

ISSN 0002-1881

Февраль 2024

Номер 2

АГРОХИМИЯ



НАУКА

— 1727 —

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 2, 2024

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

- Влияние особенностей динамики запасов подвижных форм азота в серой лесной почве и применения удобрений на урожайность овса при различных погодных условиях
В. В. Окорков, Л. А. Окоркова, В. И. Щукина 3
- Оценка влияния приемов биологизации агроценоза яблони (*Malus domestica* Borkh.) на плодородие почвы и продуктивность растений
О. Е. Клименко, А. И. Сотник, А. И. Попов 17
- Динамика рН_{KCl} известкованной дерново-подзолистой супесчаной почвы мелиорантами различной химической природы
А. В. Литвинович, П. С. Манаков, А. В. Лаврищев, Ю. В. Хомяков, К. М. Нельсон, В. М. Буре 29
-

Удобрения

- Сравнительная эффективность применения минеральных и органических удобрений при выращивании лука репчатого в однолетней культуре
О. Н. Успенская, В. А. Борисов, И. Ю. Васючков, А. А. Коломиец, Л. В. Кривенков, Т. Е. Шевченко, А. В. Молчанова 36
-

Регуляторы роста растений

- Эффективность предпосевной обработки регуляторами роста растений для улучшения продуктивности *Astragalus babatagi* и *A. xanthomeloide*
Э. Р. Курбанова, Р. П. Закирова, Н. С. Умарова, С. С. Халиков, Н. Д. Чкаников 43
-

Агроэкология

- Особенности структуры микоценозов ячменя ярового и свойства грибов с отчужденных радиоактивно загрязненных территорий Новозыбковского района Брянской обл.
С. Н. Михалева, Л. Н. Ульяненко, Н. И. Будынков, А. П. Глинушкин 50
- Основные и дополнительные экологические ниши почвенных фитопатогенов на сортах яровой пшеницы в Западной Сибири
Е. Ю. Торопова, Г. Я. Стецов, И. Г. Воробьева, Р. И. Трунов 60
-

Экотоксикология

- Изменение целлюлозолитической активности и микробного дыхания почв разных типов в условиях загрязнения их тяжелыми металлами
О. А. Золотарева, И. О. Плеханова 70
- Зоокомпост – решение проблемы органических отходов и материал для ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами
Е. А. Пендюрин, Л. М. Смоленская, Ж. А. Сапронова, И. В. Бомба 79
-

ОБЗОРЫ

- Роль плодородия почв и сорта в повышении урожайности зерновых культур
С. А. Шафран, Е. С. Козеичева 84
- Анализ приемов повышения продуктивности зерновых культур для снижения межгодовой вариации их урожайности
А. А. Конищев, И. И. Гарифуллин, Е. Н. Конищева 95
-
-

Contents

No. 2, 2024

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

- Influence of the Dynamics of Stocks of Mobile Forms of Nitrogen in Gray Forest Soil and the Use of Fertilizers on the Yield of Oats under Various Weather Conditions
V. V. Okorkov, L. A. Okorkova, V. I. Shchukin 3
- Assessment of the Impact of Methods of Biologization of the Agrocenosis of Apple Trees (*Malus domestica* Borkh.) on Soil Fertility and Plant Productivity
O. E. Klimenko, A. I. Sotnik, A. I. Popov 17
- Dynamics of pH_{KCl} of Calcified Sod-Podzolic Sandy Loam Soil by Meliorants of Various Chemical Nature
A. V. Litvinovich, P. S. Manakov, A. V. Lavrishchev, Yu. V. Khomyakov, K. M. Nelson, V. M. Bure 29
-

Fertilizers

- Comparative Effectiveness of the Use of Mineral and Organic Fertilizers in the Cultivation of Onions in an Annual Crop
O. N. Uspenskay, V