М.А.* Агент для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур: Пат. 2419272, РФ // Б.И. 2011.
15. *Кузнецов Ю.И., Чиркунов А.А., Филиппов И.А.* О влиянии модификации поверхности стали оксиэтилидендифосфонатом цинка на пассивацию ее

растворами некоторых ингибиторов // Электрохимия. 2013. Т. 49. № 12. С. 1243–1250.

16. *Appa R.B.V., Srinivasa R.S.* Synergistic inhibition of corrosion of carbon steel by the ternary formulations containing phosphonate, Zn (II) and ascorbic acid // Res. J. Recent Sci. 2012. V. 1. P. 93–98.
17. *Shabanova I.N., Chausov F.F., Naimushina E.A., Kazantseva I.S.* Application of X-ray photoelectron spectroscopy for studying the molecular structure of corrosion inhibitor – Zinc complex of 1-hydroxyethylidene diphosphonic acid // J. Struct. Chem. 2011. V. 52 (Suppl. 1). P. 109–114.
18. *Gogoi P.K., Barhai B.* Corrosion inhibition of carbon steel in open recirculating cooling water system of petroleum refinery by a multi-component blend containing zinc (II) diethyldithiocarbamate // Ind. J. Chem. Technol. 2010. V. 17. № 4. P. 291–295.
19. *Цирульникова Н.В., Фетисова Т.С.* Способ приготовления водного раствора цинкового комплекса динатриевой или дикалиевой соли гидроксиэтилидендифосфоновой кислоты: Пат. РФ 2391348, РФ // Б.И. 2010.
20. *Reznik LY., Sathler L., Cardoso M.J.B., Albuquerque M.G.* Experimental and theoretical structural analysis of Zn(II)-1-hydroxyethane-1,1-diphosphonic acid corrosion inhibitor films in chloride ions solution // Mater. Corrosion. 2008. V. 59. № 8. P. 685–690.
21. *Awad H.S.* The effect of zinc-to-HEDP molar ratio on the effectiveness of zinc-1-hydroxyethylidene-1,1-diphosphonic acid in inhibiting corrosion of carbon steel in neutral solutions // Anti-Corros. Method. Material. 2005. V. 52. № 1. P. 22–28.
22. *Matsubara A.* Cosmetics containing zinc oxide and hydroxyethanediphosphonic acid: Pat. 2001010920 A, Jpn. // CAPLUS. 2001.
23. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 2011. 251 с.

Preparation of Zinc(II) (1-hydroxyethylidene)diphosphonate and Its Use as a Microfertilizer to Increase the Yield of Leguminous Crops

V. V. Semenov[a,#], N. V. Zolotareva[a], B. I. Petrov[a], N. M. Lazarev[a], E. N. Razov[b,c], A. O. Syubaeva [d,##], and N. A. Kodochilova[d]

[a] *G.A. Razuvaev Institute of Organometallic Chemistry of Russian Academy of Sciences ul. Tropinina 49, Nizhny Novgorod, Box-445 603950, Russia*

[b] *National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, prosp. Gagarina 23, Nizhny Novgorod 603950, Russia*

[c] *Mechanical Engineering Research Institute – Branch of Federal Research Center Institute of Applied Physics of the RAS ul. Belinskogo 85, Nizhny Novgorod 603024, Russia*

[d] *Nizhny Novgorod Research Agricultural Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitskiy ul. Central'naya 38, Nizhny Novgorod region, Kstovo district, s.p. Breeding station 607686, Russia*

[#] *E-mail: vvsemenov@iomc.ras.ru*

[##] *E-mail: anstsub@mail.ru*

The article presents the results of the study of synthesis zinc(II) (1-hydroxyethylidene)diphosphonate, its physical and chemical properties, the preparation of aqueous solutions based on it and the study of their effect on the yield and chemical composition of leguminous crops. Significant increases in yield on the field pea variety Krasivyj were obtained from the use of zinc chelate form: as a foliar treatment – 0.44 t/ha and as a seed treatment – 0.53 t/ha. When using the zinc chelate form, the phosphorus and potassium content in the seeds of Stabil seedlings increased to 0.64 and 1.29%, respectively, and the amount of nitrogen and potassium in the seeds of white lupine Dega increased to 6.74 and 1.36%, respectively.

Key words: (1-hydroxyethylidene)diphosphonic zinc(II), micronutrient fertilizers, yield, leguminous crops.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 51–60

Регуляторы роста растений

УДК 631.811.98:633.522

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАЩИТНО-СТИМУЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ НА ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛЕ

© 2020 г. В. А. Серков[1], С. Л. Белопухов[2,*], И. И. Дмитревская[2]

[1] Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
442731 Пензенская обл., Лунинский р-н, р.п. Лунино, ул. Мичурина, 1б, Россия

[2] Российский государственный аграрный университет–МСХА им. К.А. Тимирязева
127550 Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

**E-mail: belopuhov@mail.ru*

Поступила в редакцию 31.07.2019 г.
После доработки 10.08.2019 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

На опытном поле Пензенского научно-исследовательского института сельского хозяйства изучено действие 5-ти защитно-стимулирующих комплексов на рост, развитие, урожайность и качество безнаркотической однодомной конопли среднерусского экотипа сорта Сурская, репродукция семян ОС. Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднемощный. Для обработки растений применяли гуминово-фульватный комплекс, препараты флоравит, супер Гумисол, биоклад и регулятор роста и развития растений на основе гетероциклических соединений, органических и аминокислот в концентрации 0.1–1.0%. Установлено, что в условиях недостатка влаги применение защитно-стимулирующих комплексов существенно увеличивало биометрические показатели растений, среднюю длину междоузлий на 2–3 см, что характеризовало их как наиболее технологически ценные, с более длинным элементарным волокном. Действие гуминово-фульватного комплекса повышало техническую длину стебля на 21 см. Применение комплексов не влияло на выщепление обычной поскони и темпы созревания растений, уборочную влажность семян, накопление каннабиноидов. В условиях острозасушливого периода вегетации действие препаратов также не влияло на биометрические показатели растений и накопление тетрагидроканнабинола и суммы основных каннабиноидов. Отмечено положительное действие препаратов на выход общего и длинного волокна, особенно в варианте с обработками препаратом флоравит. Обработки другими препаратами не повлияли на физико-механические характеристики чёсаного волокна – разрывную нагрузку и гибкость. Защитно-стимулирующие комплексы показали высокую эффективность в условиях конкретного периода вегетации в повышении устойчивости растений к поражению наиболее распространенными болезнями и повреждению вредителями.

Ключевые слова: техническая конопля сорта Сурская, защитно-стимулирующие комплексы, регуляторы роста растений, волокно конопли, конопляное масло.

DOI: 10.31857/S0002188120020131

ВВЕДЕНИЕ

Перспективным направлением развития сельского хозяйства в ближайшие годы становится коноплеводство, что связано с задачами по импортозамещению и заменой в текстильной промышленности хлопка на отечественное волокно конопли и льна. Конопля посевная имеет неограниченный рынок сбыта в нашей стране и за рубежом как источник экологически чистого волокна и семян, как сырье для различных материалов в автомобильной, строительной, целлюлозно-бумажной, химической н других отраслях промышленности. Поэтому выращивание коноплепродукции с высокими показателями урожайности и качества волокна и семян является важной задачей.

При прогрессирующем антропогенном воздействии и в связи с жесткими требованиями экологической безопасности к продукции текстильной промышленности становится актуальной задача научно обоснованной комплексной защиты растений конопли от неблагоприятных и постоянно изменяющихся условий окружающей среды, проведения мониторинга различных токсикантов в продуктах переработки на разных стадиях производства, экологической сертификации пеньковолокна.

В связи с актуальностью повышения уровня агропроизводства и качества семян конопли посевной, пеньковолокна и продуктов его переработки ключевым направлением является проведение исследований по формированию агрохимических оптимумов выращивания применительно к условиям региона. Для этого необходимо использовать факторы, способствующие реализации максимальной продуктивности для выращиваемой культуры без снижения качества, а также без потери защитных свойств растений. Однако в природе максимальная продуктивность при высокой устойчивости практически никогда не достигается. Для большинства культурных растений характерна их невысокая лабильность к постоянно изменяющимся условиям окружающей среды, результатом чего становится снижение динамики ростовых процессов, урожайности и качества продукции.

Новизна проведенного исследования заключается в разработке низкозатратных приемов для улучшения технологии возделывания и семеноводства безнаркотической однодомной конопли посевной среднерусского экотипа.

Практическая значимость исследований состоит в разработке научно обоснованных параметров обработки посевов однодомной конопли защитно-стимулирующими комплексами с целью совершенствования зональной агротехнологии возделывания и семеноводства безнаркотических сортов культуры.

Как было показано для других прядильных культур, важная роль в решении проблем повышения урожайности волокна и семян, формировании растений с улучшенными физиологическими и биохимическими характеристиками для последующей технологической переработки принадлежит защитно-стимулирующим комплексам [1]. До настоящего времени на конопле не проводили систематических исследований действия физиологически активных веществ, входящих в состав защитно-стимулирующих комплексов, и ответных реакций растений на действие биорегуляторов, а также оценке их влияния на изменение физиологических процессов, химического состава, продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам окружающей среды [2]. Обобщение многолетних результатов экспериментов в варьирующих погодных условиях позволит адекватно прогнозировать развитие и рост конопли в конкретных условиях и максимально реализовать потенциальные возможности продуктивности растений, эффективно нивелировать отрицательное антропогенное воздействие.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2016–2018 гг. в полевых и лабораторных условиях на базе Пензенского НИИСХ. В экспериментах использовали общепринятые методики и схематические модели [3, 4]. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднемощный, pH 5.7–5.9, содержание гумуса – 6.4–6.8%, гидролизуемого азота – 80–85 мг/кг почвы, подвижного фосфора – 135–141, обменного калия – 154–160 мг/кг почвы. Отвальная обработка почвы обеспечивала оптимальную плотность сложения пахотного горизонта к началу вегетации растений (1.12–1.25 г/см^3).

Объект исследования – сорт безнаркотической однодомной конопли среднерусского экотипа Сурская (репродукция семян ОС).

В полевом опыте исследование проводили при общепринятой агротехнике и естественной длительности светового дня. Опыт однофакторный, размещение делянок систематическое. Закладку опыта выполняли в первой декаде мая сеялкой СН-16 с дисковыми сошниками в 4-рядковом варианте. Общая площадь делянки – 30 м^2, учетная – 25 м^2. Норма высева семян – 0.9 млн шт./га. Повторность опыта четырехкратная. Количество вариантов – 6, общее количество делянок – 24, общая площадь опыта – 0.06 га, предшественник – пропашные культуры.

Схема опыта, варианты: 1 – гуминово-фульватный комплекс (**ГФК**) 0.1%-ный раствор – фиторегулятор на основе гуминовых и фульвокислот. Способствует ускорению созревания и увеличению качественных показателей урожая [5]; 2 – препарат флоравит 0.1%-ный раствор – фиторегулятор на основе натуральной композиции вторичных метаболитов-продуцентов мицелиевого гриба *Fusarium*. Интенсифицирует ростовые процессы и способствует ускоренному созреванию; 3 – препарат биоклад 0.05%-ный раствор – изготовлен на основе ультрагумата, вермикомпоста, кремния и микроэлементов. Обладает регуляторной и антистрессовой активностью; 4 – препарат супер Гумисол 0.06%-ный раствор – синтетический антистрессор, сочетает свойства эффективного стимулятора роста, антистрессового адаптогена и протравителя. Обладает восстановительной функцией, стимулирующей вегетирующие органы активно регенерировать после стрессового воздействия заморозков, засухи, вредителей; 5 – препарат № 3 0.01%-ный раствор – регулятор роста и развития растений нового поколения, синтезированный на основе гетероциклических

соединений органических и аминокислот [6, 7]; 6 – контроль, обработка водой.

Обработки препаратами последовательно проводили в фазах 3-х и 5-ти пар (через 12 сут) настоящих листьев с нормой расхода рабочей жидкости 300 л/га.

Исследования проводили на основных этапах онтогенеза в соответствии с общепринятыми методиками [3, 4]. Контролировали следующие показатели: морфометрические (высоту растения, техническую длину стебля, количество междоузлий, диаметр стебля в его центральной части), биологические (продолжительность фаз развития и вегетационного периода, полиморфизм растений с учетом числа и долевого соотношения половых типов), биохимические (содержание основных каннабиноидов в верхушках соцветий, содержание масла в семенах), хозяйственно полезные (семенную продуктивность, массу 1000 семян, массу стебля, выход общего и длинного волокна, гибкость и разрывную нагрузку чесаного волокна), признаки и свойства растений. Приведенный урожай соломки и семян рассчитывали, исходя из стандартной влажности соломки (25%) и семян (13%).

В период вегетации проводили оценку растений по устойчивости к полеганию, поражению болезнями, повреждению вредителями в соответствии с методикой [4].

Идентификация и определение количественного содержания основных каннабиноидов (**КБН**, **КБД**, **КБХ**, **ТГК**) выполняли методом ГЖХ-анализа, согласно методическим рекомендациям [8]. Сбор верхушек соцветий на анализ проводили в фазе бутонизации–начала цветения растений.

Каннабиноиды экстрагировали 96%-ным этанолом. Идентификацию и определение содержания каннабиноидов проводили методом газожидкостной хроматографии. Разделение каннабиноидов осуществляли с программированием температур на хроматографическом комплексе “Кристалл 2000М”. Колонка капиллярная ZB-1, длина 30 м. В качестве внутреннего стандарта использовали 0.5%-ный раствор метилстеарата в этаноле. Определение содержания масла в семенах выполняли в химико-аналитической лаборатории по методу Лебедянцева–Раушковского [9].

Статистическую обработку экспериментальных данных с использованием дисперсионного анализа проводили согласно [10].

Таблица 1. Сохранность растений перед уборкой (2017–2018 гг.), %

Вариант	2017 г.	2018 г.	Среднее
1	58.1	75.3	66.7
2	60.9	75.9	68.4
3	50.2	98.9	74.5
4	67.7	80.1	73.9
5	–	86.4	–
6	69.1	88.4	78.7
$НСР_{05}$	*NS**	10.2	
Точность опыта, %	11.6	5.7	

*Несущественная разница. То же в табл. 2–6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В полевых опытах агроклиматические условия 2017 г. в совокупности оказались относительно благоприятными для роста и развития растений конопли не на всех этапах онтогенеза. На ранних этапах роста и развития преобладал недостаточный положительный баланс активных температур, что отразилось на итоговом урожае семян. В целом за вегетацию сумма активных температур составила 2014°С при 154 мм осадков (91% от среднемноголетней нормы). Показатель ГТК (0.76) в целом характеризовал вегетационный период конопли посевной как недостаточно увлажненный.

Агроклиматические условия 2018 г. в совокупности оказались неблагоприятными для роста и развития растений конопли на всех этапах онтогенеза. В ювенильной фазе развития преобладал недостаточный режим увлажнения на фоне повышенного баланса активных температур, что отразилось на итоговом урожае основных видов продукции. В целом за вегетацию сумма активных температур составила 2116°С при 63 мм осадков (37% от среднемноголетней нормы). Показатель ГТК (0.30) в целом характеризовал вегетационный период конопли посевной как острозасушливый.

Полевая всхожесть семян во всех вариантах опыта до обработок была одинаковой и составляла 72% в 2017 г. и 88% – в 2018 г.

Сохранность растений перед уборкой – интегральный показатель, зависящий от комплекса сопутствующих вегетационному периоду биотических и абиотических факторов, влияющих на формирование биоценоза растений. Показатели сохранности растений в опыте в конкретных условиях вегетации варьировали (табл. 1). В условиях недостаточного увлажнения по совокупности сопутствующих факторов не установлено существенной разницы в показателях вариативной дифференциации данного признака. В остроза-

Таблица 2. Содержание основных каннабиноидов в растениях конопли (2017–2018 гг.), %

Вариант	КБД	КБХ	ТГК	КБН	Σ
			2017 г.		
1	1.59	0.19	0.06	0.07	1.92
2	1.63	0.14	0.06	0.07	1.90
3	1.61	0.18	0.06	0.08	1.93
4	1.54	0.17	0.06	0.07	1.83
5	1.54	0.19	0.06	0.08	1.88
$НСР_{05}$			*NS**		
m, %	6.0	14.2	6.6	18.1	6.3
			2018 г.		
1	2.31	0.19	0.083	0.27	2.78
2	2.55	0.20	0.094	0.20	2.98
3	2.61	0.08	0.095	0.24	3.08
	2.41	0.09	0.091	0.241	2.85
5	2.12	0.10	0.085	0.22	2.54
6	2.43	0.13	0.093	0.21	2.82
$НСР_{05}$	*NS**	0.03	*NS*	0.04	*NS*
m, %	8.4	7.3	6.0	6.2	8.4

сушливых условиях установлена существенная разница в показателях вариативной дифференциации признака после обработок препаратом биоклад (+10.5% к контролю).

В 2017 г. содержание суммы основных каннабиноидов в растениях составило 1.83–1.93%, в т.ч. ТГК – 0.060–0.062% и не зависело от варианта обработки (табл. 2). Таким образом, в условиях недостаточного увлажнения по уровню содержания ТГК и сумм основных каннабиноидов не установлена существенная разница между изученными вариантами.

В 2018 г. содержание суммы основных каннабиноидов в растениях опыта составило 2.54–3.08%, в т.ч. ТГК – 0.083–0.095% и не зависело от варианта обработки. Существенные отличия каннабиноидного комплекса отмечены только в отношении непсихоактивных компонентов – КБН и КБХ. Таким образом, в условиях острозасушливого вегетационного периода по уровню содержания ТГК и сумм основных каннабиноидов существенная разница между изученными вариантами также была не установлена.

В условиях недостаточного увлажнения высота растений имела размах вариации признака у опытных растений 235–251 см, в контроле – 223 см. Однако существенных различий по высоте растений в опыте не выявлено.

Техническая длина стебля растений менялась от 198 до 212 см, в контроле –189 см. Существенное превосходство по признаку имели растения в вариантах с обработками препаратами флоравит (10 мл/л) и биоклад (5 мл/л) – +15 см. Наибольшее превосходство над контролем обеспечил вариант с обработкой препаратом ГФХ (+14 см к контролю), характеризуясь как средний по превосходству. Равные стандарту параметры признака отмечены в варианте с обработкой препаратом супер Гумисол (табл. 3).

Абсолютные значения признаков “длина соцветия”, “диаметр стебля” и “количество междоузлий” не показали существенных преимуществ перед контрольными растениями. Признак “средняя длина междоузлия” существенно превысил контроль у всех опытных растений во всех вариантах на 2–3 см при $НСР_{05}$ = 0.7 см. Таким образом, обработки препаратами способствовали формированию соломины с более длинными междоузлиями относительно контроля. Это характеризовало их как наиболее технологически ценные, имеющие более длинное элементарное волокно.

Обработка препаратами оказала слабо выраженное влияние на проявление половой дифференциации растений конопли. Все изменения по признаку “содержание обычной поскони” не имели математически достоверного подтверждения и находились в пределах математической недоказуемости ($\leq НСР_{05}$). Таким образом, в конкретных условиях вегетации при данном способе обработки посевов действие препаратов не отразилось на половой дифференциации однодомной конопли.

В острозасушливых условиях 2018 г. высота растений имела размах вариации признака у опытных растений 153–170 см (контроль – 178 см). Существенное уменьшение по высоте растений отмечено во всех вариантах за исключением варианта с обработкой ГФК.

Техническая длина стебля опытных растений изменялась от 131 до 140 см (контроль – 150 см). Существенное снижение технической длины стебля отмечено у растений во всех опытных вариантах. Также уменьшался диаметр стебля во всех опытных вариантах, кроме варианта с обработками ГФК.

Средняя длина междоузлия существенно понизилась во всех вариантах опыта на 1–2 см по сравнению с контролем. Абсолютные величины признаков “длина соцветия” и “количество междоузлий” также не показали существенных преимуществ перед контрольными растениями.

Таблица 3. Биоморфометрические характеристики растений конопли (2017–2018 гг.)

Вариант	Высота растения	Техническая длина стебля	Длина соцветия	Диаметр стебля, мм	Междоузлия		Содержание поскони, %
	см				количество, шт.	средняя длина, см	
2017 г.							
1	251	212	44	10	10	20	9.5
2	238	203	39	9	10	20	14.0
3	235	203	32	8	10	20	9.0
4	237	198	38	8	10	19	9.5
6	223	189	34	9	10	17	10.7
$НСР_{05}$	*NS**	12		*NS*		0.71	3.8
m, %	2.3	1.9	8.4	2.2	2.6	1.3	12
2018 г.							
1	170	140	30	6	10	15	3
2	153	131	24	5	9	15	4
3	158	134	25	5	10	14	3
4	155	131	24	5	9	14	5
5	160	139	21	5	10	14	4
6	178	150	28	6	10	16	2
$НСР_{05}$	13	10	*NS*	1	*NS*	1	*NS*
m, %	2.7	2.5	8.8	4.9	1.4	2.6	24.3

Обработка препаратами не оказала влияния на выщепление обычной поскони. Все изменения содержания обычной поскони не имели математически достоверного подтверждения и находились в пределах ошибки. Таким образом, в острозасушливых условиях вегетации действие препаратов также не влияло на половую дифференциацию растений однодомной конопли.

В условиях недостаточного увлажнения урожай соломки опытных растений менялся от 24 до 26 г/растение, в контроле – 22 г/растение. Достоверных различий между вариантами по этому признаку не выявлено (табл. 4).

Выход волокна общий у опытных растений характеризовался очень высокими показателями и изменялся от 31.2 до 33.3% (в контроле – 29.1%). В вариантах с обработкой препаратами отмечено их разнонаправленное действие на признак. Но достоверного превышения над контролем не отмечено ни на одном варианте с обработками.

Выход длинного волокна варьировал от средних (13.3–14.5% – варианты ГФК и супер Гумисол) до высоких (15.7–15.9% – варианты флоравит и биоклад) показателей. В контроле отмечено среднее содержание длинного волокна – 12.8%. Достоверного превышения над контролем не показал ни один вариант с обработкой. Сбор волокна общий изменялся от 7.49 до 8.67 г/растение (в контроле – 6.40 г/растение). Достоверных различий между вариантами не выявлено. Сбор длинного волокна варьировал в опытных вариантах от 3.19 до 4.13 г/растение (контроль – 2.82 г/растение). Достоверных различий между вариантами не выявлено.

Дисперсионный анализ качественных характеристик волокна растений показал, что в условиях вегетации обработка ЗСК не повлияла на основные признаки качества волокна. Все варианты имели низкие параметры признака разрывная нагрузка чесаного волокна. По признаку гибкость чесаного волокна большинство вариантов, наряду с контролем, имело средние показатели (16.8–19.0 мм). Низкие показатели были в вариантах с обработкой биокладом и супер Гумисолом – 13.8–13.9 мм.

Обработка ЗСК в условиях вегетации несущественно повлияла на процесс созревания семян (табл. 5). Ускоренное созревание семян происходило в контроле. Эти семена характеризовались наименьшей уборочной влажностью – 20%. Признаки “семенная продуктивность” и “масса 1000 семян” соответствовали средним количественным показателям, не зависели от варианта обработки.

Признак “содержание масла” в семенах растений опыта не зависел от варианта обработки, варьируя в диапазоне высоких показателей от 32.4 до 33.7%. Семена контрольных растений также

Таблица 4. Количественные и качественные характеристики урожая стеблей конопли (2017–2018 гг.)

Вариант	Средняя масса стебля, г/растение	Выход волокна, %		Сбор волокна, г/растение		Разрывная нагрузка волокна, кгс	Гибкость волокна, мм
		общий	длинного	общий	длинного		
2017 г.							
2	26	33.3 очень высокий	15.9 высокий	8.67	4.13	5 низкая	17.3 средняя
3	25	33.2 очень высокий	15.7 высокий	8.30	3.92	7 низкая	13.8 низкая
1	24	31.3 очень высокий	14.5 средний	7.51	3.48	4 низкая	16.8 средняя
4	24	31.2 очень высокий	13.3 средний	7.49	3.19	6 низкая	13.9 низкая
6	22	29.1 высокий	12.8 средний	6.40	2.82	5 низкая	19.0 средняя
HCP_{05}				*NS**			
m, %	7.2	6.4	6.8	9.8	10.2	25.5	9.9
2018 г.							
1	9.1	30.7 высокий	22.1 высокий	2.85	2.05	13.1 очень низкая	12.3 низкая
2	6.1	34.9 очень высокий	23.8 высокий	2.13	1.45	13.3 очень низкая	13.3 низкая
3	6.7	29.3 высокий	22.7 высокий	1.96	1.52	14.1 очень низкая	12.8 низкая
4	6.7	31.7 очень высокий	19.4 средний	2.12	1.30	15.1 низкая	13.4 низкая
5	6.3	29.6 высокий	20.3 средний	1.86	1.28	11.0 очень низкая	13.9 низкая
6	9.0	28.7 высокий	18.3 –	2.58	1.65	13.8 очень низкая	12.0 низкая
HCP_{05}	1.7	3.8	3.8	0.26	0.29	NS	NS
m, %	7.6	4.1	5.9	6.4	6.1	10.9	8.8

имели высокую масличность –33.4%. Таким образом, в условиях благоприятного гидротермического режима фазы созревания, превышавшего среднемноголетние показатели по среднесуточным температурам на 3°С, все без исключения ЗСК не оказали существенного эффекта на прибавку содержания масла в семенах.

Анализ приведенной урожайности соломки и семян, сбора волокна и масла показал, что достоверной прибавки урожая основных видов продукции не отмечено ни в одном варианте с обработкой препаратами. Несущественные прибавки сбора общего волокна установлены в вариантах с обработкой всеми ЗСК (табл. 6).

Таблица 5. Количественные и качественные характеристики урожая семян конопли (2017–2018 гг.)

Вариант	Уборочная влажность, %	Семенная продуктивность, г/растение	Масса 1000 семян, г	Содержание масла, %
		2017 г.		
1	25.7	3.6	15.6 средняя	33.2 высокое
2	25.2	4.2	14.9 средняя	33.3 высокое
3	23.1	3.6	16.1 средняя	32.4 высокое
4	23.9	3.7	16.6 средняя	33.7 высокое
6	20.0	3.6	15.4 средняя	33.4 высокое
$НСР_{05}$		*NS**		
m, %	6.6	16.3	4.2	1.4
		2018 г.		
1	14.1	1.6	15.1 средняя	32.5 высокое
2	14.0	1.2	15.5 средняя	32.5 высокое
3	14.5	1.1	15.3 средняя	33.3 высокое
4	15.5	1.3	15.1 средняя	32.2 высокое
5	14.2	1.3	14.9 средняя	32.5 высокое
6	14.1	1.6	15.4 средняя	32.2 высокое
$НСР_{05}$	*NS*	0.3	*NS*	
m, %	8.1	7.0	1.3	1.5

Общий сбор волокна варьировал в вариантах от 2.86 до 2.94 т/га и был наименьшим в контрольном варианте (2.81 т/га). Все опытные варианты превосходили контроль на 0.05–0.13 т/га. Наибольшую, но статистически недостоверную прибавку, показал вариант с обработкой растений биокладом в концентрации 5 мл/л. По сбору масла статистически достоверного превосходства над контролем не установлено.

В острозасушливых условиях урожай соломки опытных растений изменялся от 6.1 до 9.1, в контроле – 9.0 г/растение. Существенное снижение абсолютных показателей этого признака отмечено во всех вариантах, за исключением варианта с обработками ГФК, где средняя масса стебля соответствовала параметрам контроля (табл. 4).

Выход волокна общий у опытных растений в 2018 г. характеризовался высокими и очень высокими показателями и изменялся от 29.3 до 34.9% (контроль – 28.7). В вариантах с обработкой регуляторами роста отмечено положительное действие препаратов на признак. Но достоверное превышение над контролем отмечено только в одном варианте с обработками флоравитом.

Выход длинного волокна у опытных растений в 2018 г. варьировал от среднего (19.4–20.3% – варианты супер Гумисол и препарат № 3) до высокого (22.1–23.8% – варианты ГФК, флоравит и биоклад). В контроле отмечено среднее содержание длинного волокна – 18.3%. Достоверное превышение над контролем показали варианты с обработкой биокладом и флоравитом. Сбор волокна общий изменялся от 1.86 до 2.85 г/растение (контроль – 2.58 г/растение). Достоверные различия между опытом и контролем выявлены при обработке растений препаратом ГФК. Сбор длинного волокна варьировал в опытных вариантах от 1.28 до 2.05 г/растение (контроль – 1.65 г/растение). Достоверные различия между опытом и контролем установлены при обработке растений препаратом ГФК.

Анализ качественных характеристик волокна растений в 2018 г. показал, что в условиях вегетации обработка ЗСК не повлияла на основные признаки качества волокна. Все варианты, включая контроль, имели низкие и очень низкие параметры признака разрывная нагрузка чесаного волокна. По признаку гибкость чесаного волокна все варианты, наряду с контролем, имели низкие показатели (12.3–13.9 мм).

Обработка ЗСК в условиях вегетации в 2018 г. несущественно повлияла на процесс созревания семян. Почти все варианты опыта, за исключением варианта с обработками супер Гумисолом, имели уборочную влажность семян, близкую к кондиционной (13%) (табл. 5).

Признак семенной продуктивности, соответствуя низким количественным показателям, зависел от варианта обработки. Показатели на

Таблица 6. Параметры приведенного урожая основных видов продукции (2017–2018 гг.)

Вариант	Урожай тресты		Урожай семян		Сбор волокна общий		Сбор масла	
	т/га	± к контролю	т/га	± к контролю	т/га	± к контролю	т/га	± к контролю
1	9.2	–0.3	1.44	–0.15	2.86	+0.05	0.48	–0.05
2	8.6	–0.9	1.38	–0.21	2.86	+0.05	0.46	–0.07
3	8.8	–0.7	1.26	–0.33	2.94	+0.13	0.41	–0.12
4	9.3	–0.2	1.50	–0.09	2.91	+0.10	0.51	–0.02
6	9.5	–	1.59	–	2.81	–	0.53	–
$НСР_{05}$		*NS**		*NS*		*NS*		*NS*
m, %		9.4		18.4		12.0		18.7
2018 г.								
1	7.0	0.0	1.01	–0.25	2.01	+0.10	0.33	–0.08
2	4.0	–3.0	0.79	–0.47	1.40	–0.6	0.26	–0.15
3	6.1	–0.9	0.98	–0.28	1.78	–0.22	0.33	–0.08
4	4.7	–2.3	0.95	–0.31	1.51	–0.49	0.31	–0.10
5	5.1	–1.9	1.01	–0.25	1.48	–0.52	0.33	–0.09
6	7.0	–	1.26	–	2.00	–	0.40	–
$НСР_{05}$		1.5		0.28		0.44		0.09
m, %		9.3		9.2		8.7		8.8

уровне контроля имел вариант с обработкой ГФК, все остальные варианты уступали контролю от 0.3 до 0.5 г/растение.

Признак “содержание масла” в семенах опытных растений не зависел от варианта обработки, варьируя в диапазоне высоких показателей от 32.2 до 33.3%. Семена контрольных растений также имели высокую масличность – 32.2%. Таким образом, в условиях острозасушливого гидротермического режима фазы созревания, превышавшего среднемноголетние показатели по среднесуточным температурам на 3°С, все без исключения ЗСК не оказали существенного эффекта на прибавку содержания масла в семенах.

Анализ приведенной урожайности соломки и семян, сбора волокна и масла в 2018 г. показал, что достоверной прибавки урожая основных видов продукции не отмечено ни в одном варианте с обработкой препаратами (табл. 6). Урожай тресты составил в вариантах опыта от 4.0 до 7.0 т/га, урожай семян – от 0.79 до 1.01 т/га. Общий сбор волокна варьировал в вариантах от 1.40 до 2.01, сбор масла – от 0.26 до 0.33 т/га. Наибольшие показатели урожая почти по всем основным видам продукции были отмечены в контроле.

В условиях недостатка влаги полевая оценка растений на наличие болезней и вредителей установила, что в условиях периода вегетации 2017 г. на растениях преобладали преимущественно пятнистости листьев (*Phyllosticta cannabis* Speg., *Macrosporium cannabinum*, *Septoria cannabis* Sacc.) слабого и среднего уровня поражения. В течение вегетации заселенность растений конопляной блохой (*Pyrausta nubilalis* Hb.) была незначительной (ниже порога экономической вредоносности), а заселение растений стеблевым мотыльком (*Pyrausta nubilalis* Hb.) – от среднего (11–30%) до сильного (31–60%) в контроле. ЗСК оказали влияние на проявление болезней и заселение вредителями растений (табл. 7).

Таблица 7. Оценка поражения болезнями и повреждения вредителями растений (2017–2018 гг.)

Вариант	Болезни, балл (листовые пятнистости/ботритис)	Вредители, балл (конопляная блоха/стеблевой мотылек)
2017 г.		
1	3/3	1/1
2	3/3	1/1
3	3/3	1/1
4	3/5	1/1
6	5/5	3/5
2018 г.		
1	<1/3	1–2/3
2	<1/3	1–2/3
3	<1/3	1–2/3
4	<1/3	1–2/3
5	<1/3	1–2/3
6	2–3/3	3–5/3

Анализ фитосанитарного состояния растений перед уборкой выявил повышенную устойчивость опытных растений к биотическим и абиотическим стрессорам, прежде всего к грибковым патогенам – ботритису, стеблевым и листовым пятнистостям. В вариантах с обработками препаратами флоравит (10 мл/л), биоклад (5 мл/л), ГФК (10 мл/л) отмечено слабое поражение грибковыми болезнями (<1%), в то время как в контроле отмечено их среднее или сильное проявление (12–15% и более). Резистентность к повреждению растений вредоносными объектами, прежде всего стеблевому мотыльку, в опытных вариантах также была повышенной – 1–3 против 5–7% и более в контроле.

В острозасушливых условиях полевая оценка растений на наличие болезней и вредителей установила, что в условиях вегетации 2018 г. на растениях преобладали преимущественно пятнистости листьев (*Phyllosticta cannabis* Speg., *Macrosporium cannabinum*) слабого уровня поражения. В течение вегетации заселенность растений конопляной блохой (*Pyrausta nubilalis* Hb.) была незначительной (ниже порога экономической вредоносности), а заселение растений стеблевым мотыльком (*Pyrausta nubilalis* Hb.) – слабым. ЗСК оказали влияние на проявление болезней и заселение вредителями растений.

Анализ фитосанитарного состояния растений перед уборкой выявил повышенную устойчивость опытных растений к биотическим и абиотическим стрессорам, прежде всего к грибковым патогенам – ботритису, стеблевым и листовым пятнистостям. В вариантах с обработками отмечено слабое поражение грибковыми болезнями (<1%), в то время как в контроле наблюдали их большее проявление (2–3%). Резистентность к повреждению растений вредоносными объектами, прежде всего стеблевому мотыльку, в опытных вариантах также была повышенной – 1–2 против 3–5% в контроле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях недостатка влаги использование защитно-стимулирующих комплексов (ЗСК) существенно увеличивало отдельные биометрические показатели растений технической конопли, в том числе среднюю длину междоузлия на 2–3 см. Препарат ГФК также достоверно повысил техническую длину стебля на 21 см. Применение препаратов не влияло на выщепление обычной поскони и темпы созревания растений. Уборочная влажность семян не зависела от варианта обработки. Влияния ЗСК на накопление каннабиноидов также не было установлено.

Влияние препаратов на количественные параметры урожая технической конопли и их элементы не выявлено. Содержание масла в семенах и сбор масла не зависели от обработок препаратами ЗСК. Обработка регуляторами роста не повлияла на семенную продуктивность и массу 1000 семян, а также на качественные характеристики волокна.

Использование препаратов в условиях острозасушливого периода вегетации существенно снижало отдельные биометрические показатели растений, в том числе высоту растений на 8–25 см, техническую длину стебля на 10–19 см, диаметр стебля на 1–2 мм, среднюю длину междоузлий на 1–2 см. Применение препаратов не влияло на выщепление обычной поскони и темпы созревания растений. Уборочная влажность семян не зависела от варианта обработки. Влияния ЗСК на накопление тетрагидроканнабинола и суммы основных каннабиноидов также не установлено.

Воздействие препаратов на количественные параметры урожая растений и их элементы происходило разнонаправленно. Масса 1000 семян, содержание масла в семенах не зависели от обработок. Обработки преимущественно отрицательно повлияли на семенную продуктивность.

Установлено положительное действие препаратов на выход общего/длинного волокна. Но достоверное превышение над контролем отмечено лишь в одном варианте – с обработками препаратом флоравит. Обработки не повлияли на качественные характеристики чесаного волокна – разрывную нагрузку и гибкость.

По результатам работ установлены препараты, показавшие в условиях конкретного периода вегетации результативность в повышении устойчивости растений к поражению наиболее распространенными болезнями и повреждению вредителями растений технической конопли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калабашкина Е.В., Белопухов С.Л., Дмитревская И.И.* Влияние препаратов физиологически активных веществ на основные показатели фотосинтетической деятельности льна-долгунца // Агрохимия. 2013. № 4. С. 55–59.
2. *Serkov V.A., Danilov M.V., Koshelyaev V.V., Volodkin A.A.* Effect of growth regulators on the content of basic cannabinoids in the plants of monoecious *Cannabis sativa* // Res. Journal. Pharma. Biol. Chem. Sci. 2018. Т. 9. № 5. С. 567.

3. *Мигаль Н.Д.* Методические указания по проведению полевых и вегетациионных опытов с коноплей. М.: ВАСХНИЛ, 1980. 4 с.

4. *Румянцева Л.Т., Дудник М.Г.* Изучение коллекции конопли. Метод. указ. Л.: ВНИИР, 1989. 20 с.

5. *Belopukhov S.L., Grishina E.A., Dmitrevskaya I.I., Lukomets V.M., Uschapovsky I.V.* Effekt of humic-fulvic complex on flax fiber and seed yield characteristics // Изв. ТСХА. 2015. Вып. 4. С. 71–81.

6. *Boev V.I., Belopukhov S.L., Moskalenko A.I., Nikonova G.N.* Stereoselective synthesis of 2-aryl-4-en-1-ols, promising synthons for the preparation of oxygen heterocycles // Rus. J. Org. Chem. 2017. Т. 53. № 2. С. 169–177.

7. *Boev V.I., Moskalenko A.I., Belopukhov S.L.* Stereoselective synthesis of tri- and tetrasubstituted tetrahydropyrans from syn- and anti-1-r-2-(4-bromophenyl)-5-methylhex-4-en-1-ols and some chemical transformations of the products // Rus. J. Org. Chem. 2017. Т. 53. № 7. С. 1044–1052.

8. *Сорокин В.И.* Определение вида наркотических средств, получаемых из конопли и мака: Метод. рекоменд. М.: ЭКЦ МВД России, РФЦСЭ МЮ России, 1995. 24 с.

9. *Раушковский С.С.* Методы исследований при селекции масличных растений по содержанию масла. М.: Пищепромиздат, 1959. 46 с.

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

Application of Protective-Stimulating Complexes on Technical Hemp

V. A. Serkov[a], S. L. Belopukhov[b,#], and I. I. Dmitrevskay[b]

[a] *Penza Research Institute of Agriculture*
ul. Michurina str. 1b, r.p. Lunino, Luninsky district, Penza region 442731, Russia
[b] *Russian State aAgrarian University–MSHA named K.A. Timiryazev*
ul. Timiryazevskaya 49, Moscow 127550, Russia
[#]*E-mail: belopuhov@mail.ru*

The effect of 5 protective-stimulating complexes on the growth, development, yield and quality of drug-free monoecious hemp of the Central Russian ecotype of the Surskaya variety, reproduction of WASP seeds was studied on the experimental field of the Penza research Institute of agriculture. Soil – leached Chernozem medium loamy srednemoschny. Humic-fulvate complex (HFC) preparations Floravit, Super Humisol, Bioclades and regulator of plant growth and development on the basis of heterocyclic compounds, organic and amino acids in concentration 0.1–1.0% were used for treatment of plants. It was found that in conditions of lack of moisture, the use of protective-stimulating complexes significantly increased the biometric parameters of plants, the average length of internodes by 2–3 cm, which characterized them as the most technologically valuable, with a longer elementary fiber. The action of HFC raised the technical length of the stem 21 cm, see use of complexes did not affect cleavage normal poscon and the rate of ripening of plants, harvesting the seed moisture content, accumulation of cannabinoids. In the conditions of the acutely arid vegetation period, the effect of the drugs also did not affect the biometric indicators of plants and the accumulation of tetrahydrocannabinol and the sum of the main cannabinoids. The positive effect of the drugs on the yield of total and long fibers, especially in the variant with the treatment with Floravit, was noted. Treatment with other drugs did not affect the physical and mechanical characteristics of the carded fiber-breaking load and flexibility. Protective-stimulating complexes have shown high efficiency in the conditions of a specific vegetation period in increasing the resistance of plants to the defeat of the most common diseases and damage by pests.

Key words: technical hemp of Surskaya variety, protective-stimulating complexes, plant growth regulators, hemp fiber, hemp oil.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 61–68

Агроэкология

УДК 574.4:621:631

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БИОГЕОСИСТЕМОТЕХНИКИ

© 2020 г. В. П. Калиниченко[1,2,*], А. П. Глинушкин[2], М. С. Соколов[2], В. К. Шаршак[1], Е. П. Ладан[1], Т. М. Минкина[3], В. Е. Зинченко[4], В. В. Черненко[1], Д. А. Макаренков[5], А. Э. Рыхлик[1], Г. С. Ларин[1]

[1] *Институт плодородия почв юга России*
346495 Ростовская обл., Октябрьский р-н, п. Персиановский, ул. Кривошлыкова, 2, Россия
[2] *Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии*
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия
[3] *Южный федеральный университет*
344006 Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42, Россия
[4] *Федеральный Ростовский аграрный научный центр*
346735 Ростовская обл., Аксайский р-н, п. Рассвет, ул. Институтская, 1, Россия
[5] *Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ*
Национального исследовательского центра "Курчатовский институт"
107076 Москва, ул. Богородский Вал, 3, Россия
**E-mail: kalinitch@mail.ru*

Поступила в редакцию 30.07.2019 г.
После доработки 10.08.2019 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

Для преодоления устаревших имитационных принципов природопользования предложено научно-технологическое направление "биогеосистемотехника" как система природоподобных алгоритмов, технологий и технических решений. На примерах внутрипочвенного фрезерования иллювиального горизонта почвы в целях управления системой агрегатов почвы, управления биогеохимическим циклом вещества посредством внутрипочвенного импульсного дискретного увлажнения почвы, рециклинга минеральных и органических отходов одновременно с внутрипочвенным фрезерованием и/или внутрипочвенной импульсной дискретной фертигацией почвы показана возможность создания биогеосистем с трансцендентальными (т.е. не имеющими прямых аналогов в природе) свойствами, что обеспечит коэволюцию технологии и биосферы.

Ключевые слова: биогеосистемотехника, внутрипочвенное фрезерование, внутрипочвенное импульсное дискретное увлажнение почвы, внутрипочвенный рециклинг минеральных и органических отходов, коэволюция технологии и биосферы.

DOI: 10.31857/S0002188120020052

ВВЕДЕНИЕ

Современное природопользование базируется на устаревших имитационных принципах, обусловливая многочисленные риски [1, 2], что исключает в эпоху ноосферы коэволюционное развитие человечества, техносферы и биосферы [3–8], биологически ориентированную экономику [9]. В качестве новой парадигмы развития нами предложено научно-технологическое направление "биогеосистемотехника" [10–13], в котором разработаны природоподобные [14, 15] алгоритмы, технологии и технические решения. В качестве примера рассмотрено управление системой агрегатов почвы [16] и биогеохимическим циклом вещества [17, 18], включая искусственное увлажнение почвы [19], в целях создания биогеосистем с трансцендентальными (т.е. не имеющими прямых аналогов в природе) свойствами [20, 21].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для обоснования биогеосистемотехники проведено лабораторное и полевое моделирование управления агрегатной композицией, биогеохимическим циклом вещества, увлажнением почвы, изучены ее геофизические, химические, физико-химические свойства [22–25]. Разработаны термодинамические математические модели переноса вещества в почве [8, 26]. Заложены производственные экспериментальные многолетние почвенно-мелиоративные стационары, исследована долговременная динамика свойств улучшенных почв, урожайность культур и качество продукции [16, 27]. При выполнении исследования

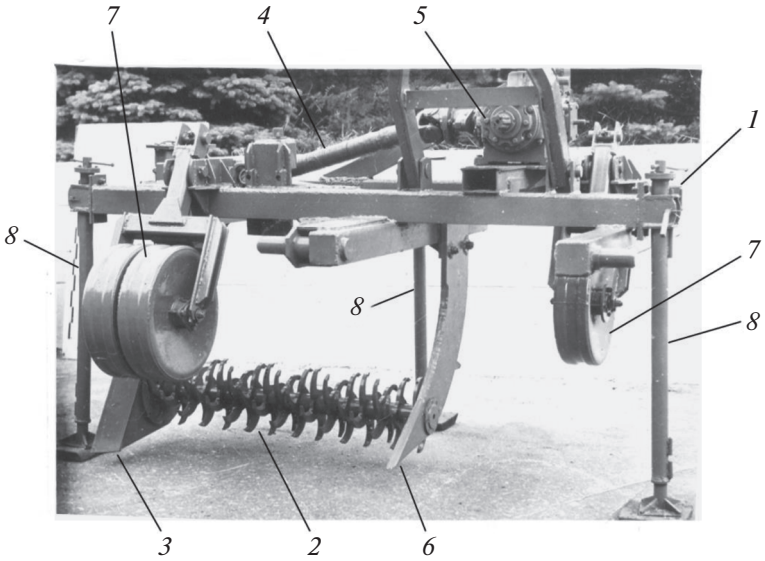

Рис. 1. Почвенно-мелиоративное фрезерное орудие ФС-1,3: *1* – рама, *2* – фрезерный рыхлитель внутреннего слоя почвы, *3* – режущая стойка-редуктор, *4* – привод, *5* – редуктор, *6* – режущая стойка, *7* – опорное колесо, *8* – опора орудия в нерабочем положении.

применяли стандартные методы изучения свойств почвы [28, 29], а также специально разработанные собственные программные продукты [30]. Разработка устройств и технологий для имплементации трансцендентального методологического подхода биогеосистемотехники к обеспечению непротиворечивого взаимодействия технологии и биосферы выполнена на базе эвристического метода создания артефактов техники [31].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Механическая мелиоративная обработка почвы. Современные теория и практика механической обработки почвы ориентированы преимущественно на традиционные рыхлящие устройства. После стандартной мелиоративной трехъярусной вспашки каштаново-солонцового комплекса агрегаты почв представлены преимущественно в виде глыб (иллювиального и переходного горизонтов) размером >100 мм. Они сохраняются практически в неизменном виде в течение 30 и более лет, оставаясь непроницаемыми для корней культурных растений: в результате седиментации тупиковые поры занимают до 99% объема порового пространства почвы [32, 33], в стандартной агрокультуре самовосстановление таких почв проблематично [34].

В 60–70-х годах XX в. нами разработан принцип мелиорации почвы агроценозов посредством фрезерной обработки ее иллювиального горизонта на глубине 20–45 см, что обеспечивает разрушение крупных почвенных агрегатов [35].

В длительном стационарном полевом эксперименте (колхоз им. XVII Партконференции, с. Ремонтное, Ростовская обл.) изучены стандартная основная отвальная обработка почвы (на глубину 20–22 см), стандартная почвенно-мелиоративная трехъярусная обработка почвы (на 40–45 см), внутрипочвенная фрезерная обработка слоя 20–45 см орудием ФС-1.3 (рис. 1).

Установлено, что однократная внутрипочвенная фрезерная обработка обеспечивает получение мелких и средних искусственных агрегатов почвы – комфортного субстрата для развития корневой системы растений и обитания геобионтов [36, 37]. Количество агрегатов почвы размером 1–3 мм в слое 20–45 см после стандартной трехъярусной обработки почвы составляло только 10%, а после внутрипочвенного фрезерования – до 40% [16].

В результате внутрипочвенного фрезерования улучшились физико-химические, технологические и агробиологические параметры почвы, оптимизирован круговорот питательных элементов. Обеспечен почвенно-биологический секвестр углерода, поскольку содержание гумуса в почве при стандартной агротехнике в слое 0–20 см составляет 2%, в слое 20–40 см – 1.1%, за счет внутрипочвенного фрезерования увеличивается: в светло-каштановой почве в слое 0–20 см до 2.3, в слое 20–40 см – до 1.7, в каштановой почве соответственно – до 3.3 и 1.9%. В течение длительного периода отмечен рост продуктивности агрокуль-

Таблица 1. Экономические показатели продуктивности озимой пшеницы в 2006 г. при различных способах обработки почвы в 1976 г. (стационар колхоза им. XVII Партконференции (ООО Мир), с. Ремонтное, Ростовская обл.) [16]

Показатель	Отвальная обработка, 0–22 см	ПТН-40, 0–45 см	ФС-1,3, 20–45 см
Урожайность, т/га*	4.14	5.12	6.58
Агротехнологические затраты, руб./га	35900	38850	42350
Почвенно-мелиоративные затраты, руб./га	0	24000	39000
Срок действия почвенно-мелиоративной технологии, лет	0	10	30
Амортизация мелиоративной технологии, руб./га	0	2400	1300
Рентабельность (при цене реализации, 5800 руб./т), %	26.85	44.97	70.91
Себестоимость зерна, руб./т	8671.50	8056.64	6633.74

*$НСР_{0.5}$ = 0.59 т/га

туры и достигнуты высокие экономические показатели (табл. 1).

Искусственное увлажнение почвы. На ирригацию расходуют до 95% общемирового ресурса пресной воды, причем примерно 90% воды используется непроизводительно, во вред геосферам [38]. Отрицательный результат традиционной ирригации определяют следующие явления: а) нарушение гидрологического режима почвы и ландшафта, б) избыточное выщелачивание питательных веществ, в) переувлажнение и вторичное засоление, г) гравитационно-гидродинамическая флотация твердой фазы и гравитационно-водное переуплотнение почвы. Расход воды в 4–15 раз превышает эмпирическую потребность культивируемых растений [39], притом стандартный расчет дает завышенный результат, не соответствующий современным представлениям о физике почв и питании растений [40–42]. Системный дефект искусственного гидрологического режима почвы при ирригации состоит в совмещении фазы подачи воды с фазой ее самопроизвольного неконтролируемого перераспределения в почве, что обусловливает деградацию структуры почвы [43, 44].

Нами предложена новая природоподобная водная стратегия биогеосистемотехники – внутрипочвенная импульсная дискретная парадигма увлажнения, позволяющая преодолеть недостатки традиционной ирригации [45–47]. В фазе подачи воду впрыскивают в почву, дозировано распределяя ее в вертикальном цилиндре первичного увлажнения на глубине 10–40 см (рис. 2).

Ввиду краткосрочности гидродинамического воздействия механические связи в почве полностью не разрушаются, а нарушенные – быстро восстанавливаются, механический каркас почвы при этом сохраняется. В последующей фазе распределения воды из цилиндра первичного увлажнения влага в течение нескольких минут перераспределяется капиллярным, пленочным и парообразным переносом. Термодинамический потенциал воды в увлажненной почве составляет –0.2 МПа, что существенно меньше аналогичного (–0.033 МПа) после стандартного полива. Растения питаются более концентрированным почвенным раствором, существенно снижая затраты энергии на эвапотранспирацию в сравнении со стандартным поливом. Вследствие оптимизации органогенеза повышается продуктивность растений (рис. 3).

Возрастает устойчивость растений к фитопатогенам вследствие относительно низкой влажности почвы. Исключены потери воды, ее негативное избыточное воздействие на почву и агроландшафт. В сравнении с традиционной ирригацией, расход воды на увлажнение почвы снижается в 5–20 раз. Растения с поливной водой получают меньше поллютантов. Достигается многократная экономия энергии, финансовых и материальных ресурсов.

Рециклинг отходов внутри почвы. Стандартная индустриальная технологическая парадигма построена на обращении с отходами по принципу “быстрее от них избавиться”: сжигание, открытое хранение, захоронение или сосредоточенное размещение в почве, неполная очистка жидких бытовых, животноводческих или технических стоков, опасных для биоты. В результате нарушается баланс углерода, других биофилов [48].

Рециклинг минеральных и органических отходов в виде агрегатов размером до 3–5 мм следует проводить одновременно с внутрипочвенным фрезерованием слоя 20–40 (30–60) см (рис. 4) [49]. Синтезируется развитая искусственная геофизическая система агрегатов “почва–отходы” – приоритетный субстрат для рециклинга отходов. Улучшаются условия питания растений.

Утилизация опасных биологических отходов (включая боенские) [50], отходов пищевых производств, продуктов пиролиза (включая биочар),

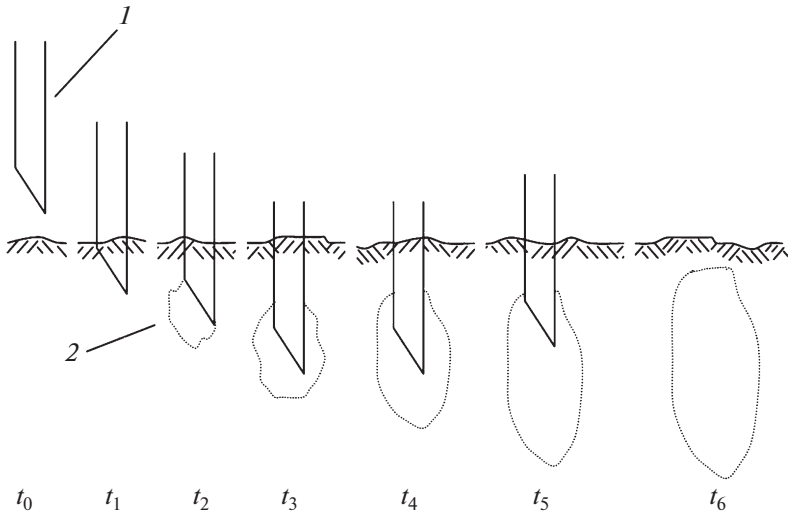

Рис. 2. Внутрипочвенный импульсный дискретный способ полива: *1* – шприцевой элемент, *2* – контур увлажнения, $t_0 - t_6$ – стадии подачи воды из шприца.

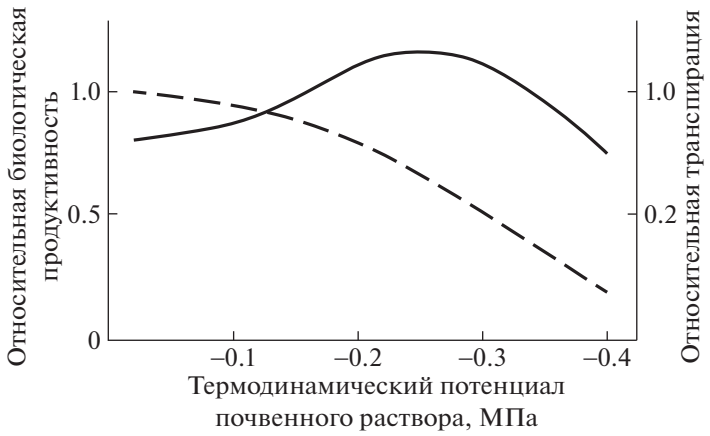

Рис. 3. Относительная транспирация и биологическая продуктивность растений в зависимости от термодинамического потенциала почвенного раствора: Пунктирная линия – относительная транспирация, сплошная линия – относительная биологическая продуктивность растений.

отхода газификации [51] по предлагаемой технологии нарушает трофические цепи распространения опасного инокулюма патогенов и фитопатогенов. Микроорганизмы-супрессоры в развитой агрегатной почвенной экосистеме элиминируют патогенную и/или фитопатогенную микробиоту. Приоритетные условия органогенеза обеспечивают высокий фитоиммунный статус растений [52], улучшается фитосанитарная обстановка в агрофитоценозе, обеспечивается биоремедиация.

Внутрипочвенная импульсная дискретная система внесения вещества в жидкой форме (пульпа, смесь), а также синтеза вещества внутри тонкодисперсной системы [53] оптимизирует питание и водопотребление растений, обеспечивает экологическую, медицинскую и ветеринарную безопасность наземно-почвенных и водных экосистем, включая удобрительный экологически дружественный рециклинг сточных вод, содержащих минеральные (исключая тяжелые металлы) и органические загрязнения. В новой агрегатной системе почвы за счет ассоциации и комплексообразования ионов в почвенном растворе при относительно низком термодинамическом потенциале воды достигается усиление биогеохимического барьера “почва–ризосфера” [8, 54], минимизируется поступление тяжелых металлов в растения [55, 56], создаются предпосылки для микробиологической активности в ризосфере [57], высокой биологической продуктивности агроценоза и оздоровления почвы [58–60]. Внутрипочвенная импульсная дискретная система внесения биопрепаратов и пестицидов для защиты растений

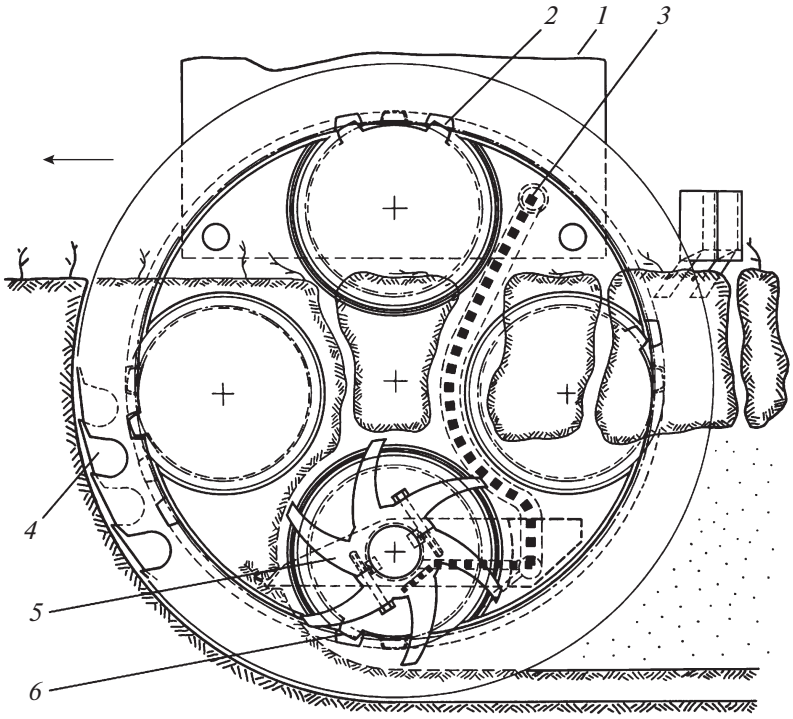

Рис. 4. Устройство для внутрипочвенного фрезерования и внесения вещества в зону рыхления: *1* – рама, *2* – ведущая шестерня, *3* – канал подачи вещества внутрь обрабатываемого слоя почвы, *4* – кольцевой щелерез с внутренней промежуточной шестерней, *5* – фрезерный рыхлитель, *6* – ведомая шестерня.

усилит их действие на вредные организмы и обеспечит безопасность экосферы.

Большинство опасных для высших организмов загрязняющих веществ гораздо менее опасны для геобионтов и утилизируются ими в процессе внутрипочвенной дисперсной утилизации, фертигации и/или внесения биопрепаратов [61].

Методы биогеосистемотехники применимы к многолетним плодовым культурам, древесно-кустарниковым насаждениям, обеспечивая лучшую приживаемость, ускоренное накопление фитомассы и повышение продуктивности [62]. При этом декоративные и защитные насаждения формируют привлекательный габитус, увеличивается продолжительность их эксплуатации.

Возможно биолого-почвенное решение проблем углеродного баланса [63], секвестра углерода [64, 65], производства энергии [21], стабилизации климатической системы [66].

Успех реализации биогеосистемотехники во многом связан со степенью совершенства политико-правовых инструментов выбора программ стратегического развития РФ [67].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Природоподобные технологии биогеосистемотехники оптимизируют коэволюцию биосферы и техносферы посредством: а) внутрипочвенного фрезерования иллювиального горизонта почвы, б) внутрипочвенного импульсного дискретного увлажнения, в) высокопроизводительного экологичного почвенно-биологического рециклинга органических отходов, д) внутрипочвенного импульсного дискретного внесения агрохимикатов. Уже в ближайшей перспективе реализация указанных стратегических направлений позволит: а) повышать плодородие почвы, б) обеспечивать бездефицитный баланс почвенного гумуса, в) существенно снижать пестицидную нагрузку на агроландшафт, г) обеспечивать оздоровление почвы и д) перманентно повышать ее продуктивность.

Контролируемая коэволюционная интенсификация агросферы обеспечит производство дополнительного биотоплива, сырья и продовольствия. Все вышеизложенное создаст объективные условия для повышения качества жизни нашего социума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gill J.C., Malamud B.D.* Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework // Earth-Sci. Reviews. 2017. № 166. P. 246–269. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.01.002

2. *Mansvelt Van J.D.* Soil Fertility in agriculture: Russia – Western Europe – USA: in the past and today // Biogeosyst. Techniq. 2017. № 4 (2). P. 220–231. https://doi.org/10.13187/bgt.2018.1.87
3. *Cuomo C.J.* Against the idea of an anthropocene epoch: Ethical, political and scientific concerns // Biogeosyst. Techniq. 2017. № 4 (1). P. 4–8. https://doi.org/10.13187/bgt.2017.1.4
4. *Glazko V.I., Glazko T.T.* Conflicts of biosphere and agroecosystems // Inter. J. Environ. Probl. 2015. № 1 (1). С. 4–16.
5. *Cheshko V.T., Glazko V.I., Kosova Y.V.* Bioethics: Reincarnation of natural philosophy in modern science // Biogeosyst. Techniq. 2017. № 4 (2). С. 111–121. https://doi.org/10.13187/bgt.2017.2.111
6. *Keesstra S.D., Bouma J., Wallinga J., Tittonell P., Smith P., Cerdà A., Montanarella L., Quinton J.N., Pachepsky Y., van der Putten W.H., Bardgett R.D., Moolenaar S., Mol G., Jansen B., Fresco L.O.* The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations // Sustain. Develop. Goals. Soil. 2016. № 2. P. 111–128. https://doi.org/10.5194/soil-2-111- 2016
7. *Keesstra S., Mol G., De Leeuw J., Okx J., Molenaar C., De Cleen M., Visser S.* Soil-related sustainable development goals: Four concepts to make land degradation neutrality and restoration work // Land. 2018. № 7 (4). P. 133. https://doi.org/10.3390/land7040133
8. *Bohle M.* Ideal-type narratives for engineering a human niche //Geosci. 2017. № 7 (1). P. 18. https://doi.org/10.3390/geosciences7010018
9. *Johansson J.* Collaborative governance for sustainable forestry in the emerging bio-based economy in Europe // Current Opin. Environ. Sustainabil. 2018. № 32. P. 9–16. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.01.009
10. *Калиниченко В.П., Шаршак В.К., Овчинников В.Н., Москаленко А.П., Скуратов Н.С., Докучаева Л.М., Удалов А.В., Ладан Е.П., Генев Е.Д., Илларионов В.В., Зинченко В.Е., Морковской Н.А., Черненко В.В.* Циклическая ресурсосберегающая рекреационная биогеосистемотехника на основе роторной мелиоративной обработки почв // Каталог инновационных разработок ученых Донского ГАУ. Персиановский, 2009. С. 19–21.
11. *Kalinichenko V.P., Sister V.G., Tsedilin A.N., Makarenkov D.A., Nazarov V.I., Chaika V.A.* Biogeosystem Technique – dispersed soil system creation, intra-soil moistening, intra-soil waste recycling – priority conditions for the humic substances synthesis and stability // 4th Inter. Conf. of CIS IHSS on Humic Innovation Technologies "From molecular analysis of humic substances – to nature-like technologies" (HIT-2017). October 15–21, 2017. М.: Изд-во МГУ, 2017. P. 11–15.
12. *Glinushkin A.P., Kudeyarov V.N., Sokolov M.S., Zinchenko V.E., Chernenko V.V.* Nature-similar technologies of the biogeosystem technique in solving a global social and environmental problem // Biogeosyst. Techniq. 2018. № 5 (2). P. 159–196. https://doi.org/10.13187/bgt.2018.2.159
13. *Калиниченко В.П.* Биогеосистемотехника – априорно-экспериментальная стратегия повышения качества почвы агро- и социосферы // Гл. XV. Адаптивно-интегрированная защита растений (монография) / Под ред. Глинушкина А.П., Каракотова С.Д., Соколова М.С., Спиридонова Ю.Я., Босак Г.С. М.: Печатный город, 2019. С. 429–466.
14. *Ковальчук М.В., Нарайкин О.С.* Природоподобные технологии – новые возможности и новые угрозы // Индекс безопасности. 2017. Т. 22. С. 103–108.
15. *Ковальчук М.В., Нарайкин О.С., Яцишина Е.Б.* Конвергенция наук и технологий – новый этап научно-технического развития // Вопр. философии. 2013. № 3. С. 3–11.
16. *Калиниченко В.П., Шаршак В.К., Миронченко С.Ф., Черненко В.В., Ладан Е.П., Генев Е.Д., Илларионов В.В., Удалов А.В., Удалов В.В., Киппель Е.В.* Изменение свойств почв солонцового комплекса через 30 лет после мелиоративных обработок // Почвоведение. 2014. № 4. С. 490–506.
17. *Kalinitchenko V.P.* Status of the Earth's geochemical cycle in the standard technologies and waste recycling, and the possibilities of its correction by biogeosystem technique method (problem-analytical review) // Biogeosyst. Techniq. 2016. V. 8. Is. 2. P. 115–144. https://doi.org/10.13187/bgt.2016.8.115
18. *Kalinitchenko V.P.* Optimizing the matter flow in biosphere and the climate of the earth at the stage of technogenesis by methods of biogeosystem technique (problem-analytical review) // Inter. J. Environ. Probl. 2016. V. (4). Is. 2. P. 99–130. https://doi.org/10.13187/ijep.2016.4.99
19. *Калиниченко В.П., Минкина Т.М., Безуглова О.С., Зармаев А.А., Романов О.В., Ким В.Ч.-Д.* Концепция внутрипочвенной дискретной импульсной ирригации // Природообустройство. 2013. № 2. С. 6–11.
20. *Kalinitchenko V.P.* Soil dynamics management // Biogeosyst. Techniq. 2016. V. (10). Is. 4. P. 284–316. https://doi.org/10.13187/bgt.2016.10.284
21. *Kalinitchenko V.P.* Renewal of energy and life in the biosphere // Europ. J. Renewable Energy. 2017. V. 2 (1). P. 3–28. https://doi.org/10.1318.7/ejore.2017.1.3
22. *Минкин М.Б., Бабушкин В.М., Садименко П.А.* Солонцы юго-востока Ростовской области. Ростов/н/Д.: Изд-во РГУ, 1980. 271 с.
23. *Минкин М.Б., Горбунов Н.И., Садименко П.А.* Актуальные вопросы физической и коллоидной химии почв. Ростов/н/Д.: Изд-во РГУ, 1982. 270 с.
24. *Минкин М.Б., Калиниченко В.П., Садименко П.А.* Регулирование гидрологического режима комплексных солонцовых почв. Ростов/н/Д.: Изд-во РГУ, 1986. 231 с.
25. *Калиниченко В.П.* Природные и антропогенные факторы происхождения и эволюции структуры почвенного покрова. М.: МСХА, 2003. 376 с.
26. *Минкина Т.М., Ендовицкий А.П., Калиниченко В.П., Федоров Ю.А.* Карбонатно-кальциевое равновесие в системе вода–почва. Ростов/н/Д.: Изд-во Южн. фед. ун-та, 2012. 376 с. ISBN 978-5-9275-0922-5
27. *Суковатов В.А.* Длительность действия мелиорации солонцового комплекса каштановых почв: Дис. ... канд. с.-х. наук. Персиановский, Донской ГАУ, 2009. 140 с. http://elibrary.ru/item.asp?id=19212993

28. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Изд-во Высш. шк., 1973. 400 с.

29. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Воробьевой Л.А. М.: Изд-во ГЕОС, 2006. 400 с.

30. *Ендовицкий А.П., Калиниченко В.П., Бакоев С.Ю., Иваненко А.А., Суковатов В.А., Радевич Е.В.* Программа для ЭВМ "ION-2". Св-во о гос. регистрации № 2009612162. 27.04.2009.

31. *Mitcham C.* Thinking through technology: The Path between engineering and philosophy. USA, University Of Chicago Press, 1994. ISBN 978-0-226-53198-4

32. *Shein E.V., Kharitonova G.V., Milanovsky E.Yu.* Aggregation of natural disperse formations: Value of organic matter, soluble salts and diatoms // Biogeosyst. Techniq. 2016. № 7 (1). P. 77–86.

33. *Shein E.V., Skvortsova E.B., Dembovetskii A.V., Abrosimov K.N., Il'in L.I., Shnyrev N.A.* Pore-size distribution in loamy soils: A comparison between microtomographic and capillarimetric determination methods // Euras. Soil Sci. 2016. V. 49. Iss. 3. P. 315–325.

34. *Kalinina O., Giani L., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Chertov O., Barmin A.N.* Self-restoration of post-agrogenic soils of calcisol-solonetz complex: soil development, carbon stock dynamics of carbon pools // Geoderma. 2015. V. 237. P. 117–128.

35. *Шаршак В.К., Москвичев Н.Н., Ладан Е.П., Генев Е.Д., Слюсарев В.С.* Комбинированное почвообрабатывающее орудие: А.с. СССР № 442760. Б.И. 1974. № 34.

36. *Shein E.V., Kharitonova G.V., Bayasgalan Amgalan, Gantumur Sambuu, Krutikova V.O., Kharitonov E.V.* Salt neoformations in soils of central Mongolia // Biogeosyst. Techniq. 2017. № 4 (1). P. 66–81. https://doi.org/10.13187/bgt.2017.1.66

37. *Kharitonova G.V., Shein E.V., Krutikova V.O., Ostrouhov A.V.* Calcium carbonate formations in edaphic components of ecosystems // Biogeosyst. Techniq. 2018. № 5 (2). P. 197–212. https://doi.org/10.13187/bgt.2018.2.197

38. *Rykhlik, A.E., Bezuglova, O.S.* Method of intra-soil pulse continuous-discrete moistening (model experiment) // Biogeosyst. Techniq. 2017. № 4 (1). P. 39–65. https://doi.org/10.13187/bgt.2017.1.39

39. *Ochoa C., Guldan S., Fernald A., Tidwell V., Elias E., Gutierrez K., Borman M.* Surface water and shallow groundwater interactions in semiarid agroecosystems of the western USA // Geophys. Res. Abstr. 2014. V. 16. EGU2014-3161.

40. *Шеин Е.В., Белик А.А., Кокорева А.А., Колупаева В.Н.* Количественная оценка неоднородности потоков веществ по параметру "шаг смешения" для математических моделей миграции пестицидов в почвах // Почвоведение. 2018. № 7. С. 852–858.

41. *Shein E.V., Mady A.Y., Il'in L.I.* Validation of HYDRUS-1D for predicting of soil moisture content with hysteresis effect // Biogeosyst. Techniq. 2019. № 6 (1). P. 59–64.

42. *Zaitseva R.I., Nikitina N.S., Sudnitsyn I.I.* The effect of the concentration and osmotic pressure of soil solution on the availability of water to plants // Euras. Soil Sci. 2003. V. 36. № 9. З. 1003–1009.

43. *Топунова И.В., Приходько В.Е., Соколова Т.А.* Влияние орошения на содержание и минералогический состав илистой фракции черноземов Ростовской области (Багаевско-садковская оросительная система) // Вестн. МГУ. Сер. 17: Почвоведение. 2010. № 1. С. 3–10.

44. *Prikhod'ko V., Manakhov D.* Soil processes at different structural levels of organization and diagnosis of their changes under irrigation // Moscow University Soil Sci Bul. 2010. № 65. P. 52–60. https://doi.org/10.3103/S014768741002002X

45. *Калиниченко В.П.* Способ внутрипочвенного импульсного дискретного полива растений: Пат. (RU) № 2386243 C1. Б.И. 2010. № 11. 9 с.

46. *Kalinichenko V.* Biogeosystem technique as a base of the new world water strategy // Biogeosyst. Techniq. 2014. № 2 (2). P. 100–124.

47. *Batukaev A.A., Kalinichenko V.P., Rykhlik A.E., Palaeva D.O.* Intra-soil pulse continuum-discrete moistening for soil and water preservation // Adv. Engin. Res. 2018. V. 151. P. 905–911.

48. *Helfenstein J., Jegminat J., McLaren T.I., Frossard E.* Soil solution phosphorus turnover: derivation, interpretation, and insights from a global compilation of isotope exchange kinetic studies // Biogeosciences. 2018. № 15. P. 105–14. https://doi.org/10.5194/bg-15-105-2018

49. *Калиниченко В.П.* Устройство для внесения вещества при ротационном внутрипочвенном рыхлении: Пат. RU № 2387115 C2. Б.И. 2010. № 12. 6 с.

50. *Калиниченко В.П., Старцев В.Ф.* Способ утилизации боенских отходов. Пат. RU 2552076 C1. Б.И. 2015. № 16. 9 с.

51. *Калиниченко В.П., Глинушкин А.П., Соколов М.С., Козырев С.Г., Савостьянов А.П., Ильин В.Б.* Комплекс утилизации отхода газификации: Пат. RU № 2692718 C1. Б.И. 2019. № 18.

52. *Калиниченко В.П., Рыхлик А.Э., Ларин Г.С.* Методы биогеосистемотехники для повышения иммунитета растений // Аграрная наука. Спец. вып. к Международ. научн.-практ. конф. "Иммунитет растений к инфекционным заболеваниям", посвящ. 100-летию монографии Н.И. Вавилова. 25–28 июня 2019. Т. 2. С. 35–40.

53. *Калиниченко В.П., Ильин В.Б., Ендовицкий А.П., Черненко В.В.* Способ синтеза вещества внутри тонкодисперсной системы: Пат. RU № 2476055 C2. Б.И. 2013. № 6. 7 с.

54. *Batukaev A.A., Endovitsky A.P., Andreev A.G., Kalinichenko V.P., Minkina T.M., Dikaev Z.S., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N.* Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink // Solid Earth. 2016. № 7. I. 2. P. 415–423. https://doi.org/10.5194/se-7-415-2016

55. *Bech J., Korobova E., Abreu M., Bini C., Chon H.T., Pérez-Sirvent C.* Soil pollution and reclamation // J. Geochem. Explor. 2014. № 147. P. 77–79. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.11.001

56. *Kalinichenko V.P., Glinushkin A.P., Sokolov M.S. Zinchenko V.E., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Makarenkov D.A., Bakoyev S.Y., Il'ina L.P.* Impact of soil organic matter on calcium carbonate equilibrium and forms of Pb in water extracts from Kastanozem complex // J. Soils Sediment. 2018. № 1 9(6). P. 2717–2728. https://doi.org/10.1007/s11368-018-2123-z

57. *Blagodatskaya E., Kuzyakov Y., Blagodatsky S., Anderson T.-H.* Microbial growth and carbon use efficiency in the rhizosphere and root-free soil // PLoS ONE. 2014. Т. 9. № 4. С. e93282.

58. *Nigten A.O.* Re-inventing agriculture! // Biogeosyst. Techniq. 2018. № 5 (2). P. 213–228. https://doi.org/10.13187/bgt.2018.2.213

59. *Соколов М.С.* Здоровая почва – неотъемлемый, экологически значимый фактор коэволюции биосферы и социума (в развитие ноосферных идей В.И. Вернадского) // Адаптивно-интегрированная защита растений (монография) Гл. XIV / Под ред. Глинушкина А.П., Каракотова С.Д., Соколова М.С., Спиридонова Ю.Я., Босак Г.С. М: Печатный город, 2019. С. 387–428.

60. *Семенов А.М., Глинушкин А.П.* Научно-методическое руководство для практического определения параметров здоровья почвенной экосистемы (почвы) // Адаптивно-интегрированная защита растений (монография) Гл. XVIII / Под ред. Глинушкина А.П., Каракотова С.Д., Соколова М.С., Спиридонова Ю.Я., Босак Г.С. М: Печатный город, 2019. С. 525–554.

61. *Колесников С.И., Ярославцев М.В., Спивакова Н.А., Казеев К.Ш.* Сравнительная оценка устойчивости биологических свойств черноземов Юга России к загрязнению Cr, Cu, Ni, Pb в модельном эксперименте // Почвоведение. 2013. № 2. С. 195–200.

62. *Батукаев А.А., Зармаев А.А., Калиниченко В.П., Чулков В.В., Мамилов Б.Б., Черненко В.В., Лохманова О.И.* Способ создания многолетних насаждений: Пат. RU № 2498550 C2. 2013. Б.И. № 32. 4 с.

63. *Кудеяров В.Н.* Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1049–1061. https://doi.org/10.7868/S0032180X15090087

64. *Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Калиниченко В.П., Глинушкин А.П.* Управляемая коэволюция педосферы – реальная биосферная стратегия XXI века (вклад в развитие ноосферных идей В.И. Вернадского) // Агрохимия. 2018. № 11. С. 3–18. https://doi.org/10.1134/S0002188118110091

65. *Kalinichenko V., Batukaev A., Glinushkin A., Sokolov M., Sushkova S., Minkina T., Zinchenko V., Chernenko V., Bauer T., Zamulina I., Makarenkov D.* Carbon irreversible sequestration dangerous mistake // Geophys. Res. Abstr. 2019. V. 21. EGU2019-5934

66. *Kalinitchenko V., Batukaev A., Batukaev M., Minkina T.* Biogeosystem Technique as a method to correct the climate // Geophys. Res. Abstr. 2017. V. 19. EGU2017-2540.

67. *Larin G.S., Lyakhov V.P.* Political and legal modernization and the choice of the vector of development of modern Russia in focus of the ideas and attributes of national security in the 21st century synthesis, taking into account the Decembrists views and ideologies // Colloquium-journal. Jurisprudence. 2019. № 9(33). P. 56–61. https://doi.org/10.24411/2520-6990-2019-10255

Nature-Based Technologies of Biogeosystem Technique

V. P. Kalinitchenko[a,b,#], A. P. Glinushkin[b], M. S. Sokolov[b], V. K. Sharshak[a], E. P. Ladan[a], T. M. Minkina[c], V. E. Zinchenko[d], V. V. Chernenko[a], D. A. Makarenkov[e], A. E. Rykhlik[a], and G. S. Larin[a]

[a] *Institute of Soil Fertility of South Russia, ul. Krivoshlykova 2, Rostov region, p. Persianovka 346493, Russia*

[b] *Russian Scientific-Research Institute of Phytopathology, ul. Institute 5, Moscow region, p. Bolshiye Vyazemy 143050, Russia*

[c] *Southern Federal University, prosp. Stachki 194/1, Rostov-on-Don 344090, Russia*

[d] *Federal Rostov Agrarian Research Center, ul. Institutskaya 1, Rostov region, p. Rassvet 346735, Russia*

[e] *Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemical Substances of National Research Centre "Kurchatov Institute", Bogorodsky Val 3, Moscow 107076, Russia*

[#] *E-mail: kalinitch@mail.ru*

For overcoming the outdated imitating principles of nature management, the scientific and technological direction "Biogeosystem Technique" as a system of nature-based algorithms, technologies and technical solutions was proposed. Using the examples of illuvial soil horizon milling to control the system of soil aggregates, biogeochemical cycle control by means of intra-soil pulse discrete moistening, mineral and organic wastes recycling simultaneously with intra-soil milling and/or intra-soil pulse discrete fertigation, the possibility of transcendental biogeosystems (having no direct analogs in nature) synthesis to ensure the co-evolution of technology and biosphere was shown that.

Key words: biogeosystem technique, intra-soil milling, intra-soil pulse discrete moistening, intra-soil recycling of mineral and organic waste, coevolution of technology and biosphere.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 69–76

УДК 631.816:631.582:631.95

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТОЧНОЙ СИСТЕМЫ УДОБРЕНИЯ В ЗВЕНЕ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА

© 2020 г. А. И. Иванов[1,2,*], Ж. А. Иванова[1], Н. А. Цыганова[3]

[1] *Агрофизический научно-исследовательский институт*
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп. 14, Россия

[2] *Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения*
196608 Санкт-Петербург–Пушкин, ш. Подбельского, 7, Россия

[3] *Санкт-Петербургский государственный аграрный университет*
196601 Санкт-Петербург–Пушкин, Петербургское шоссе, 2, Россия

**E-mail: office@agrophys.ru*

Поступила в редакцию 01.08.2018 г.
После доработки 25.12.2018 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

Проанализированы данные ландшафтного опыта, выполненного параллельно в 5-ти фациях агроландшафта, отличающихся структурой почвенного покрова и геохимическими режимами. Установлена значительная дифференциация продуктивности звена полевого севооборота и окупаемости действующего вещества удобрений в зависимости от ландшафтно-экологических условий. При этом отчетливее проявилось влияние литогенного фактора (степени развития глеевого и эрозионного процессов, агрофизических и агрохимических свойств почвы и материнской породы), в то время как значение геохимических режимов не установлено. Одним из косвенных подтверждений роли геохимических режимов стало повышение на 35% оплаты урожаем 1 кг NPK в варианте точной системы удобрения.

Ключевые слова: рельеф, агроландшафт, агромикроландшафт, почвенный покров, свойства почвы, геохимический режим, севооборот, система удобрения, продуктивность севооборота, эффективность удобрений.

DOI: 10.31857/S0002188120020040

ВВЕДЕНИЕ

Одним из обязательных требований к адаптивно-ландшафтным системам земледелия является строгая увязка их технологических звеньев (включая и систему удобрения) со всем комплексом ландшафтных условий [1–4]. Естественно, что это предполагает обязательность нетрадиционного почвенно-агрохимического обследования, а более затратного прецизионного картирования сельскохозяйственных угодий с учетом ландшафтно-экологических условий [2, 4–7]. Исследования показали, что последнее объективнее отражает пространственную неоднородность почвенного покрова [8] и позволяет с разной степенью эффективности реализовать точные системы удобрения [7, 9].

Однако существенную проблему в настоящее время представляет практически полное отсутствие аргументированных методических рекомендаций по увязке систем удобрения с конкретными ландшафтными условиями. Имеющаяся на этот счет информация весьма противоречива. Например, в работах [10, 11] напрямую увязан уровень эффективности удобрений с типом геохимического режима почвы в пределах моренного пологого холма. Показано, что оплата удобрений урожаем снижается в нижней части склонов в 2–5 раз. В то же время в исследованиях [12] на пологоволнистой водно-ледниковой равнине существенного влияния геохимических режимов почвы на окупаемость единицы действующего вещества удобрений установлено не было. Кроме того, ситуация существенно усложняется биологическими особенностями питания возделываемых культур в складывающихся агроэкологических условиях и отклика на применение удобрений [4, 12–14]. Все это указывает на необходимость более детальной научной проработки этого вопроса.

В настоящей статье впервые проанализированы данные ландшафтного полевого опыта, выполняемого совместно Агрофизическим НИИ и Санкт-Петербургским ГАУ. Цель работы – оценка эффективности отдельных вариантов методических подходов к пространственной корректи-

ровке системы удобрения в полевом севообороте с учетом особенностей ландшафтных условий. В их основу был положен учет вероятного влияния геохимических режимов дерново-подзолистой почвы в пределах пологого склона озерно-ледниковой равнины на условия питания растений и эффективность удобрений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Меньковском филиале АФИ в Гатчинском р-не Ленинградской обл. Ландшафтный полевой опыт заложен в 2013 г. в системе полевого севооборота пар чистый – пшеница озимая – овес + многолетние злаковые травы – многолетние травы 1–3-го года пользования – рожь озимая – картофель. Основной объект изучения – агроландшафт, представлен урочищем "Кривое Колено" на пологом склоне озерно-ледникового происхождения северо-западной и западной экспозиции площадью 53.64 га (в том числе 47.3 га пашни и 6.34 га сенокоса). Структура его почвенного покрова сформирована мелкоконтурными комплексами с участием легко- и среднесуглинистых разновидностей дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв. Почвообразующая порода – преимущественно мало- и среднемощная тяжелосуглинистая и глинистая опесчаненная морена, подстилаемая с глубины 75–120 см озерно-ледниковой супесью. Коренные породы – красноцветные девонские пески. На пашне преобладают среднеокультуренные почвы с пятнами хорошо- и слабоокультуренных. По данным прецизионного ландшафтного агрохимического обследования, коэффициент вариации агрохимических свойств почв находился в пределах от 27 до 148%, несмотря на единую историю хозяйственного использования угодья.

Для решения поставленных задач на территории агроландшафта было подобрано 5 ключевых участков площадью по 300 м^2, представляющих агромикроландшафты (**АМЛ**) с разными геохимическими режимами: № 1 – элювиальным (**Э**) на среднесуглинистой дерново-слабоподзолистой глееватой почве (занимаемая доля – 17% от площади агроландшафта), № 2 – элювильно-аккумулятивным (**ЭА**) на легкосуглинистой дерново-слабоподзолистой глееватой почве (занимаемая доля – 8%), № 3 – транзитно-элювиальным (**ТЭ**) на легкосуглинистой смытой дерново-слабоподзолистой глееватой почве (занимаемая доля – 49%), № 4 – аккумулятивным (**А**) на среднесуглинистой дерново-слабоподзолистой глееватой почве, сформировавшейся на карбонатной морене (занимаемая доля – 18%), № 5 – аккумулятивным (А) на среднесуглинистой дерново-подзолистой глеевой почве (занимаемая доля – 8%).

На площади каждого ключевого участка в 2013 г. были заложены мелкоделяночные опыты с 4-мя вариантами дифференциации системы удобрения в зависимости от ландшафтных условий: т.н. зональная (**ЗСУ**), в рамках которой дозы органических и минеральных удобрений определяли на основе зональных рекомендаций для дерново-подзолистых почв и средневзвешенных агрохимических показателей всего агроландшафта, и точная (**ТСУ**), предусматривающая корректировку доз с учетом преобладающих геохимических режимов почвы. При этом исходили из представления, что в аккумулятивных фациях агроландшафта формируются естественные барьеры для горизонтальной и вертикальной миграции биогенных элементов. Кроме того, в них высока вероятность пониженной микробиологической активности вследствие недостатка тепловых ресурсов (особенно в начале вегетации), что негативно сказывается на использовании питательных элементов, в первую очередь органических удобрений. Для элювиальных фаций агроландшафта свойственны повышенные непродуктивные потери питательных веществ почвы и удобрений.

В схеме опыта были предусмотрены 3 методических варианта корректировки доз удобрений: ТСУ-1 – дифференцировали в пространстве только дозы органического удобрения (в элювиальном АМЛ повышали на 30%, в аккумулятивных – снижали на 38%); ТСУ-2 – только минеральных удобрений (коррективы при этом имели противоположную направленность); ТСУ-3 – обоих видов удобрений (общая доза NPK в элювиальном АМЛ увеличивалась на 12%, в аккумулятивных – уменьшалась на 14%). Распределение удобрений по полям севооборота и вариантам опыта представлено в табл. 1.

В качестве органического удобрения применяли торфо-пометный компост (**ТПК**), содержащий 43.4% сухого вещества, 46.7% золы, 0.35% N, 1.18% P_2O_5, 0.86% K_2O и 1.90% CaO, который вносили в раннем чистом пару под вспашку. Калийные удобрения в форме K_x вносили под предпосевную обработку почвы, азотные – в форме N_{aa} – в подкормку в фазе начала весеннего отрастания пшеницы озимой. Под овес полную дозу минерального удобрения в форме АФК, N_{aa} и K_x вносили под предпосевную культивацию почвы.

Опыты развернуты на базе 7-польного полевого севооборота. В работе проанализированы данные его первого зернопарового звена пар чистый – озимая пшеница – овес + многолетние злаковые травы. Площадь опытной делянки – 20 м^2, повторность трехкратная. Учет урожая – сплошной

Таблица 1. Схема распределения удобрений на полях севооборота и в агромикроландшафтах (2013–2015 гг.)

Вариант (система удобрения)	Доза ТПК (т/га) и минеральных удобрений (кг д.в./га) в агромикроландшафтах				
	АМЛ № 1	АМЛ № 2	АМЛ № 3	АМЛ № 4	АМЛ № 5
Пар чистый (2013 г.)					
Контроль	0	0	0	0	0
ЗСУ	ТПК 40 + К80	ТПК 40 + К80	ТПК 40 + К80	ТПК 40 + К80	ТПК 40 + К80
ТСУ-1	ТПК 52 + К80	ТПК 40 + К80	ТПК 28 + К80	ТПК 30 + К80	ТПК 20 + К80
ТСУ-2	ТПК 40 + К60	ТПК 40 + К70	ТПК 40 + К110	ТПК 40 + К100	ТПК 40 + К60
ТСУ-3	ТПК 52 + К60	ТПК 40 + К70	ТПК 28 + К110	ТПК 30 + К100	ТПК 20 + К60
Пшеница озимая (2014 г.)					
Контроль	0	0	0	0	0
ЗСУ	N80	N80	N80	N80	N80
ТСУ-1	N80	N80	N80	N80	N80
ТСУ-2	N50	N90	N100	N100	N60
ТСУ-3	N50	N90	N100	N100	N60
Овес + многолетние травы (2015 г.)					
Контроль	0	0	0	0	0
ЗСУ	N100P50K110	N100P50K110	N100P50K110	N100P50K110	N100P50K110
ТСУ-1	N100P50K110	N100P50K110	N100P50K110	N100P50K110	N100P50K110
ТСУ-2	N90P40K80	N100P50K90	N110P60K130	N110P50K120	N90P50K120
ТСУ-3	N70P40K80	N90P50K90	N120P60K130	N110P50K120	N110P50K120

Таблица 2. Агрофизические и агрохимические свойства почвы опыта

Показатель	В агромикроландшафтах					В агроландшафте	
	АМЛ № 1	АМЛ № 2	АМЛ № 3	АМЛ № 4	АМЛ № 5	$M_{ср}$	V, %
Мощность почвенного профиля, см	103	127	106	92	72	102	20
Содержание физической глины, %	33.4	28.1	28.7	31.6	32.9	30.3	8
Доля агрегатов диаметром 0.25–10 мм, %	56.8	54.7	61.0	83.5	74.6	64.9	19
Доля водопрочных агрегатов, %	49.4	53.1	35.7	46.6	50.9	42.6	16
pH_{KCl}, ед.	6.0	5.5	5.4	5.5	4.9	5.5	7
Содержание органического вещества, %	4.01	3.04	2.39	3.36	3.27	2.96	20
Содержание P_2O_5 подв., мг/кг	286	293	247	170	173	238	25
Содержание K_2O подв., мг/кг	122	87	66	76	115	83	29

весовой. Химические анализы выполняли по соответствующим стандартным методикам в аккредитованной испытательной лаборатории и лаборатории методологии опытного дела АФИ. Статистическая обработка данных проведена дисперсионным методом с использованием программного пакета Stat.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Дифференциация свойств почвы в изученных агромикроландшафтах в основном повторяла показатели вариабельности в целом в агроландшафте, т.е. была умеренной по гранулометрическому составу и величине pH_{KCl}, значительной – по мощности генетических горизонтов и всего почвенного профиля, степени развития глеевого процесса, структурному состоянию, содержанию органического вещества и высокой – по показателям питательного режима (табл. 2). Вклад в ее формирование внесли неоднородность состава и свойств моренных отложений, а также специфика геохимических режимов и антропогенной земледельческой деятельности [8, 12, 14].

Таблица 3. Продуктивность звена полевого севооборота в зависимости от ландшафтных условий и системы удобрения

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Пшеница озимая						Овес						Звено севооборота			
	урожайность, т/га		прибавка урожайности				урожайность, т/га		прибавка урожайности				продуктивность, т з.е./га	прибавка		оплата 1 кг NPK, з.е.
	зерно	солома	зерно		солома		зерно	солома	зерно		солома			т з.е./га	%	
			т/га	%	т/га	%			т/га	%	т/га	%				
АМЛ № 1 (Э) – фактор А																
Контроль без удобрения	2.66	4.40	–	–	–	–	4.55	5.98	–	–	–	–	8.68	–	–	–
ЗСУ	3.66	5.30	1.00	38	0.90	20	6.40	8.29	1.85	41	2.31	39	11.9	3.23	37	2.3
ТСУ-1	3.89	5.40	1.23	46	1.00	23	7.50	9.66	2.95	65	3.68	62	13.4	4.71	54	2.8
ТСУ-2	3.70	5.30	1.04	39	0.90	20	7.05	8.95	2.50	55	2.97	50	12.6	3.96	46	3.1
ТСУ-3	4.07	6.24	1.41	53	1.84	42	7.36	9.42	2.81	62	3.44	58	13.5	4.81	55	3.1
АМЛ № 2 (ЭА) – фактор А																
Контроль без удобрения	2.88	5.05	–	–	–	–	3.97	5.04	–	–	–	–	7.33	–	–	–
ЗСУ	5.34	6.18	2.46	85	1.13	22	5.90	6.55	1.93	49	1.51	30	12.9	5.60	76	4.1
ТСУ-1	5.65	6.09	2.77	96	1.04	21	5.84	7.52	1.87	47	2.48	49	13.4	6.09	83	4.4
ТСУ-2	5.26	5.54	2.38	83	0.49	10	5.74	7.35	1.77	45	2.31	46	12.8	5.47	75	4.0
ТСУ-3	5.19	5.83	2.31	80	0.78	15	5.84	7.55	1.87	47	2.51	50	12.92	5.59	76	4.2
АМЛ № 3 (ТЭ) – фактор А																
Контроль без удобрения	1.83	1.87	–	–	–	–	2.48	3.19	–	–	–	–	4.98	–	–	–
ЗСУ	4.26	5.69	2.43	133	3.82	204	4.36	5.65	1.88	76	2.46	77	10.3	5.32	107	3.9
ТСУ-1	5.13	5.63	3.30	180	3.76	201	4.39	5.74	1.91	77	2.55	80	11.2	6.23	125	5.7
ТСУ-2	5.01	5.58	3.18	174	3.71	198	4.92	6.25	2.44	98	3.06	96	11.6	6.65	134	4.5
ТСУ-3	4.90	5.23	3.07	168	3.36	180	5.05	6.52	2.57	104	3.33	104	11.6	6.64	133	5.6
АМЛ № 4 (А) – фактор А																
Контроль без удобрения	3.59	4.44	–	–	–	–	3.68	4.62	–	–	–	–	8.58	–	–	–
ЗСУ	5.72	6.05	2.13	59	1.61	36	5.90	7.55	2.22	60	2.93	63	13.5	4.96	58	3.6
ТСУ-1	5.76	6.24	2.17	60	1.80	41	6.00	7.80	2.32	63	3.18	69	13.8	5.18	60	4.6
ТСУ-2	5.34	5.60	1.75	49	1.16	26	6.10	7.94	2.42	66	3.32	72	13.3	4.75	55	3.3
ТСУ-3	5.68	6.40	2.09	58	1.96	44	6.31	8.18	2.63	71	3.56	77	14.1	5.48	64	4.6
АМЛ № 5 (А) – фактор А																
Контроль без удобрения	2.57	4.14	–	–	–	–	1.84	2.90	–	–	–	–	5.60	–	–	–
ЗСУ	3.49	4.75	0.92	36	0.61	15	3.04	4.37	1.20	65	1.47	51	7.95	2.35	42	1.7

Таблица 3. Окончание

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Пшеница озимая						Овес						Звено севооборота			
	урожайность, т/га		прибавка урожайности				урожайность, т/га		прибавка урожайности				продуктивность, т з.е./га	прибавка		оплата 1 кг NPK, з.е.
	зерно	солома	зерно		солома		зерно	солома	зерно		солома			т з.е./га	%	
			т/га	%	т/га	%			т/га	%	т/га	%				
ТСУ-1	3.78	4.69	1.21	47	0.55	13	3.29	4.78	1.45	79	1.88	65	8.55	2.95	53	3.3
ТСУ-2	3.62	5.02	1.05	41	0.88	21	3.67	5.16	1.83	99	2.26	80	8.85	3.25	58	2.4
ТСУ-3	3.95	4.90	1.38	54	0.76	18	2.87	5.43	1.03	56	2.53	87	7.59	1.99	36	2.2
Агроландшафт – фактор А																
Контроль без удобрения	2.43	3.20	–	–	–	–	3.12	4.05	–	–	–	–	6.49	–	–	–
ЗСУ	4.45	5.65	2.02	83	2.45	77	5.00	6.41	1.88	60	2.36	58	11.18	4.69	72	3.4
ТСУ-1	4.97	5.66	2.54	105	2.46	77	5.24	6.84	2.12	68	2.79	69	12.00	5.51	85	4.7
ТСУ-2	4.76	5.49	2.33	96	2.29	72	5.46	7.01	2.34	75	2.96	73	11.98	5.49	85	3.8
ТСУ-3	4.85	5.63	2.42	100	2.43	76	5.56	7.31	2.44	78	3.26	80	12.16	5.67	87	4.6
$НСР_{05}$ фактор А	0.43	0.55					0.39	0.67					0.45			
фактор Б	0.24	0.30					0.21	0.37					0.28			

При этом вариабельность урожайности возделываемых в опыте зерновых культур была еще большей. Коэффициент вариации урожайности зерна в агромикроландшафтах достиг 23% у пшеницы озимой, 34% – у овса и 24% – в звене севооборота в целом при его средних показателях представленных агрофизических и агрохимических свойств 16 и 20% соответственно. Это указывало на важную роль всего комплекса ландшафтных условий, а не только агрохимических и агрофизических свойств почвы. Существенное значение имела и изменчивость погодных условий.

Метеоусловия 2013–2014 гг. были удовлетворительными для посевов пшеницы озимой. Избыток осадков в год посева пшеницы, а также в мае 2014 г. существенного ущерба урожаю не причинил. Средняя урожайность зерна этой культуры в варианте без удобрений составила 2.71 т/га (табл. 3) и вполне соответствовала уровню окультуренности почвы. Хотя урожайность зерна овса в аналогичном варианте была больше – 3.3 т/га. Можно предположить, что имевший место в 2014 г. дефицит осадков (64% от средней многолетней нормы), с учетом возделывания культуры на суглинистой глееватой почве, оказался даже желательным.

Минимальная урожайность зерна пшеницы озимой и овса получена в транзитно-элювиальном АМЛ № 3 и аккумулятивном АМЛ № 5 – 1.83 и 2.48, 2.57 и 1.84 т/га соответственно. В числе возможных причин этого могли быть в первом случае последствия плоскостной эрозии, во втором – сильное развитие глеевого процесса и неудовлетворительные кислотно-основные свойства почвы. Тем не менее, с учетом разной потребности овса и озимой пшеницы в почвенных условиях их отклик на размещение в данных фациях был неоднозначен. Более пластичная и менее требовательная культура овса в неблагоприятных почвенно-агрохимических условиях ожидаемо должна была превосходить пшеницу озимую, что подтвердилось 36%-ным преимуществом лишь в транзитно-элювиальном АМЛ № 3 на смытой дерново-подзолистой почве. На среднекислой дерново-подзолистой глеевой почве АМЛ № 5 вопреки базовым прогнозам урожайнее на 40% оказалась озимая пшеница. Объяснение этому могла дать более детальная оценка складывающихся агроэкологических условий.

Озимая пшеница, возделываемая после чистого пара, очень чутко отреагировала на параметры азотного питательного режима, сформировавшегося в допосевной период. Содержание подвиж-

ных соединений азота ($N\text{-}NH_4 + N\text{-}NO_3$) в эродированной, малогумусированной, с нарушенной структурой почве АМЛ № 3 перед посевом культуры было в 2.2 раза меньше, чем в среднегумусированной почве АМЛ № 5 (38 против 84 мг/кг). Это отрицательно повлияло на все факторы продуктивности культуры (более всего – на продуктивную кустистость), снизившие урожайность зерна на 29%. Для развития овса негативные последствия имел длительный период низкой теплообеспеченности в начале вегетации, а точнее – вызванные им острый недостаток азота из-за снижения микробиологической активности почвы и эпифитотийное развитие красно-бурой пятнистости. Наиболее критично эти факторы сочетались в самом холодном АМЛ № 5, где урожайность культуры снизилась относительно фаций АМЛ № 3, 4 и 1, на 26, 50 и 60% соответственно.

Из 5-ти изученных ландшафтных фаций заметным превосходством по уровню эффективного плодородия обладал элювиальный АМЛ № 1. Условия для его реализации урожайностью зерна и соломы в 4.55 и 5.98 т/га получил овес. Продуктивность этой культуры в этом случае оказалась на 14–147% больше, чем в других фациях, в т.ч. и в более предпочтительных с позиций потенциального участия в питании геохимических потоков питательных веществ аккумулятивных АМЛ № 2 и № 4.

Напротив, формирование зерна озимой пшеницы происходило на фоне выраженного недостатка влаги, наиболее остро проявившегося в элювиальном АМЛ № 1. Полевая влажность почвы варьировала в пределах 14.7–16.2%, в аккумулятивных фациях была на 2.4–4.3% больше. Из-за снижения по этой причине выживаемости растений к уборке и выполненности зерна продуктивность культуры на наиболее плодородной почве АМЛ № 1 оказалась идентичной варианту с наименее плодородной смытой почвой АМЛ № 3.

В целом в зависимости от величины продуктивности зернопарового звена севооборота изученные в опыте ландшафтные фации сформировали убывающий ряд: АМЛ № 1 ≥ АМЛ № 4 > > АМЛ № 2 > АМЛ № 5 > АМЛ № 3, в значительной мере определяемый комплексом агрохимических и агрофизических свойств почвы.

Результаты опыта не указывали также на наличие устойчивой связи между геохимическим режимом почвы и эффективностью системы удобрения. Наиболее высокие абсолютные (5.32–6.64 т з.е./га) и относительные (107–133%) прибавки урожайности зерновых и продуктивности звена севооборота получены в транзитно-элювиальном АМЛ № 3 на смытой почве, что согласуется с представлениями [15] о возрастании эффективности удобрений на эродированных почвах.

Минимальную отдачу от удобрений отметили в аккумулятивной фации (АМЛ № 5) и элювиальной (АМЛ № 1). Очевидно, и в данном случае основной причиной стало сочетание литогенного фактора с погодно-климатическим.

Интенсивное развитие глеевого процесса в почве АМЛ № 5 на фоне повышенной кислотности не могло не сопровождаться ухудшением условий вегетации растений и уменьшением коэффициента использования питательных веществ удобрений. Внешне это выражалось в интенсивном развитии надземной биомассы, раннем полегании посевов удобренных вариантов и увеличением доли соломы в общей продуктивности зерновых культур на 16–27%. В почве АМЛ № 4 (тоже аккумулятивная фация агроландшафта), основная часть корнеобитаемого слоя которой не была затронута глеевым процессом, а почвообразующая порода обладала карбонатами кальция и магния, отдача от удобрений была в 2 раза больше.

В элювиальной фации (АМЛ № 1) снижение окупаемости удобрений могло быть следствием лучшей окультуренности почвы верхней части склона, где в прошлом регулярно формировали бурты подстилочного навоза и торфо-навозного компоста (на практике это часто сопровождается завышением доз удобрения на прилегающей территории со всеми вытекающими из этого, в т.ч. и негативными, последствиями [16]). Однако, вероятнее всего, более важную негативную роль в этом направлении сыграли засушливые условия периода налива зерна озимой пшеницы, снизившие прибавку урожая от удобрений в 2.4–3.0 раза. Подтверждением данного факта служили весьма значительные показатели эффективности удобрений в данной фации для культуры овса.

Таким образом, хотя в звене полевого севооборота на фоне одинаковых доз удобрений (вариант ЗСУ) и наблюдали сильную дифференциацию показателей агрономической эффективности отдельных АМЛ (прибавка урожайности от 37 до 107%, оплата 1 кг NPK – от 1.7 до 4.1 з.е., коэффициент вариации урожайности зерна пшеницы и овса – 22 и 27%), объяснять ее только местоположением посевов в рельефе и спецификой геохимического режима оснований недостаточно. Необходим поиск методических решений, способных вычленить действие других факторов, в частности антропогенного и погодного. Напри-

мер, дефицит осадков может сопровождаться в одних фациях агроландшафта снижением, а в других – повышением эффективности удобрений.

Тем не менее, данные исследования показали целесообразность дифференциации доз удобрений с учетом ландшафтных условий (точнее, в зависимости от расположения сельскохозяйственной культуры в пределах пологого склона). Причем в целом в агроландшафте все 3 изученных варианта корректировки доз обеспечили практически одинаковое повышение (на 8–10%) продуктивности звена севооборота относительно варианта ЗСУ. Определенное преимущество (21–24% оплаты единицы действующего вещества) имели варианты точной системы удобрения (ТСУ-1 и ТСУ-3), где дифференцированно вносили органическое удобрение, обеспечившее поступление от 54 до 81% NPK.

Отзывчивость озимой пшеницы и овса на точные системы удобрения имела ряд особенностей, но в масштабе всего обрабатываемого агроландшафта выражалась в прибавке урожайности зерна на 0.31–0.52 и 0.24–0.56 т/га соответственно. Существенный эффект от изученных принципов корректировки доз удобрений был получен на фоне всех типов геохимических режимов. Отсутствие его в элювиально-аккумулятивном АМЛ № 2 объясняется несущественностью различий с вариантом ЗСУ. Максимальная агрономическая эффективность точных систем удобрения вполне ожидаемо достигалась в транзитно-элювиальном АМЛ № 3. Повышение окупаемости единицы действующего вещества удобрений в среднем в 3-х вариантах корректировки доз составило в элювиальном АМЛ 30, транзитно-элювиальном – 35, аккумулятивном – 36% (в среднем в агроландшафте – 29%). Сохранится ли такая закономерность на остальных культурах севооборота, покажут дальнейшие исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные ландшафтного полевого опыта подтвердили факт значительной, хотя и неодинаковой дифференциации отдельных агропроизводственных свойств пахотной дерново-подзолистой почвы в пределах пологого склона, обусловленной комплексом факторов. При этом уровень вариабельности продуктивности зерновых культур и звена полевого севооборота в зависимости от местоположения в рельефе был еще бóльшим. В варианте без удобрений продуктивность звена севооборота в пределах изученных фаций агроландшафта изменялась от 4.98 до 8.68 т з.е./га и в значительной мере определялась сочетанием агрохимических и агрофизических свойств почвы.

Ландшафтные условия в сочетании с погодно-климатическим фактором оказывали значительное влияние на эффективность системы удобрения. Окупаемость 1 кг NPK в варианте ЗСУ менялась от 1.7 до 4.1 з.е. Но увязывать этот факт только с влиянием геохимических режимов почвы, как считают отдельные исследователи, нет достаточных оснований. Об этом свидетельствовал неодинаковый уровень эффективности удобрений в 2-х аккумулятивных фациях единого агроландшафта, а также его закономерная зависимость от параметров эффективного плодородия почвы. Сделать объективное заключение о фактическом значении геохимического режима на основе принятой методики полевого опыта не позволяет отсутствие возможности вычленения действия других факторов (неоднородности предшествующего антропогенного воздействия на почву, погодных условий и др.).

Изученные варианты дифференциации доз удобрений с учетом ландшафтных условий обеспечили повышение продуктивности зернопарового звена севооборота на 8–10% и окупаемости урожаем 1 кг NPK в среднем на 29%. В условиях опыта, в котором приходные статьи баланса элементов питания более чем на 50% формировались за счет органического удобрения, достаточной была корректировка доз только этого вида удобрений с учетом специфики его минерализации в отдельных фациях агроландшафта. Для разработки всесторонне обоснованных рекомендаций дифференциации системы удобрения на основе ландшафтных карт необходимо накопление соответствующего объема научной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Яковлева Л.В., Поляков В.А.* Научные основы и технологии использования удобрений и извести. СПб.: СЗНИИСХ, 1997. 52 с.
2. *Афанасьев Р.А.* Агрохимическое обеспечение точного земледелия // Пробл. агрохим. и экол. 2008. № 3. С. 46–52.
3. Оценка биопотенциала производства продовольствия в Северо-Западном регионе России / Под ред. Лайшева К.А., Архипова М.В. СПб.–Пушкин, 2016. 136 с.
4. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия / Под общ. ред. Иванова А.Л., Державина Л.М. М.: Минсельхоз РФ, РАСХН, 2008. 392 с.

5. *Robert P.C.* Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management // Plant and Soil. 2002. № 247. P. 143–149.

6. *Якушев В.П., Якушева Л.Н., Суханов П.А., Петрушин А.Ф., Слинчук С.Г., Якушев В.В.* О методах агрохимического обследования сельскохозяйственных угодий в точном земледелии // Вестн. РАСХН. 2004. № 3. С. 32–34.

7. *Якушев В.П., Иванов А.И., Якушев В.В., Конашенков А.А.* Реализация системы удобрения в точном земледелии // Земледелие. 2008. № 5. С. 77–85.

8. *Иванов А.И., Конашенков А.А., Хомяков Ю.В., Фоменко Т.Г., Федькин И.А.* Оценка параметров пространственной неоднородности показателей почвенного плодородия // Агрохимия. 2014. № 2. С. 39–49.

9. *Иванов А.И., Конашенков А.А.* Методико-технологические аспекты и результаты оценки точных систем удобрения // Сел.-хоз. машины и технол. 2014. № 3. С. 20–24.

10. *Ковалев Н.Г., Ходырев А.А., Иванов Д.А., Тюлин В.А.* Агроландшафтоведение. М.–Тверь, 2004. 492 с.

11. *Иванов Д.А., Рублюк М.В., Карасева О.В.* Оособенности ландшафтной агрохимии кончено-моренного холма // Экологические функции агрохимии в современном земледелии. М.: ВНИИА, 2008. С. 84–85.

12. *Конашенков А.А.* Научные обоснование систем удобрения для прецизионного применения в условиях Северо-Запада России: Дис. ... д-ра с.-х. наук, СПб., 2014. 368 с.

13. *Иванов А.И., Лапа В.В., Конашенков А.А., Иванова Ж.А.* Биологические особенности ответа культур овощного севооборота на точные системы удобрения // Сел.-хоз. биол. 2017. Т. 52. № 3. С. 454–463.

14. *Шпедт А.А., Пурлаур В.К.* Оценка влияния рельефа на плодородие почв и урожайность зерновых культур // Сибир. вестн. с.-х. науки. 2008. № 10. С. 5–11.

15. *Каштанов А.Н., Явтушенко В.Е.* Агрохимия почв склонов. М.: Колос, 1997. 316 с.

16. *Иванов А.И., Конашенков А.А.* Агроэкологические последствия неравномерного внесения навоза в овощном севообороте // Агрохимия. 2012. № 6. С. 66–72.

Influence of Landscape Conditions on Efficiency of Precision Fertilizer System in Crop Rotation Link

A. I. Ivanov[a,b,#], Zh. A. Ivanova[a], and N. A. Tsyganova[c]

[a] *Agrophysical Research Institute*
Grazhdansky prosp. 14, St. Petersburg 195220, Russia

[b] *North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance*
shosse Podbelskogo 7, St. Petersburg–Pushkin 196608, Russia

[c] *St. Petersburg State Agrarian University*
St. Petersburgskoye shosse 2, St. Petersburg–Pushkin 196601, Russia

[#] *E-mail: office@agrophis.ru*

The data of landscape experience carried out in parallel in five agricultural landscape facies characterized by structure of soil cover and geochemical regimes are analyzed. A significant differentiation of the crop rotation link productivity and the primary nutrient return depending on the landscape and environmental conditions have been established. At the same time, the influence of the lithogenic factor (the degree of gleyization and erosion, agrophysical and agrochemical properties of soil and bedrock) was quite distinctly revealed, while the value of geochemical regimes was not established. One of the indirect evidence of geochemical regimes role was the yield enhancement of 35% on 1 kg of NPK in the precision fertilizer system variant.

Key words: relief, agricultural landscape, agromicrolandscape, soil cover, soil properties, geochemical regime, crop rotation, fertilizer system, crop rotation productivity, fertilizer efficiency.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 77–83

УДК 631.84:633.15:632.11(470.63)

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДОЗ АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ НА КУКУРУЗЕ

© 2020 г. В. Н. Багринцева[1,*], И. Н. Ивашененко[1]

[1] *Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы*
357528 Пятигорск, ул. Ермолова, 14б, Россия
**E-mail: maize-techno@mail.ru*

Поступила в редакцию 22.02.2019 г.
После доработки 22.03.2019 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

В полевом опыте на черноземе обыкновенном зоны достаточного увлажнения Ставропольского края изучено влияние разных доз азотного удобрения (N30–120) на урожайность зерна раннеспелого гибрида кукурузы Машук 185 МВ. Установлена линейная корреляционная зависимость между количеством осадков и величиной ГТК в июне–августе и прибавками урожая зерна кукурузы от азотного удобрения. Выявлено, что зависимость роста урожайности от удобрения определялась не только количеством осадков, но и дозой азота. Коэффициенты корреляции между количеством осадков в июне, июле, периоды июнь–июль, июнь–август и прибавками урожая зерна составляли: при внесении дозы N30 – от 0.67 до 0.79, N60 – 0.73–0.82, N90 – 0.78–0.92, N120 – 0.87–0.90. Осадки, выпавшие в июле, имели решающее значение для получения наибольшей прибавки урожая зерна при внесении доз азота N60–120 (r = 0.78–0.90). На действие дозы удобрения N30 осадки в июне и июле оказали среднее влияние (r = 0.67). Сильная линейная корреляционная зависимость между показателями ГТК в июле, июне–июле, июне–августе и величиной прибавки урожая зерна отмечена при внесении N90 (r = 0.89, 0.71, 0.90) и N120 (r = 0.85, 0.72, 0.87) соответственно.

Ключевые слова: азотные удобрения, кукуруза, осадки, ГТК, прибавки урожая.

DOI: 10.31857/S0002188120020039

ВВЕДЕНИЕ

Основным элементом питания, лимитирующим урожайность кукурузы на всех типах почв, является азот [1–3]. Значение азота в питании кукурузы столь велико, что внесение одного азота под предпосевную культивацию оказывает равнозначное влияние на урожайность кукурузы, как и внесение комплексных удобрений [4–6]. Прибавки урожая зерна кукурузы от азотного удобрения зависят от дозы [7–12].

Урожайность зерна кукурузы находится в сильной зависимости от погодных условий в летние месяцы [13–15]. Водный и температурный режимы во время выметывания и цветения метелки, а также в налив зерна влияют на формирование початков кукурузы. Высокие дневные температуры воздуха при низкой влажности снижают жизнеспособность пыльцы и нарушают процесс опыления женских цветков в початке, вызывают в них череззерницу и бесплодие растений [16, 17].

Эффективность азотных удобрений на кукурузе также в значительной степени зависит от погодных условий вегетации, в благоприятные по увлажнению годы прибавки урожая зерна в несколько раз больше, чем в засушливые [18–20]. Зависимость эффективности азотных удобрений на кукурузе от доз и погодных условий отмечают и зарубежные исследователи [21–24].

В наших предыдущих работах по изучению влияния доз азотного удобрения на урожайность кукурузы показано, что эффект от их внесения по годам различался [11, 12].

Цель работы – изучить корреляционную зависимость прибавок урожая зерна, полученных при внесении возрастающих доз азотного удобрения, от погодных условий во время вегетации кукурузы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2015–2017 гг. на опытном поле Всероссийского научно-исследовательского института кукурузы в зоне достаточного увлажнения Ставропольского края. Почвенный покров опытного участка представлен черноземом обыкновенным карбонатным тяжелосуглинистым.

Изучали эффективность доз азотного удобрения: N0, N30, N60, N90, N120. Использовали аммиачную селитру, которую вносили весной под первую культивацию. Во всех вариантах опыта фоном весной внесли фосфорные удобрения P30.

Таблица 1. Погодные условия за период вегетации кукурузы

Месяц	Осадки, мм				Температура, °С				ГТК			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Май	105	93.0	218	79.4	15.3	17.9	13.8	14.6	2.21	1.67	5.09	1.75
Июнь	104	136	61.0	87.1	19.5	22.8	18.8	18.2	1.78	1.99	1.08	1.60
Июль	2.5	46.5	26.0	70.4	21.3	25.8	23.2	20.8	0.04	0.58	0.36	1.09
Август	13.8	0	55.0	58.7	20.0	27.3	22.4	20.4	0.22	0	0.79	0.93
Сентябрь	60.1	11.3	8.1	48.0	15.6	18.6	17.5	15.5	1.28	0.20	0.15	1.03
Май–сентябрь	285	287	368	394	2807*	3443*	2930*	2741*	1.02	0.83	1.26	1.44

Примечание. В графе 1 – 2015 г., 2 – 2016 г., 3 – 2017 г., 4 – среднее многолетнее. *Сумма температур.

Опыт заложен в четырехкратной повторности, общая площадь делянки 19.6 м^2, учетная – 9.8 м^2.

Предшественник кукурузы – озимая пшеница, высеваемая после сои. Обработка почвы отвальная (вспашка осенью). Выращивали раннеспелый гибрид кукурузы Машук 185 МВ. Сев проводили в оптимальные сроки в 2015 г. – 24 апреля, 2016 г. – 21 апреля, 2017 г. – 19 апреля с повышенной нормой высева. В фазе 2–3-х листьев формировали оптимальную для гибрида густоту стояния растений (80 тыс. шт./га). Для защиты от сорных растений посевы кукурузы в фазе 3-го листа обрабатывали гербицидом аденго (0.5 л/га).

Содержание элементов питания в почве определяли после внесения удобрений, когда кукуруза находилась в фазе 5-ти листьев. В среднем за 2015–2017 гг. в слое 0–20 см почвы содержание подвижного фосфора составило 16 мг/кг (по Мачигину), обменного калия – 285 мг/кг (по Мачигину), что соответствовало средней обеспеченности этими макроэлементами. Внесение аммиачной селитры повысило содержание нитратного азота в почве и составило в зависимости от доз азотного удобрения: N0 – 16.4, N30 – 24.9, N60 – 31.0, N90 – 34.4 и N120 – 41.0 мг/кг. В вариантах N0–30 обеспеченность почвы азотом была низкой, N60–120 – средней.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли по [25].

Метеорологические условия в годы проведения опыта были различными (табл. 1). Погодные условия 2015 г. были неблагоприятными для кукурузы. За май–сентябрь выпало 285 мм осадков, дефицит составил 59 мм. Количество осадков, выпавших в мае и июне, превысило средние многолетние показатели соответственно на 26.6 и 16.6 мм. В дальнейшем наблюдался и засушливый период, который совпал с фазой цветения и налива зерна. В июле выпало 2.5 мм осадков, что на 7.9 мм меньше среднемноголетнего количества. В августе осадков тоже было мало, меньше нормы на 44.9 мм.

В 2016 г. условия увлажнения были более благоприятными для кукурузы. За вегетационный период (май–сентябрь) осадков, как и в 2015 г., выпало мало (287 мм), что на 107 мм меньше нормы. В мае и июне количество выпавших осадков превысило многолетние показатели на 13.6 и 49.3 мм соответственно. В июле осадков выпало меньше среднего многолетнего количества, но значительно больше по сравнению с 2015 г., что создало лучшие условия для опыления початков кукурузы и формирования урожая зерна.

В 2017 г. за вегетацию кукурузы выпало 368 мм осадков, на 26 мм больше среднего многолетнего количества. Однако условия увлажнения были менее благоприятными по сравнению с 2016 г., но лучше, чем в 2015 г. В мае осадков выпало на 139 мм (в 2.7 раза) больше среднего многолетнего. В июне наблюдали дефицит осадков, за месяц их выпало меньше нормы на 26.1 мм или на 30%. В этом году недостаток осадков отмечен также и в последующие месяцы. В июле их выпало меньше среднего многолетнего на 44.4 мм, в августе – на 3.7 мм, сентябре – на 39.9 мм. Дефицит осадков в июле составил 63, в августе – 7, в сентябре – 83%. Условия увлажнения в мае и июне были благоприятными для роста растений и накопления вегетативной массы кукурузы. Засуха в июле негативно отразилась на опылении початков и формировании зерен, вследствие чего был получен низкий урожай зерна кукурузы.

Температура воздуха в июне и июле во все годы проведения опытов была выше средней многолетней.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия в период вегетации кукурузы оказывали сильное влияние на урожайность зерна и прибавки от удобрения. В 2015 г., который был относительно благоприятным для кукурузы, максимальный урожай зерна составил 7.91, в наиболее благоприятном 2016 г. – 8.90, в засушливом 2017 г. – 5.71 т/га (табл. 2).

Азотные удобрения во все годы исследования обеспечивали рост урожайности зерна кукурузы, однако на эффективность доз сильное влияние оказывали погодные условия. В зависимости от

Таблица 2. Влияние доз азотного удобрения на урожайность зерна гибрида кукурузы Машук 185 МВ (при влажности зерна 14%)

Доза азота	2015 г.			2016 г.			2017 г.			В среднем		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
N0	7.29	–	–	5.73	–	–	4.90	–	–	5.97	–	–
N30	7.91	0.62	8.5	7.89	2.16	37.7	5.48	0.58	11.8	7.09	1.1	18.8
N60	7.48	0.19	2.6	8.10	2.37	41.4	5.68	0.78	13.7	7.09	1.1	18.8
N90	6.74	–0.55	–7.5	8.90	3.17	55.3	5.71	0.81	16.5	7.12	1.2	19.3
N120	6.77	–0.52	–7.1	8.62	2.89	50.4	5.44	0.54	11.0	6.94	1.0	16.2
$НСР_{0.5}$, т/га	0.17			0.90			0.28			1.4		
Ошибка, %	0.75			3.8			1.7			6.5		

Примечание. В графе 1 – урожайность (т/га), 2 – прибавка (т/га), 3 – прибавка (%).

внесенных доз урожайность зерна повышалась в 2015 г. на 0.19–0.62, в 2016 г. – на 2.16–3.17 и в 2017 г. – на 0.54–0.81 т/га.

Как было показано ранее, в 2015 г. наблюдали острый недостаток влаги в июле, в критический период развития кукурузы (VIII–X этапы органогенеза). Во время выметывания и цветения метелки кукурузы, а также формирования зерновки дефицит осадков составил 96% по отношению к среднему многолетнему количеству. В этот год наибольшая прибавка урожая зерна получена при внесении дозы N30. Более высокие дозы азота оказывали на урожайность зерна отрицательное действие и вызывали ее снижение. При внесении азота в дозах N90–120 урожайность кукурузы была меньше неудобренного контроля.

В другие годы исследования наибольшие прибавки урожая получены при внесении дозы N90. В 2016 г. существенный рост урожайности зерна наблюдали при увеличении дозы азота до N90, доза N120 не обеспечивала дальнейшего повышения урожайности, несмотря на достаточно благоприятные условия увлажнения во время цветения кукурузы. В 2017 г. существенными были прибавки урожая от доз N60 и N90, при этом между величинами урожайности, полученными при внесении этих доз, не было существенной разницы.

Для выявления воздействия погодных показателей на величину прибавок урожая зерна кукурузы от внесения азотного удобрения в различных дозах проведен корреляционный анализ.

Установлена линейная корреляционная зависимость между осадками за июнь (средняя), а также июль (сильная) и прибавками урожая зерна кукурузы от азотного удобрения в целом для всех доз (табл. 3).

В эти месяцы отмечен интенсивный рост растений, выметывание и цветение метелки (мужского соцветия), цветение и опыление початков (женского соцветия) и образование зерен. Влияние всех изученных доз удобрения на урожайность кукурузы в наибольшей степени зависело от осадков, выпавших в июле ($r = 0.91$).

Осадки только за август, когда происходил налив зерна гибрида кукурузы Машук 185 МВ, не оказали существенного влияния на повышение

Таблица 3. Результаты корреляционного анализа зависимости прибавок урожая зерна гибрида кукурузы Машук 185 МВ при внесении азотного удобрения от осадков и ГТК (2015–2017 гг.)

Корреляционная зависимость	r	s_r	$t_{r\ факт}$
Осадки июнь – прибавка урожая зерна	0.61	0.25	2.44
Осадки июль – прибавка урожая зерна	0.91	0.13	6.92
Осадки август – прибавка урожая зерна	–0.45	0.28	–1.62
Осадки июнь–июль – прибавка урожая зерна	0.85	0.17	5.12
Осадки июнь–август – прибавка урожая зерна	0.95	0.10	9.37
Осадки май–август – прибавка урожая зерна	0.12	0.31	0.38
ГТК июнь – прибавка урожая зерна	0.44	0.28	1.54
ГТК июль – прибавка урожая зерна	0.89	0.14	6.14
ГТК август – прибавка урожая зерна	–0.48	0.28	–1.73
ГТК июнь–июль – прибавка урожая зерна	0.79	0.19	4.04
ГТК июнь–август – прибавка урожая зерна	0.91	0.13	6.76
ГТК май–август – прибавка урожая зерна	–0.27	0.30	–0.89

Примечания. 1 – для всех доз удобрения, 2 – $t_{0.05} = 2.20$.

Таблица 4. Результаты корреляционного анализа зависимости прибавок урожая зерна гибрида кукурузы Машук 185 МВ при внесении различных доз азотного удобрения от осадков и ГТК (2015–2017 гг.)

Корреляционная зависимость	r	s_r	$t_{r\ факт}$
N30			
Осадки июнь – прибавки урожая зерна	0.67	0.23	2.88
Осадки июль – прибавки урожая зерна	0.67	0.23	2.85
Осадки август – прибавки урожая зерна	–0.58	0.26	–2.21
Осадки июнь–июль – прибавки урожая зерна	0.79	0.19	4.12
Осадки июнь–август – прибавки урожая зерна	0.75	0.21	3.58
ГТК июнь – прибавки урожая зерна	0.56	0.26	2.14
ГТК июль – прибавки урожая зерна	0.64	0.24	2.62
ГТК август – прибавки урожая зерна	–0.59	0.26	–2.31
ГТК июнь–июль – прибавки урожая зерна	0.77	0.20	3.80
ГТК июнь–август – прибавки урожая зерна	0.66	0.24	2.81
N60			
Осадки июнь – прибавки урожая зерна	0.53	0.27	1.96
Осадки июль – прибавки урожая зерна	0.78	0.20	3.97
Осадки август – прибавки урожая зерна	–0.39	0.29	–1.35
Осадки июнь–июль – прибавки урожая зерна	0.73	0.22	3.41
Осадки июнь–август – прибавки урожая зерна	0.82	0.18	4.45
ГТК июнь – прибавки урожая зерна	0.24	0.31	0.78
ГТК июль – прибавки урожая зерна	0.53	0.27	1.97
ГТК август – прибавки урожая зерна	–0.27	0.30	–0.87
ГТК июнь–июль – прибавки урожая зерна	0.45	0.28	1.60
ГТК июнь–август – прибавки урожая зерна	0.54	0.27	2.02
N90			
Осадки июнь – прибавки урожая зерна	0.52	0.27	1.91
Осадки июль – прибавки урожая зерна	0.90	0.14	6.69
Осадки август – прибавки урожая зерна	–0.36	0.30	–1.20
Осадки июнь–июль – прибавки урожая зерна	0.78	0.20	3.92
Осадки июнь–август – прибавки урожая зерна	0.92	0.12	7.46
ГТК июнь – прибавки урожая зерна	0.34	0.30	1.13
ГТК июль – прибавки урожая зерна	0.89	0.14	6.18
ГТК август – прибавки урожая зерна	–0.38	0.29	–1.30
ГТК июнь–июль – прибавки урожая зерна	0.71	0.22	3.15
ГТК июнь–август – прибавки урожая зерна	0.90	0.14	6.59
N120			
Осадки июнь – прибавки урожая зерна	0.55	0.26	2.08
Осадки июль – прибавки урожая зерна	0.87	0.16	5.56
Осадки август – прибавки урожая зерна	–0.40	0.29	–1.37
Осадки июнь–июль – прибавки урожая зерна	0.79	0.20	4.04
Осадки июнь–август – прибавки урожая зерна	0.90	0.14	6.43
ГТК июнь – прибавки урожая зерна	0.38	0.29	1.30
ГТК июль – прибавки урожая зерна	0.85	0.17	5.14
ГТК август – прибавки урожая зерна	–0.42	0.29	–1.47
ГТК июнь–июль – прибавки урожая зерна	0.72	0.22	3.31
ГТК июнь–август – прибавки урожая зерна	0.87	0.16	5.48

Примечание. $t_{0.05} = 2.20$.

Таблица 5. Регрессионный анализ зависимости прибавок урожая зерна гибрида кукурузы Машук 185 МВ (Y) при внесении различных доз азотного удобрения от количества осадков в период вегетации (X) (2015–2017 гг.)

Вариант	Корреляционная связь	Уравнение регрессии	$t_{r\ факт}$
N30	Осадки июнь – прибавки урожая зерна	$Y = -0.88 + 0.02X$	8.29
	Осадки июль – прибавки урожая зерна	$Y = 0.27 + 0.03X$	8.13
	Осадки август – прибавки урожая зерна	$Y = 1.63 + (-0.02)X$	4.88
	Осадки июнь–июль – прибавки урожая зерна	$Y = -1.08 + 0.02X$	16.98
	Осадки июнь–август – прибавки урожая зерна	$Y = -2.80 + 0.03X$	12.80
N60	Осадки июнь – прибавки урожая зерна	$Y = -0.82 + 0.02X$	3.85
	Осадки июль – прибавки урожая зерна	$Y = -0.12 + 0.05X$	15.73
	Осадки август – прибавки урожая зерна	$Y = 1.55 + (-0.02)X$	1.83
	Осадки июнь–июль – прибавки урожая зерна	$Y = -1.40 + 0.02X$	11.63
	Осадки июнь–август – прибавки урожая зерна	$Y = -4.15 + 0.04X$	19.79
N90	Осадки июнь – прибавки урожая зерна	$Y = -1.66 + 0.03X$	3.64
	Осадки июль – прибавки урожая зерна	$Y = -0.96 + 0.08X$	44.74
	Осадки август – прибавки урожая зерна	$Y = 1.72 + (-0.03)X$	1.45
	Осадки июнь–июль – прибавки урожая зерна	$Y = -2.80 + 0.03X$	15.35
	Осадки июнь–август – прибавки урожая зерна	$Y = -7.65 + 0.06X$	55.70
N120	Осадки июнь – прибавки урожая зерна	$Y = -1.87 + 0.03X$	4.31
	Осадки июль – прибавки урожая зерна	$Y = -095 + 0.08X$	30.88
	Осадки август – прибавки урожая зерна	$Y = 1.59 + (-0.03)X$	1.88
	Осадки июнь–июль – прибавки урожая зерна	$Y = -2.82 + 0.03X$	16.29
	Осадки июнь–август – прибавки урожая зерна	$Y = -7.17 + 0.05X$	41.33

Примечание. $t_{0.05} = 8.80$.

урожайности, об этом свидетельствовал критерий существенности фактический ($t_{r\ факт}$), который был меньше критерия существенности теоретического ($t_{0.05}$). Однако отмечена сильная зависимость прибавок урожая от осадков за периоды июнь–июль и июнь–август, которая подтверждена коэффициентами, равными 0.85 и 0.95.

Гидротермический коэффициент, как и осадки, также оказывал большое влияние на прибавки урожая зерна, зависимость величины прибавок была наиболее сильной от ГТК в июле (r = = 0.89) и за период июнь–август (r = 0.91). Между величинами ГТК за июнь–июль и прибавок урожая зерна также отмечена сильная прямая корреляционная зависимость при коэффициенте корреляции равном 0.79.

Доля влияния осадков за июль на прибавки урожая зерна гибрида Машук 185 МВ, полученные от всех изученных доз удобрения в целом, составила 83, за июнь–август – 90%, что на 4 и 7% больше доли влияния ГТК.

Проведенный корреляционный анализ подтвердил значение осадков для проявления высокой эффективности азотного удобрения, внесенного под кукурузу.

Большое практическое значение имеет выявление зависимости эффективности конкретных доз азота от осадков, выпадавших в разные периоды вегетации кукурузы. Для решения этой задачи провели корреляционный анализ для каждой дозы азота (табл. 4).

Установлено, что рост урожайности от азотного удобрения определялся не только количеством осадков, но и дозой азота. Например, коэффициенты корреляции между количеством осадков в разные периоды вегетации и прибавками урожая зерна составляли: при внесении дозы N30 – от 0.67 до 0.79, N60 – 0.73–0.82, N90 – 0.78–0.92, N120 – 0.87–0.90. Осадки, выпадавшие в июле, имели решающее значение для получения наибольшей прибавки урожая зерна при внесении доз азота N60–120 (r = 0.78–0.90). Установлена сильная зависимость размеров прибавок урожая при применении удобрения в этих же дозах от суммы осадков за июнь–август (r = 0.82–0.92).

Исключением был вариант опыта с дозой N30. При внесении N30 корреляционная зависимость

прибавок урожая зерна от осадков была значительно слабее. Осадки, выпадавшие в июне и июле, оказали среднее влияние на действие дозы N30 (r = = 0.67). Коэффициент корреляции между количеством осадков за июнь–июль (r = 0.79) и прибавками урожая был также меньше при внесении N30.

Как показали коэффициенты корреляции, эффективность низкой дозы азота N30 зависела от условий увлажнения в меньшей степени по сравнению с более высокими дозами азота.

Доля участия осадков за июль, июнь–июль и июнь–август в прибавке урожая зерна гибрида кукурузы Машук 185 МВ составляла в зависимости от дозы азота 45–85%, причем с увеличением дозы азота доля его влияния возрастала.

Величина прибавок урожая зерна кукурузы также зависела от гидротермического коэффициента, но в меньшей степени, чем от осадков. Доля влияния ГТК за периоды июль, июнь–июль и июнь–август на прибавку в зависимости от доз азота составила 41–81%.

Сильная линейная корреляционная зависимость между показателями ГТК в июле, за июнь–июль, июнь–август и величиной прибавки урожая зерна отмечена при внесении N90 (r = 0.89, 0.71, 0.90) и N120 (r = 0.85, 0.72, 0.87). Прибавки урожая от дозы N30 определялись гидротермическим коэффициентом за период июнь–июль (r = = 0.77). Гидротермический коэффициент в августе не оказывал существенное влияние на прибавки урожая от доз азотного удобрения, т.к. коэффициенты корреляции были не существенными, $t_{r\ факт} < t_{0.05}$.

Результаты корреляционного анализа показали, что низкая доза азота N30 была эффективной при любом количестве осадков за период июнь–август и в меньшей степени зависела от уровня влагообеспеченности по сравнению с высокими дозами N90–120.

С целью прогнозирования эффективности доз азотного удобрения на кукурузе проведен регрессионный анализ и выведены уравнения регрессии (табл. 5).

Установлено, что при внесении дозы N30 достоверными были уравнения регрессии, отражающие взаимосвязь прибавок урожая зерна от осадков за июнь–июль и июнь–август. Только для этих уравнений взаимосвязь была существенной, $t_{r\ факт} < t_{0.05}$. При внесении под кукурузу азота в бóльших дозах (от N60 до N120) существенными были зависимости прибавок урожая от осадков, выпавших в июле, а также от сумм осадков за периоды июнь–июль и июнь–август. При применении под кукурузу азотного удобрения во всех изученных дозах данных количества осадков за июнь было не достаточно для прогнозирования возможных прибавок урожая зерна.

Полученные уравнения регрессии позволяют на основании данных количества выпавших осадков рассчитать возможную прибавку урожая зерна от внесенной дозы азотного удобрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В зоне достаточного увлажнения Ставропольского края влагообеспеченность периода вегетации кукурузы с июня по август оказывает сильное влияние на величину прибавки урожая зерна от азотного удобрения. Выявлена линейная корреляционная зависимость размеров прибавок от осадков и показателя ГТК. Прибавка урожая зерна кукурузы зависела главным образом от количества осадков в июле. Отмечена сильная зависимость прибавок урожая также от показателя ГТК июля и периода июнь–август.

Степень влияния осадков и гидротермического коэффициента на рост урожайности зерна зависела от внесенных доз азота. Коэффициент корреляционной зависимости эффективности азотных удобрений от количества осадков и ГТК возрастал с увеличением дозы азота. Осадки, выпавшие в июле, имели решающее значение для получения наибольшей прибавки урожая зерна при внесении доз азота N60–120 (r = 0.78–0.90). На действие дозы удобрения N30 осадки в июне и июле оказали среднее влияние (r = 0.67). Эффективность низкой дозы азотного удобрения N30 в меньшей степени зависела от условий увлажнения по сравнению с высокими дозами N90–120.

Полученные уравнения регрессии позволяют по количеству осадков, выпавших июне–августе, рассчитать возможные прибавки урожая зерна при применении различных доз азотного удобрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агафонов Е.В., Батаков А.А.* Применение удобрений под гибриды разного срока созревания // Кукуруза и сорго. 2000. № 3. С. 6–7.
2. *Агеев В.В., Подколзин А.И.* Система удобрения в севооборотах Юга России. Ставрополь: СтавропольГСХА, 2001. С. 191–201.
3. *Толорая Т.Р., Лавренчук Н.Ф., Чумак М.В., Малаканова В.П.* Кукуруза. Агротехнические основы возделывания на черноземах Западного Предкавказья. Краснодар, 2003. С. 70–91.
4. *Шелганов И.И., Воронин А.Н.* Особенности минерального питания кукурузы // Кукуруза и сорго. 2008. № 4. С. 10–11.
5. *Багринцева В.Н., Сухоярская Г.Н.* Эффективность аммиачной селитры, аммофоса и нитроаммофоски при возделывании кукурузы // Пробл. агрохим. и экол. 2008. № 4. С. 24–26.

6. *Багринцева В.Н., Букарев В.В., Никитин С.В., Ивашененко И.Н., Черкасова М.А.* Эффективность применения под кукурузу аммиачной селитры, аммофоса и нитроаммофоски в Ставропольском крае // Кукуруза и сорго. 2018. № 1. С. 27–31.
7. *Бзиков М.А., Мисик Н.А., Бестаев В.В., Мамиев Д.М., Доева Л.Ю., Шалыгина А.А.* Эффективность минеральных удобрений на посевах кукурузы в предгорьях Северной Осетии // Кукуруза и сорго. 2007. № 2. С. 8–10.
8. *Таран Д.А., Вакуленко И.Н., Ломовский Д.В.* Аммиачная селитра и гумат калия в повышении продуктивности гибридов кукурузы // Кукуруза и сорго. 2011. № 2. С. 3–8.
9. *Таран Д.А.* Продуктивность гибридов кукурузы в зависимости от припосевного внесения и подкормки азотом и гуматом калия на черноземе выщелоченном Западного Предкавказья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар, 2013. 24 с.
10. *Воронин А.Н., Соловиченко В.Д., Навольнева Е.В., Дмитриенко С.А.* Влияние агротехнических факторов на плодородие почвы и урожайность кукурузы на зерно // Кукуруза и сорго. 2015. № 1. С. 9–14.
11. *Багринцева В.Н., Ивашененко И.Н.* Эффективность азотного удобрения на гибридах кукурузы в зоне достаточного увлажнения Ставропольского края // Агрохимия. 2018. № 1. С. 72–76.
12. *Багринцева В.Н., Ивашененко И.Н.* Влияние доз азотного удобрения на урожайность гибридов кукурузы (*Zea mays* L.) // Пробл. агрохим. и экол. 2018. № 1. С. 13–18.
13. *Багринцева В.Н.* Число зерен в початках кукурузы в зависимости от погодных условий и агротехники // Рос. сел.-хоз. наука. 2015. № 3. С. 10–12.
14. *Багринцева В.Н.* Влаго- и теплообеспеченность периода вегетации кукурузы и ее урожайность в зоне достаточного увлажнения Ставропольского края // Земледелие. 2016. № 1. С. 35–37.
15. *Власов П.Н.* Эффективность удобрений при возделывании кукурузы на зерно в условиях лесостепи Среднего Поволжья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 2016. 24 с.
16. *Куперман Ф.М.* Ботаническое описание кукурузы (*Zea mays* L.) // Физиология сельскохозяйственных растений. Т. V. Физиология кукурузы и риса / Отв. ред. Рубин Б.А. М.: Изд-во МГУ, 1969. С. 8–37.
17. *Володарский Н.И.* Биологические основы возделывания кукурузы. М.: Колос, 1975. 253 с.
18. *Кошен Б.Н.* Сортовая агротехника кукурузы в борьбе с засухой // Кукуруза и сорго. 2001. № 6. С. 5–6.
19. *Таран Д.А., Ласкин Р.В., Супрунов А.И.* Влияние приемов ухода за посевами и погодных условий на производство зерна кукурузы // 2-я Международ. научн.-практ. конф. “Молодые ученые в решении актуальных проблем науки”. Владикавказ, 2011. Ч. 1. С. 498–500.
20. *Стулин А.Ф.* Влияние видов удобрений на урожайность кукурузы в условиях Воронежской области // Кукуруза и сорго. 2012. № 1. С. 19–24.
21. *Hollinger S.E., Hoeft R.G.* Influence of weather on yearto-year yield response of corn to ammonia fertilization // Agron. J. 1986. V. 78. P. 818–823.
22. *Ma B.L., Dwyer Lianne M., Gregorich Edward G.* Soil nitrogen amendment effects on nitrogen uptake and grain yield of maize // Agron. J. 1999. V. 91. № 4. P. 650–656.
23. *Sharifi R.S., Taghizadeh R.* Response of maize (*Zea mays* L.) cultivars to different levels of nitrogen fertilizer // J. Food Agricult. Environ. 2009. V. 7. № 3–4. P. 518–521.
24. *Tremblay N., Bouroubi Yacine M., Bélec C.* Corn response to nitrogen is influenced by soil texture and weather // Soil Fertil. Crop Nutr. 2012. V. 104. P. 1658–1671.
25. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.

Influence of Weather Conditions in the Stavropol Territory in Efficiency of Doses of Nitrogen Fertilizer on Corn

V. N. Bagrintseva[a,#] and I. N. Ivashenenko[a]

[a]*All-Russian Research Scientific Institute of Corn*
ul. Ermolova 14b, Pyatigorsk 357528, Russia
[#]*E-mail: maize-techno@mail.ru*

In the field experiment on the ordinary black soil of a sufficient moistening zone of Stavropol region, the effect of different doses of nitrogen fertilizers (N30–120) on the grain yield of the early-maturing corn hybrid Mashuk 185 MV was studied. A linear correlation was established between precipitation and hydrothermic coefficient in June-August and yield increase of corn grain from nitrogen fertilizers. It was revealed that the dependence of yield growth from fertilizers is determined not only by precipitations amount, but also by the nitrogen dose. Thus, the correlation coefficients between precipitations in June, July, the periods June–July, June–August and grain yield increase were: while applying the dose of N30 from 0.67 to 0.79, N60 – 0.73–0.82, N90 – 0.78–0.92, N120 – 0.87–0.90. Precipitations in July were crucial for obtaining the greatest increase in grain yield when following nitrogen doses N60–120 was applied (r = 0.78–0.90). Precipitations in June and July had an average effect (r = 0.67) when dose of fertilizer N30 was applied. A strong linear correlation between hydrothermic coefficient in June, July, the periods June–July, June–August and grain yield increase was observed when apllying doses N90 (r = 0.89, 0.71, 0.90) and N120 (r = 0.85, 0.72, 0.87).

Key words: nitrogen fertilizers, corn, precipitations, hydrothermic coefficient, yield increase.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 84–91

УДК 581.192.6:633.1

ВЛИЯНИЕ ХЛОРИДА НАТРИЯ НА РОСТ ПРОРОСТКОВ И СОДЕРЖАНИЕ ПРОЛИНА И НАТРИЯ У СОРТООБРАЗЦОВ ОЗИМОГО ТРИТИКАЛЕ

© 2020 г. Н. А. Хабиева[1,2,*], З. М. Алиева[2], К. У. Куркиев[3]

[1] Прикаспийский институт биологических ресурсов ДНЦ РАН
367000 Махачкала, ул. М. Гаджиева, 45, Республика Дагестан, Россия
[2] Дагестанский государственный университет
367000 Махачкала, ул. Гаджиева, 43-а, Республика Дагестан, Россия
[3] Дагестанская опытная станция – филиал Федерального исследовательского центра "Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова"
368612 с. Вавилово, Дербентский р-н, Республика Дагестан, Россия
**E-mail: nadira.xabieva@mail.ru*

Поступила в редакцию 18.03.2019 г.
После доработки 15.05.2019 г.
Принята к публикации 10.11.2019 г.

Изучено влияние хлоридного засоления на энергию прорастания и всхожесть семян, ростовые показатели, содержание пролина и ионов натрия у озимого тритикале (×*Triticosecale* Wittm.) сортообразцов Алмаз, Сотник и ПРАГ530л-1934. Энергию прорастания и всхожесть семян определяли, проращивая их в растворах NaCl (85–350 мМ) и дистиллированной воде (контроль). Ростовые показатели (высоту надземной части, длину и количество корней, сырую и сухую биомассу), содержание пролина и ионов натрия определяли у проростков в вариантах 85 и 165 мМ NaCl. В условиях засоления отмечено подавление роста и накопления биомассы, в большей степени выраженное у корней по сравнению с надземной частью проростков. При оценке ростовых показателей самым чувствительным оказался сортообразец Алмаз, более устойчивыми – сортообразцы Сотник и ПРАГ530л-1934. Чувствительный сортообразец Алмаз характеризовался бóльшим содержанием натрия и менее интенсивной аккумуляцией пролина в условиях засоления.

Ключевые слова: Triticosecale, сортообразец, засоление, устойчивость, пролин.

DOI: 10.31857/S0002188120020064

ВВЕДЕНИЕ

Проблема солеустойчивости растений давно привлекает внимание исследователей. Засоленными, по средним оценкам, являются до 25% возделываемых почв, а в некоторых регионах, в частности, в Дагестане – до 38%. Наблюдается и постоянный рост уровня вторичного засоления, которое развивается при нерациональном орошении [1, 2]. В условиях засоления отмечено изменение комплекса физиолого-биохимических параметров, что приводит к подавлению роста и продуктивности растений. По степени и направленности этих изменений судят об солеустойчивости растений, разрабатывая на их основе различные методы ее диагностики.

Засоление вызывает в растениях осмотический стресс и ионный дисбаланс, связанный с избыточным содержанием ионов. Повышение содержания Na^+ в цитоплазме растительных клеток определяет токсические эффекты, а системы транспорта Na^+, поддерживающие его низкое содержание в цитоплазме при засолении, играют ключевую роль в устойчивости растений [3]. Одним из критериев оценки солеустойчивости растений служит накопление пролина, уровень которого при стрессе значительно возрастает. Пролин – один из самых типичных осмолитов – наиболее изученный протектор и осморегулятор. Интенсивное накопление в тканях пролина рассматривается как критерий солеустойчивости генотипов или как показатель их адаптивности к стрессовому воздействию [4].

Изучение солеустойчивости особенно актуально для широко возделываемых злаковых культур. Многочисленные работы посвящены изучению солеустойчивости пшеницы [5–8], ячменя [9, 10], ржи [11]. В то же время солеустойчивость такой ценной и перспективной культуры, как

тритикале (*Triticosecale* Wittm.), имеющего высокую продуктивность и устойчивость к стрессам, остается малоизученной. В Дагестане озимое тритикале выращивают в низменных районах, где засоленность почвы достаточно высока, что делает актуальным изучение его солеустойчивости и выявление устойчивых сортообразцов. Однако исследования, посвященные этой проблеме, пока немногочисленны [12–15].

В связи с этим цель работы – изучение сравнительной солеустойчивости проростков сортообразцов озимого тритикале с применением различных морфометрических и физиологических методов оценки.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования были выбраны 3 сортообразца озимого тритикале (×*Triticosecale* Wittm.) – Алмаз, Сотник и ПРАГ530л-1934 из коллекции Дагестанской опытной станции ВИР им. Н.И. Вавилова. Для оценки прорастания семян их проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге [16], смоченной растворами хлорида натрия и дистиллированной водой (контроль). В связи с ограниченностью исследований солеустойчивости тритикале для оценки сортообразцов проростки культивировали в широком диапазоне концентраций NaCl (85–350 мМ). Объем выборки составлял 50 семян в трехкратной повторности в каждом варианте. Чашки Петри помещали на 7 сут в климатическую камеру (Sanyo MLR–352H, Япония) для моделирования условий: температура 24 ± 1°C, освещение – 3000 лк и влажность 80%. Энергию прорастания (на 3-и сут) и всхожесть (на 7-е сут) определяли согласно ГОСТ 12038–84. Число, длину и массу корней, длину и массу надземной части определяли на 7-е сут в вариантах засоления 85 и 165 мМ NaCl. Сырую и сухую (после фиксации материала при 105°C в течение 3 ч и доведения до постоянного веса) биомассу растительного материала оценивали гравиметрическим методом.

Содержание свободного пролина определяли по методу [17], в модификации Калинкиной с соавт. [18]. Навеску растительного материала массой 100 мг растирали в 5 мл дистиллированной воды. Брали по 5 проб, каждую в 3-х повторностях. Содержимое пробирки кипятили в течение 10 мин и охлаждали, затем центрифугировали 20 мин при 6 тыс. об./мин. К 2 мл надосадочной жидкости добавляли 2 мл нингидринового реактива (1.25 г нингидрина, 20 мл 6 М H_3PO_4, 30 мл ледяной уксусной кислоты) и 2 мл ледяной уксусной кислоты. Полученный раствор тщательно перемешивали, инкубировали в течение 1 ч на кипящей водяной бане и охлаждали на ледяной бане. В контрольном образце экстракт заменяли 2 мл дистиллированной воды. Оптическую плотность полученных окрашенных растворов измеряли на спектрофотометре (Beckman Coulter DU–730, США) при длине волны 520 нм. Содержание пролина рассчитывали по калибровочной кривой. Для анализа брали по 5 проростков из 3-х чашек Петри каждого варианта.

Определение содержания ионов Na^+ в надземной части и корнях проводили в водной вытяжке [19]. Для определения содержания ионов Na^+ надземную часть и корни высушивали при температуре 105°C, измельчали в ступке до порошкообразного состояния и разводили 10 мл дистиллированной воды. Измерения проводили в 3-х повторностях для 4-х проб на атомно-адсорбционном спектрометре (МГА–915 МД, Россия).

Статистическая обработка данных. Обработку данных проводили с помощью программы Microsoft Excel 2007. Для сравнения независимых выборок использовали параметрический *t*-критерий Стьюдента ($p < 0.05$). В таблицах и рисунках приведены средние арифметические и их стандартные ошибки.

Исследование выполнены на базе биологического факультета и Центра коллективного пользования “Аналитическая спектроскопия” Дагестанского государственного университета. Часть исследования проведена на Дагестанской опытной станции ВИР им. Н.И. Вавилова в рамках работы по теме НИР 0662–2019–0006.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты лабораторных опытов показали, что интенсивность снижения энергии прорастания и всхожести семян в условиях засоления зависела от сортообразца и от концентрации соли. В диапазоне концентраций 85–250 мМ NaCl бóльшую чувствительность проявил сортообразец Алмаз, чем образцы Сотник и ПРАГ530л-1934. Всхожесть и энергия прорастания семян у этого сортообразца при засолении снижались на 10–25%, тогда как у образцов Сотник и ПРАГ530л–134 – на 5–10%. Выраженное снижение энергии прорастания и всхожести семян у всех сортообразцов наблюдали, начиная с концентрации 250 мМ. При проращивании семян тритикале в этом варианте энергия прорастания в среднем составляла 70, всхожесть – 55%. При действии высокой концентрации NaCl (350 мМ) более сильное уменьшение всхожести также отмечено у сортообразца Алмаз (рис. 1).

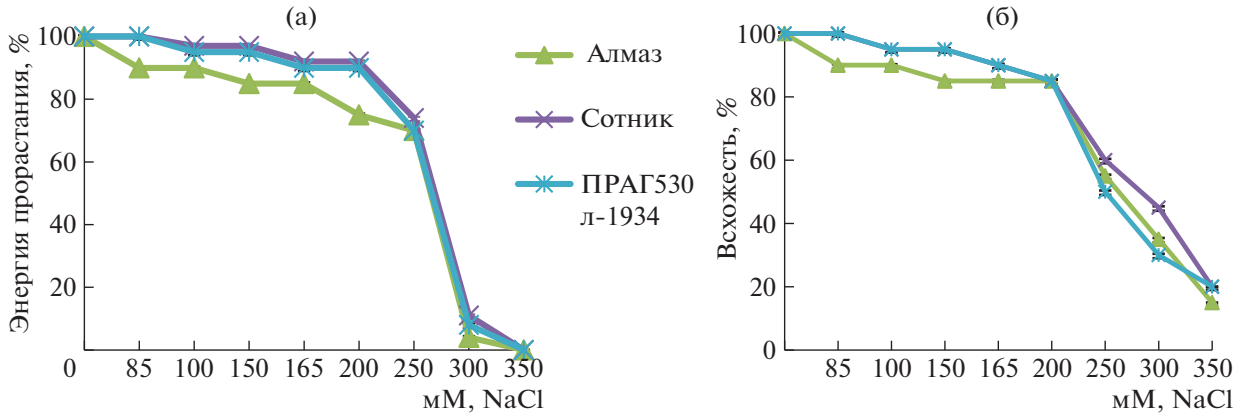

Рис. 1. Влияние засоления NaCl на энергию прорастания (а) и всхожесть (б) семян сортообразцов озимого тритикале.

Одним из наиболее чувствительных и интегральных физиологических процессов, отражающих состояние растений в условиях стресса, является их рост [20]. В растворе NaCl с концентрацией 85 мМ выраженных различий между сортообразцами по ростовым показателям не наблюдали. Только у сортообразца Сотник длина корня уменьшалась в меньшей степени. Ростовые показатели под влиянием 165 мМ хлорида натрия в меньшей степени ингибировались у проростков сортообразцов ПРАГ530л-1934 и Сотник: длина корня составила у них 43% по сравнению с контролем, высота надземной части – 46 и 44% соответственно. Наиболее сильное ингибирование роста в этом случае наблюдали у сортообразца Алмаз: длина корня составляла 30, высота надземной части – 32% к контролю (табл. 1).

Снижение сырой биомассы корней и надземной части в условиях засоления в большей степени было выражено также у образца Алмаз. Например, в варианте 165 мМ NaCl сырая биомасса корней и надземной части у проростков этого сортообразца снижалась в 2.4 и 2.0 раза, Сотник – в 2.4 и 1.8 раза, ПРАГ530л-1934 – в 2.3 и 1.4 раза по сравнению с контролем (табл. 2). По такому показателю, как накопление сухой биомассы в условиях засоления, преимущество имел сортообразец Сотник: в варианте 85 мМ NaCl накопление биомассы надземной части снизилось у него на 5%, в варианте 165 мМ NaCl – на 24% по сравнению с контролем, тогда как снижение этого пока-

Таблица 1. Влияние засоления NaCl на ростовые показатели сортообразцов озимого тритикале

Вариант	Длина корня, мм	Количество корней, шт.	Длина надземной части, мм
	Сортообразец Алмаз		
Контроль	73.0 ± 0.4	5.8 ± 0.1	80.0 ± 0.3
85 мМ NaCl	47.4 ± 0.3*	5.7 ± 0.2	66.4 ± 0.3*
165 мМ NaCl	22.0 ± 0.2*	5.6 ± 0.1	25.4 ± 0.2*
	Сортообразец Сотник		
Контроль	117 ± 0.4	5.8 ± 0.1	115 ± 0.3
85 мМ NaCl	94.0 ± .3	5.5 ± 0.1	97.1 ± 0.4
165 мМ NaCl	50.0 ± 0.3	5.0 ± 0.1	50.3 ± 0.2
	Сортообразец ПРАГ530л-1934		
Контроль	112 ± 0.5	6.2 ± 0.1	113 ± 0.3
85 мМ NaCl	74.3 ± 0.3	6.1 ± 0.1	95.3 ± 0.4
165 мМ NaCl	48.0 ± 0.3	6.3 ± 0.1	52.0 ± 0.2

Примечание: Представлены средние 3-х опытов, каждый вариант которых включал 25 растений, и их стандартные ошибки (при $p < 0.05$). То же в табл. 2.

Таблица 2. Влияние засоления NaCl на сырую и сухую биомассу корней и надземной части проростков озимого тритикале

Вариант	Сырая биомасса		Сухая биомасса			
	надземная часть	корень	надземная часть		корень	
	мг		мг	% к контролю	мг	% к контролю
Сортообразец Алмаз						
Контроль	66.1 ± 3.0	73.1 ± 3.4	6.1	100	7.9	100
85 мМ NaCl	53.2 ± 3.0	45.4 ± 2.0	4.5	74	4.8	61
165 мМ NaCl	32.4 ± 2.0	30.0 ± 2.0	3.6	59	3.3	42
Сортообразец Сотник						
Контроль	86.3 ± 4.4	108 ± 3.3	5.9	100	12.4	100
85 мМ NaCl	72.3 ± 4.3	78.1 ± 3.4	5.6	95	8.5	69
165 мМ NaCl	46.3 ± 2.1	45.0 ± 2.5	4.5	76	6.3	51
Сортообразец ПРАГ530л-1934						
Контроль	75.0 ± 4.8	98.1 ± 5.3	7.7	100	12.0	100
85 мМ NaCl	65.2 ± 3.8	83.2 ± 4.3	5.8	75	10.3	86
165 мМ NaCl	54.0 ± 3.5	42.0 ± 2.7	4.5	58	5.0	42

Таблица 3. Влияние засоления NaCl на содержание свободного пролина в листьях озимого тритикале

Вариант	Сортообразцы					
	Алмаз		Сотник		ПРАГ530л-1934	
	мкмоль/г	% к контролю	мкмоль/г	% к контролю	мкмоль/г	% к контролю
Контроль	0.8 ± 0.0	100	0.8 ± 0.0	100	1.5 ± 0.0	100
85 мМ NaCl	2.3 ± 0.0	280	3.1 ± 0.1	390	9.7 ± 0.0	647
165 мМ NaCl	11.0 ± 0.3	1100	15.2 ± 0.1	1900	21.8 ± 2.3	1450

Примечание. Представлены средние 3-х опытов, каждый вариант которых включал 15 растений, и их стандартные ошибки (при $p < 0.05$).

зателя у сортообразца Алмаз составило 26 и 41%, у ПРАГ530л-1934 – 25 и 42% соответственно. В варианте засоления 85 мМ NaCl биомасса корня у сортообразца ПРАГ530л-1934 снижалась в меньшей степени, чем у образца Сотник.

Следует отметить, что у всех изученных сортообразцов корневая система проявила большую чувствительность к засолению, чем надземная часть проростков: рост и накопление биомассы корней в условиях всех вариантов засоления снижались в большей степени (табл. 1, 2). При этом достоверных различий в количестве корней выявлено не было.

В литературе встречаются многочисленные сведения о более интенсивном накоплении пролина как в устойчивых, так и в чувствительных сортах [4, 9, 21]. В наших опытах в условиях низкого уровня засоления (85 мМ NaCl) содержание свободного пролина в большей степени повышалось в растениях сортообразцов ПРАГ530л-1934 (с 1.5 до 9.7 мкмоль/г) и Сотник (с 0.8 до 3.1 мкмоль/г, или в 3.8 раза), в меньшей степени – в растениях сортообразца Алмаз (с 0.8 до 2.3 мкмоль/г, или в 2.8 раза) (табл. 3). При концентрации 165 мМ NaCl абсолютные величины и интенсивность накопления пролина были наиболее высокими в сортообразце ПРАГ530л-1934 (с 1.5 до 21.8 мкмоль/г). Таким образом, более высокая пролинобразующая способность листьев в условиях как более слабого, так и сильного уровня засоления была больше у образцов ПРАГ530л-1934 и Сотник. Эти сортообразцы проявили бóльшую устойчивость при оценке роста и накопления биомассы проростков. Полученные данные

Таблица 4. Влияние засоления NaCl на содержание ионов натрия в проростках сортообразцов тритикале

Образец	Вариант	Корни		Надземная часть		Соотношение содержания Na^+ корни/надземная часть
		мг/кг	% к контролю	мг/кг	% к контролю	
Алмаз	Контроль	0.9 ± 0.08	100	0.2 ± 0.01	100	4.5
	85 мМ NaCl	49.5 ± 0.4	5400	17.5 ± 0.9	7950	2.8
	165 мМ NaCl	61.0 ± 1.2	6600	19.0 ± 0.1	8600	3.2
Сотник	Контроль	0.6 ± 0.08	100	0.09 ± 0.005	100	6.7
	85 мМ NaCl	29.0 ± 1.1	4750	6.0 ± 0.7	6700	4.8
	165 мМ NaCl	34.5 ± 1.5	5600	6.6 ± 0.2	7300	5.2
ПРАГ530л-1934	Контроль	0.59 ± 0.2	100	0.11 ± 0.1	100	5.4
	85 мМ NaCl	26.0 ± 1.0	4400	6.3 ± 0.9	5700	4.1
	165 мМ NaCl	29.0 ± 4.0	4900	7.9 ± 0.6	7200	3.6

Примечание. Представлены средние 3-х опытов, каждый вариант которых включал 4 пробы (6–7 растений каждая), и их стандартные ошибки (при $p < 0.05$).

согласуются с литературными сведениями о том, что в листьях более чувствительных к стрессу сортов содержание пролина повышается в меньшей степени по сравнению с устойчивыми [9].

Известно, что процессы поступления ионов Na^+ в растение и его распределение в клетках и тканях строго контролируются на разных уровнях организации – от клеточного до организменного [3, 22, 23]. Низкая концентрация Na^+ в цитоплазме и компартментация его в вакуоли поддерживается различными транспортными белками плазмалеммы и тонопласта [24, 25]. У высших растений клеточные механизмы дополняются механизмами дальнего транспорта. Большинство гликофитов стремится ограничить накопление Na^+ в метаболически активных надземных органах путем торможения его транспорта из корней в побеги, накопления в старых листьях и стеблях, рециркуляции из побега в корни, компартментации избытка ионов в вакуолях и в свободном пространстве клеток корня или стебля [22, 24, 26]. В целом более высокое накопление ионов натрия характерно для чувствительных сортов [26, 27]. Устойчивые сорта часто характеризуются высокой эффективностью барьерной функцией корней и поддерживают относительно низкий уровень натрия в надземной части [26, 28–30]. Однако такая картина отмечена не для всех видов и сортов [31, 32].

В наших опытах в условиях засоления содержание ионов натрия значительно повышалось в проростках всех сортообразцов уже в варианте 85 мМ NaCl (табл. 4). В наибольшей степени его содержание при засолении возрастало как в корнях, так и в надземной части у чувствительного сортообразца Алмаз. У проростков этого образца в варианте 85 мМ NaCl в надземной части содержание NaCl составило 17.5, в корнях – 49.0 мг/кг. Проростки образцов Сотник и ПРАГ530л-1934 характеризовались более низким и почти одинаковым содержанием Na^+ и в надземной части (6.0 и 6.3 мг/кг), и в корнях (29 и 26 мг/кг).

Увеличение концентрации раствора соли существенно не влияло на дальнейшее повышение содержания ионов Na^+ в тканях надземной части проростков у всех сортообразцов – его уровень в варианте 165 мМ возрастал по сравнению с вариантом 85 мМ на 0.6–1.6 мг/кг. Повышение интенсивности засоления в большей степени влияло на содержание ионов Na^+ в корнях. В этом случае проявилась и сортовая специфика: содержание ионов Na^+ в сортообразце ПРАГ530л-1934 возрастало на 7.0, Сотник – на 5.5 мг/кг, максимальным было в чувствительном сортообразце Алмаз – на 11.5 мг/кг по сравнению с вариантом слабого засоления.

Большее содержание ионов Na^+ во всех сортообразцах при засолении наблюдали в корнях, меньшее – в надземной части. При этом наиболее интенсивным его накоплением как в условиях слабого, так и сильного засоления, характеризовался чувствительный сортообразец Алмаз. У него в большей степени возрастала и интенсивность накопления Na^+ по сравнению с контролем. Например, в надземной части этот показатель вырос у сортообразца Алмаз в варианте 85 мМ NaCl в 79,

в корнях – в 53 раза. Наименьшее накопление было отмечено у образца ПРАГ530л-1934, у которого показатель возрастал в 57 раз в надземной части, в 44 раза – в корнях.

Различия в накоплении натрия между сортообразцами были более выражены в надземной части проростков по сравнению с корнями: в варианте засоления 85 мМ NaCl у чувствительного сортообразца Алмаз в надземной части проростков содержание натрия (17.5 мг/кг) превышало показатели устойчивых образцов ПРАГ530л-1934 (6.0 мг/кг) и Сотник (6.3 мг/кг) в 2.8 и 2.9 раза, в корнях – соответственно в 1.7 и 1.9 раза. Подобную закономерность наблюдали и при более сильном засолении.

Варьировало также у сортообразцов соотношение содержания Na^+ в корнях к содержанию Na^+ в надземной части. Например, в условиях слабого засоления (85 мМ NaCl) в корнях проростков сортообразца Сотник натрия накапливалось в 5 раз больше, чем в надземной части (29 и 6 мг/кг соответственно), у образца ПРАГ530л-1934 – в 4.1 раза (26 и 6.3 мг/кг), у образца Алмаз – в 2.8 раза (49.5 и 17.5 мг/кг соответственно). В условиях более интенсивного засоления (165 мМ NaCl) наиболее высоким соотношением содержания натрия в корнях к содержанию в надземной части также характеризовался сортообразец Сотник, у которого оно возрастало в 5.2 раза, меньшим – Алмаз (3.2 раза). Таким образом, независимо от уровня засоления чувствительный сортообразец Алмаз характеризовался меньшим соотношением накопления натрия в корнях по сравнению с надземной частью. Это согласуется с литературными данными [26] и может свидетельствовать о меньшей эффективности барьерной функции корней, связанной, в частности, с возможностью локализации засоляющих ионов в клеточных компартментах клеток корня [24].

Таким образом, сортообразцы тритикале Сотник и ПРАГ530л-1934 отличались меньшим накоплением натрия в тканях надземной части по сравнению с чувствительным сортообразцом Алмаз, а также бóльшим соотношением содержания натрия в корнях к его содержанию в надземной части проростков. Наиболее интенсивное повышение содержания натрия, как и пролина, наблюдали у более чувствительного сортообразца Алмаз, характеризующегося более выраженным подавлением роста и накоплением биомассы проростков, менее – у сортообразцов Сотник и ПРАГ530л-1934.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что засоление, вызванное действием растворов NaCl, в большей степени подавляло рост и накопление биомассы надземной части и корней сортообразца тритикале Алмаз, в меньшей степени – сортообразцов Сотник и ПРАГ530л-1934. Рост и накопление биомассы корней в условиях засоления снижались в большей степени, чем надземной части проростков. По накоплению свободного пролина в условиях засоления выделились сортообразцы ПРАГ530л-1934 и Сотник, меньше всего его содержание возрастало в проростках образца Алмаз. И у более устойчивых (Сотник, ПРАГ530л-1934) и у чувствительного (Алмаз) сортообразцов отмечено более интенсивное накопление натрия в корнях по сравнению с надземной частью проростков. Сортовая специфика была выражена в изменении общего содержания натрия в проростках при разных уровнях засоления: максимальным оно было у чувствительного сортообразца. Также она проявилась в различиях величины соотношения содержания Na^+ в корнях к его содержанию в надземной части: в большей степени этот показатель увеличивался у устойчивых сортообразцов тритикале. Наиболее интенсивное повышение содержания натрия как в корнях, так и в надземной части наблюдали у более чувствительного сортообразца Алмаз, характеризующегося более выраженным подавлением роста и накопления биомассы проростков, меньшим – у сортообразцов ПРАГ530л-1934 и Сотник, проявивших бóльшую солеустойчивость по морфометрическим показателям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Строгонов Б.П.* Физиологические основы солеустойчивости растений. М.: АН СССР, 1962. 366 с.
2. *Ковда В.А.* Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира. М.: Наука, 2008. 415 с.
3. *Балнокин Ю.В.* Ионный гомеостаз и солеустойчивость растений. 70-е Тимирязевское чтение. М.: Наука, 2012. 102 с.
4. *Кузнецов Вл.В., Шевыкова Н.И.* Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция // Физиология растений. 1999. Т. 46. № 2. С. 321–336.
5. *Ахиярова Г.Р., Сабиржанова И.Б., Веселов Д.С., Фрике В.* Участие гормонов в возобновлении роста побегов пшеницы при кратковременном засолении NaCl // Физиология растений. 2005. Т. 52. № 6. С. 891–896.
6. *Шихмурадов А.З.* Биоресурсный потенциал и эколого-генетические аспекты устойчивости представителей рода *Triticum* L. к солевому стрессу: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Владикавказ: Горский ГАУ, 2014. 37 с.

7. *Луценко Э.К., Галактионова М.В.* Влияние солевого стресса на некоторые цитофизиологические и биохимические показатели проростков пшеницы // Сел.-хоз. науки и агропром. комплекс на рубеже веков. 2013. № 1. С. 17–20.

8. *Хусаинов А.Т., Сыздыкова Г.Т., Андреева Ю.А.* Влияние степени сульфатного засоления на ростовые процессы генотипов яровой мягкой пшеницы // Аграрн. вестн. Урала. 2014. № 1 (119). С. 23–26.

9. *Терлецкая Н.В.* Неспецифические реакции зерновых злаков на абиотические стрессы *in vivo* и *in vitro*. Алматы: Ин-т биол. и биотехнол. растений КН МОН РК, 2012. 208 с.

10. *Веселов Д.С., Шарипова Г.В., Кудоярова Г.Р.* Сравнительное изучение реакции растений ячменя (*Hordeum vulgaris*) и пшеницы (*Triticum durum*) на кратковременное и длительное действие натрийхлоридного засоления // Агрохимия. 2007. № 7. С. 41–48.

11. *Напреенко Н.В.* Влияние засоления на рост и развитие зерновых культур // Мат-лы XI Международ. научн. конф. “Почва, урожай и экология”. Горки, 2010. С. 139–141.

12. *Жуков Н.Н.* Исследование физиолого-биохимических механизмов солевого стресса у тритикале на ранних этапах онтогенеза: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пущино: Ин-т фундамент. пробл. биол. РАН, 2013. 22 с.

13. *Хабиева Н.А., Куркиев К.У.* Морфо-физиологические изменения у проростков озимого тритикале (*Triticosecale*) в условиях хлоридного засоления // Усп. совр. науки. 2017. Т. 2. № 10. С. 144–148.

14. *Хабиева Н.А.* Рост и интенсивность перекисного окисления липидов у проростков озимого тритикале (*Triticosecale*) при засолении среды // Вестн. Дагестан. гос. ун-та. Сер. 1. Естеств. науки. 2016. Том 31. Вып. 1. С. 114–118.

15. *Куркиев К.У., Алиева З.М., Темирбекова С.К., Хабиева Н.А.* Устойчивость мягкой пшеницы и тритикале к высокому уровню хлоридного засоления // Достиж. науки и техн. АПК. 2017. Т. 31. № 2. С. 26–28.

16. *Удовенко Г.В.* Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Метод. рук-во. Л.: ВИР, 1988. 227 с.

17. *Bates L.S., Waldran R.P., Teare I.D.* Rapid determination of free proline for water stress studies // Plant Soil. 1973. № 39. P. 205–208.

18. *Калинкина Л.Г., Назаренко Л.В., Гордеева Е.Е.* Модифицированный метод выделения свободных аминокислот для определения на аминокислотном анализаторе // Физиология растений. 1990. Т. 37. № 3. С. 617–621.

19. *Халилова Л.А.* Пути транспорта Cl^- в системе целого растения у галофита *Suaeda altissima* (L.) Pall.: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ИФР РАН, 2008. 25 с.

20. *Шевелуха В.С.* Рост как показатель адаптивных возможностей растений и посевов и использование его характеристик в селекции и растениеводстве // Регуляция адаптивных реакций сельскохозяйственных растений. Кишинев: Штинница, 1987. С. 3–11.

21. *Dashek W.V., Erickson S., Sharon S.* Isolation, assay, biosynthesis, translocation, and function of proline in plant cells and tissues // Botan. Rev. 1981. V. 47. № 3. P. 349–381.

22. *Tester M., Davenport R.* Na^+-Tolerance and Na^+-transport in higher plants // Annal. Bot. 2003. № 91. P. 503–527.

23. *Керимов Ф.А., Кузнецов Вл.В., Шамина З.Б.* Организменный и клеточный уровни солеустойчивости двух сортов хлопчатника (133, ИНЭБР–85) // Физиология растений. 1993. Т. 40. № 1. С. 128–131.

24. *Кривошеева А.Б.* Получение и анализ солеустойчивости трансгенных растений арабидопсиса и картофеля, экспрессирующих гетерологические гены вакуолярных антипортеров *HvNHX2* или *HvNHX3*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: ИФР РАН, 2015. 22 с.

25. *Rodríguez-Rosales M.P., Galvez F.J., Huertas R., Aranda M.N., Baghour M., Cagnac O., Venema K.* Plant NIIX cation/proton antiporters // Plant Signal. Behavior. 2009. V. 4. P. 265–276. https://doi.org/10.4161/psb.4.4

26. *Омельченко А.В., Кабузенко С.Н., Белоусов А.А., Сериков В.А.* Локализация натрия в компартментах корней и наземной части гибридов кукурузы нового поколения в сязи с их солеустойчивостью // Уч. зап. Таврического нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. биология, химия. 2009. Т. 22 (61). № 4. С. 112–121.

27. *Ибрагимова У.Ф., Азизов И.В., Мамедова М.Г.* Реакция сортов твердой и мягкой пшеницы на хлоридное засоление // Физиол. Раст. и генетика. 2013. Т. 45. № 5. С. 399–407.

28. *Мохамед А.М., Ралдугина Г.Н., Холодова В.П., Кузнецов Вл.В.* Аккумуляция осмолитов растениями различных 338 генотипов рапса при хлоридном засолении // Физиология растений. 2006. Т. 53. № 5. С. 732–738.

29. *An Ping, Shinobu Inanaga, Jun Li Xiang, Engrinya Eneji A., Wen Nan Zhu* Interactive effects of salinity and air humidity in two tomato cultivars differing in salt tolerance // J. Plant Nutr. 2005. V. 28. № 3. P. 459–473.

30. *Yasar F., Uzal O., Tufenkci S., Yildiz K.* Ion accumulation in different organs of green bean genotypes grown under salt stress // Plant Soil Environ. 2006. V. 52. P. 476–480.

31. *Кабузенко С.Н., Омельченко А.В., Михальская Л.Н., Швартау В.В.* Накопление и локализация ионов натрия и калия в растениях кукурузы в условиях почвенного засоления // Вестн. Днепропетровск. ун-та. Биол., экол. 2013. № 21 (1). С. 28–32.

32. *Cuin T.A., Betts S.A., Chalmandrier R., Shabala S.* A root’s ability to retain K^+ correlates with salt tolerance in wheat // J. Exp. Bot. 2008. V. 59 (10). P. 2697–2706. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2486465/

Effect of Sodium Chloride on the Growth of Seedlings and the Content of Proline and Sodium in Varieties of Winter Triticale

N. A. Khabieva[a,b,#], Z. M. Alieva[b], and K. U. Kurkiev[c]

[a] *The Caspian Institute of Biological Besources DNC RAS*
ul. M. Hajiyeva 45, Makhachkala 367000, Republic of Dagestan, Russia
[b] *Dagestan State University*
ul. M. Hajiyeva 43a, Makhachkala 367000, Republic of Dagestan, Russia
[c] *Dagestan Experimental Station – Branch of the Federal Research Center*
"N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources"
Derbent district, s. Vavilovo 368612, Republic of Dagestan, Russia
[#]*E-mail: nadira.xabieva@mail.ru*

The influence of chloride salinization on the germination energy and germination of seeds, growth parameters, the content of Proline and sodium ions in winter triticale (×*Triticosecale* Wittm.) varietal Diamond, Sotnik and PRAG530l-1934. Germination energy and germination of seeds were determined by germinating them in NaCl solutions (85–350 mm) and distilled water (control). Growth parameters (height of the aboveground part, length and number of roots, raw and dry biomass), content of proline and sodium ions were determined in seedlings in variants 85 and 165 mm NaCl. Under the conditions of salinization, the suppression of growth and accumulation of biomass was noted, more pronounced at the roots compared to the aboveground part of the seedlings. When assessing growth indicators, the most sensitive was the variety Diamond, more stable – varieties Sotnik and PRAG530l-1934. Sensitive variety Diamond was characterized by a high sodium content and less intensive accumulation of proline under salinity conditions.

Key words: Triticosecale, varietal, salinity, stability, proline.

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 92–93

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Шафран С.А. Почва, удобрение, урожай. М.: Изд-во “Листерра”, 2019. 471 с.

DOI: 10.31857/S0002188120020167

Одной из ключевых проблем агрохимии, как известно, является определение потребности сельскохозяйственных культур во внесении удобрений. Одним из основных направлений в решении этой многогранной задачи является разработка соответствующей методологии. Это весьма сложная задача, поскольку на эффективность удобрений оказывает влияние множество факторов. Среди них – природно-климатические условия, тип почв, их гранулометрический состав и агрохимические свойства, биологические особенности культур. Вклад этих факторов в формирование величины урожайности культур далеко не равнозначен и зависит от конкретных условий. Изучению именно этих вопросов посвящена рецензируемая книга, в которой изложены результаты исследований автора и его коллег, с которыми ему пришлось работать в течение многих лет.

Основным направлением этих исследований явилось изучение взаимодействия комплекса почвенно-агрохимических, агроэкологических и агротехнических факторов на эффективность использования минеральных удобрений под ведущие сельскохозяйственные культуры. В настоящий сборник включены избранные труды, которые были опубликованы в виде отдельных статей и монографий в различных изданиях. Материал представлен в хронологическом порядке, что позволяет проследить развитие и совершенствование научных разработок в течение длительного времени, оценить методические подходы и принципы к проведению исследований в зависимости от уровня химизации земледелия, экономических условий и степени изученности проблемы.

Сборник состоит из трех разделов. Первый раздел посвящен изучению влияния агрохимических свойств различных почв на эффективность применения минеральных удобрений под ведущие сельскохозяйственные культуры и их урожайность. Сюда относятся зерновые культуры, картофель, лен-долгунец и сахарная свекла.

Материал, который содержит данный раздел, раскрывает роль агрохимических показателей в оценке плодородия различных типов почв и их значение в эффективном использовании азотных, фосфорных и калийных удобрений. Круг исследований, посвященных данной проблеме, достаточно широк. Он охватывает практически все основные природно-климатические зоны нашей страны, начиная от дерново-подзолистых и заканчивая каштановыми почвами.

Второй раздел представляет результаты исследований, посвященных прогнозированию и регулированию плодородия почв по агрохимическим параметрам. Работы отражают закономерности изменения содержания питательных веществ в почвах в зависимости от соотношения их прихода и расхода в земледелии. Изложен метод прогнозирования содержания элементов питания и целенаправленного их регулирования в различных почвах.

Представлены данные, характеризующие баланс азота, фосфора и калия в земледелии России за 50-летний период. При этом обращено внимание на то, что в последние 25 лет вынос питательных веществ урожаями намного превышает их поступление в почву, и значительная часть урожая формируется за счет почвенных запасов, создавая предпосылки для обеднения почв питательными веществами. Этот процесс в первую очередь касается Нечерноземной зоны, где уже в ряде регионов отмечена устойчивая тенденция деградации почв по агрохимическим показателям.

В третьем разделе освещены вопросы диагностики минерального питания растений и определения потребности в минеральных удобрениях, которые являются одними из основных в агрохимических исследованиях. Принципиально новым подходом к установлению доз питательных веществ для получения намеченного урожая является то, что расчет основан на научно обоснованных данных, изложенных в первом и втором разделах настоящей монографии, которые получены путем обобщения обширного экспериментального материала. Много внимания в разделе уделено диагностике азотного питания растений,

как наиболее сложной по сравнению с фосфорным и калийным. Подчеркивается, что при определении доз, наряду с учетом содержания доступных форм азота в почвах, следует принимать во внимание степень обеспеченности их подвижными формами фосфора и калия, а также реакцию почвенной среды.

Результаты исследований автора, изложенные в настоящем издании, могут служить теоретической основной для разработки научно обоснованного и более рационального применения минеральных удобрений. Это позволит снизить удельный расход питательных веществ на формирование урожайности сельскохозяйственных культур, повысить окупаемость удобрений и уменьшить себестоимость растениеводческий продукции.

Полагаю, что публикация монографии Шафрана С.А. "Почва, удобрение, урожай" будет полезна научным работникам, специалистам Государственной агрохимической службы, органам управления сельским хозяйством, сельскохозяйственных предприятий, преподавателям профильных вузов и техникумов.

А. А. Завалин

АГРОХИМИЯ, 2020, № 2, с. 94–96

Джукич Д.А., Емцев В.Т., Семенов Л.М., Путинская Г.А., Селицкая О.В. Экологическая биотехнология. Сербия: Изд-во “SAJNOS” ДОО, Нови Сад; Крагуевацкий ун-т Сербии, фак-т агрономии в Чачаке; Калканский НЦ РАЕН, 2018. ISBN 978-86-87611-65-8 (AFČ). Т. 1. 844 с.; Т. 2. 754 с.

DOI: 10.31857/S0002188120020155

В конце 2018 г. в Сербии была издана двухтомная монография “Экологическая биотехнология”. Труд по своей актуальности, детальности, объему очень впечатляющий. Однако это событие в России могло остаться и незамеченным, если бы не необычный авторский коллектив. Из пяти соавторов три автора являются известными российскими учеными: Емцев Всеволод Тихонович, Семенов Александр Михайлович и Селицкая Ольга Валентиновна. Четвертый соавтор – Иутинская Галина Александровна, тоже по существу является соотечественницей, как выходец из бывшего Советского Союза. К сожалению, Всеволод Тихонович Емцев уже не смог порадоваться этому замечательному событию: он ушел из жизни за год до выхода двухтомника в свет.

Как справедливо подтверждают соавторы, главная заслуга издания этого фундаментального труда принадлежит первому автору – профессору Драгутину А. Джукичу, который является не только известным ученым в Сербии, но и убежденным русофилом. Именно благодаря Д.А. Джукичу, его энергии, настойчивости, организационному таланту и фантастическому трудолюбию этот актуальный труд увидел свет. Монография издана на сербском языке. В Сербии, как известно, используется славянский язык и кириллический алфавит, что существенно приближает содержание для русскоязычного читателя, к тому же есть и уверенность, что в недалеком будущем этот очень нужный труд будет переиздан и на русском языке.

В настоящее время экология микроорганизмов вместе с биотехнологией занимают ведущие направления в микробиологии, потеснив такие традиционные направления в изучении микробного мира, как биохимия и физиология микроорганизмов. Смена приоритетов в микробиологии связана, во-первых, с развитием методов определения активности и разнообразия микроорганизмов в природе, во-вторых, с практической необходимостью использовать активность микроорганизмов в природных и антропогенных экосистемах. Эти технологии включают удаление различных загрязнителей, ксенобиотиков, сохранение здоровых почвенных и водных систем, как жизненно определяющих экосистем, служащих источником и стоком биоразнообразия, включая человека.

В монографии “Экологическая биотехнология” в предисловии авторы отмечают, что экологическая биотехнология является одним из важнейших современных направлений в теоретической разработке и практическом применении технологии. Экологическая биотехнология ориентирована на решение природоохранных задач специфическими биотехнологическими методами, объединяющих обширный круг методов из разных наук. При этом включаются не только инженерные решения, но и разработка экологических нормативов, вопросы законодательства, оценки рисков, работа с геоинформацией в системах инженерных сооружений и экономические обоснования. В монографии упоминаются, встречаются и даже описаны такие подходы и методы, которые кому-то могут показаться несколько архаичными, но которые с точки зрения эффективности, дешевизны и простоты применения являются не только вполне приемлемыми, но и просто незаменимыми, что важно отметить.

Первый том монографии, содержит 4 раздела, в свою очередь каждый раздел содержит несколько глав с многочисленными подглавами разного уровня, т.е. содержание и изложение материала хорошо структурировано.

Во введении кратко, но познавательно изложены те исторические факты, которые можно расценивать как прообразы биотехнологических решений от древнего Рима до средневековой западной Европы, включая Москву. Рассмотрены проблемы снабжения городов водой и удаления сточных вод, значимые решения проблем и отмечен персональный вклад некоторых ученых и государственных деятелей.

Изложение материала первого раздела начато с рассмотрения проблемы сточных вод и их очистки. При этом описание проблемы начато с анализа экологических нормативов и вопросов законодательства, в первую очередь международного.

В последующих главах первого раздела (гл. 2, 3), рассмотрены принципы формальной классификации загрязнений и методов очистки. Подробно описаны способы сначала аэробной (гл. 4), а потом энаэробной очистки загрязненных вод (гл. 5). Отметим, что анализ способов аэробной и энаэробной очистки проделан очень детально, с описанием не только широко распространенных методов, но и эксклюзивных, например, очистки в аэрозолях, мембранных методов, биофильтров. Дополнительно описаны в отдельных главах методы и приемы удаления биофильных элементов – азота, фосфора, серы (гл. 7).

На неформальность, высокую ответственность подхода в обсуждении проблем экологической биотехнологии может указывать наличие раздела II о биологической очистке и дезодорации газовых отходов, что очень важно при любой форме очистки отходов, особенно при биоочистке. К сожалению, этот раздел слишком краток по сравнению со значимостью этой эколого-социальной проблемы.

Особенность монографии заключается в том, что она многогранна и всеобща по своему содержанию. Например, раздел III, посвященный переработке органических отходов, по своему содержанию превосходит название раздела. В этом разделе дается описание не только утилизации, избавления от органических отходов, но одновременно и производства полезных продуктов. В главе 1 раздела III дано описание основных природных органических отходов.

В главе 2 раздела III очень подробно даны методы и продукты микробиологической переработки органических отходов, начиная от производства кормовых продуктов, обогащенных микробным белком и производства “чисто” микробного – дрожжевого белка, до переработки молочной сыворотки, выжимок из отходов алкогольной продукции, компостирования и метагенеза. Отдельная 3-я глава посвящена вермикультивации и вермикомпостированию.

Последний раздел (IV) первого тома посвящен биологической очистке и регенерации загрязненных почв. Этот раздел, как и все разделы, разбит на главы и подглавы, т.е. очень хорошо структурирован. Настоящий раздел имеет свое введение, что может означать не только фундаментальную важность этого раздела, но и отличие рассматриваемого объекта биотехнологии от предыдущих. В этом разделе обсуждается применение биотехнологии к природному объекту – почвенной экосистеме, которая является самой важной, как и водная, для всего живого, и по существу не зависима и даже не подвластна человеку, но очень уязвима и климатически, и антропогенно. На уровне глав вынесены такие темы, как классификация методов биотехнологий очистки и регенерация загрязненных почв, что подчеркивает важность их содержания для последующих разделов. В следующей главе 3 раздела IV с множеством подглав сначала детально описаны небиологические методы и технологии очистки и восстановления почв, т.е. физико-химические способы. Первая подглава главы 3 – описание методов очистки загрязненных участков *ex situ* (гл. 3.1), потом – методов *in situ* (гл. 3.2). В главе 4, которая содержит 9 подглав, описаны биологические методы и комбинированные методы очистки почв. Исключительную важность представляют заключительные главы 5, 6 и 7. В гл. 5 представлены различные биопрепараты и методы их использования для ремедиации почв, в гл. 6 приведено сравнение методов биологической очистки почв с регенерацией, в гл. 7 даны практические мероприятия и затраты при биологической очистке и регенерации почв.

Первый том монографии хорошо иллюстрирован в целом. Нумерация рисунков и схем в томе I произведена для каждого раздела. Нумерация таблиц также проведена для каждого раздела. Литература приведена в конце второго и четвертого (последнего для первого тома) разделов, что определяется, с одной стороны, некоторой схожестью рассматриваемых в разделах проблем, с другой, – облегчает нахождение нужного источника и нужной ссылки, избегания повторения источников.

Второй том монографии содержит 8 разделов, которые также разбиты на главы и подглавы. Нумерация разделов во 2-м томе продолжена от окончания в первом томе, поэтому во втором томе содержание начитается с раздела V, заканчивается разделом XII. Это подчеркивает связь рассматриваемых проблем и стремление к всеобщности при детализации.

Начальный раздел (V) второго тома, включающий 4 главы со многими подглавами, открывается описанием применения микроводорослей для очистки загрязненных почв и вод, т.е. посвящен использованию фиторемедиации в широком понимании и значении этой технологии, что конечно является истиной биотехнологией. Однако первые главы раздела V посвящены по существу наиболее общим вопросам, предваряющим и подготавливающим изложения методов фиторемедиации, наподобие классификации фиторемедиации (см. рис. 1.1 и табл. 1.1). Приведены методы фитоэкстракции, фитостабилизации, фитодеградации, фитотрансформации, фитоиспарения, биоремедиации в ризосфере, использования растительного покрова для предотвращения миграции загрязнений из полигонов твердых отходов, ризофильтрации. Другими словами, перечислены и обсуждены множество методов, позволяющих решать проблемы очистки в первую

очередь водных экосистем. При этом обсуждены не только теоретические моменты и технологические схемы очистки, но и экономические вопросы, что указывает на всесторонность знаний авторов и ответственность подхода (гл. 4.11).

Следующий раздел (VI) второго тома посвящен реабилитации водных экосистем, где в 3-х главах обсуждаются и предлагаются решения проблем реабилитации озерных экосистем и других водоемов.

Значительное внимание уделено углеводородным загрязнениям, которым посвящен довольно объемный раздел VII. В начале этого раздела в нескольких главах (гл. 1–5) даны фундаментальные описания состава углеводородов, воздействие нефти и нефтепродуктов на окружающую среду, утилизация и трансформация нефти и ее производных в почвенных и водных экосистемах, способы очистки от загрязнения, вызванных нефтью и нефтепродуктами и др. Конечно, значительное внимание уделено способам микробиологической очистки экосистем от загрязнений нефтью и продуктами ее переработки. При этом гл. 6, посвященная проведению восстановительных и мелиоративных мероприятий (табл. 5) в загрязненных углеводородами водных и почвенных экосистемах, разбита на детальное, поэтапное описание действий при очистке.

Разобрана проблема биологического удаления (очистки экосистем) тяжелых металлов и радионуклидов из загрязненных почв и вод (раздел VIII). В этом разделе затрагиваются проблемы индикации состояния экосистем и проблемы выбора и применения индикаторов, разнообразие показателей при оценке состояния почвенных и водных экосистем, проводимыми с разными целями, разными методами. Разобраны подходы оценки санитарного состояния и микробного загрязнения почвы на основе микробиологических показателей. При этом описаны примеры оценки загрязнения почвы не только по составу патогенных микроорганизмов, но и сапротрофов.

Интересный, важный и эффективный подход для оценки состояния водных экосистем представлен в разделе IX. В этом разделе приведены международные протоколы для оценки экологического обследования среды обитания рек (river habitat survey (RHS)).

В настоящей монографии представлены не только методы, технологии и протоколы для оценки или защиты природных процессов, окружающей среды, т.е., *ex situ*, но и методы и пути защиты от биологических повреждений, а также биооценка ущерба от биоповреждений разных материалов, что дано в разделе X. Биологическое повреждение материалов (биоповреждения) – это любое нежелательное изменение свойств материалов, вызванное жизнедеятельностью каких-либо организмов. Главное внимание сосредоточено на микробиологических повреждениях и способах защиты разных материалов.

Предпоследний раздел XI посвящен проблеме мониторинга окружающей среды, что связано и с биологической индикацией, и с биологическим тестированием. Проблемы состояния экосистем и их индикации затрагивались в разделе VIII, но в разделе XI эта тема раскрыта достаточно основательно. Содержание раздела XI имеет и значимые особенности. В главе 4 раздела XI приведены лабораторные упражнения для применения основных методов биоиндикации и биотестирования окружающей среды. При этом отмечено, что лабораторные упражнения преследуют несколько целей: это и мобилизация знаний пользователя из многих разделов биологи и даже химии, и обучение наиболее востребованным и перспективным методам биоиндикации и биотестирования. Значимость раздела лабораторных упражнений можно оценить и количественно, т.к. этот раздел занимает около 300 страниц.

В последнем разделе XII пользователь найдет нужную и достаточно подробную информацию об экологическо-токсикологическом нормировании, включающую санитарно-гигиенические требования и нормы, т.е. методологию санитарно-гигиенического нормирования, специфику нормативного загрязнения природных сред, определение предельно допустимых выбросов “загрязнителей”. В гл. 6 разбирается биобезопасность, особенности получения лицензий на использование и стандартизацию воздействия компонентов биотехнологических продуктов и биопрепаратов.

В целом второй том монографии, так же как и первый, достаточно хорошо иллюстрирован. Нумерация рисунков, схем и таблиц в томе 2 произведена также для каждого раздела. Литература в томе 2, так же как и в т. 1, приведена не для каждого раздела, а совместно для разделов V–IX после раздела IX и в конце т. 2 после последнего раздела. В целом монография является образцом последовательности и детальности.

Традиционно в рецензии отмечают и какие-то недостатки, погрешности, которые, наверное, имеются и в этой 1598-страничной, высоко содержательной монографии. Однако подводя итог обзору этого колоссального труда, содержание которого представляет не только научно-познавательную ценность, но и обучение экологическим методам с основами микробиологии, биохимии, гидробиологии и др., можно только выразить благодарность авторам, университету и издательству за выпуск в свет одной из первых книг об экологической биотехнологии.

Ю. Я. Спиридонов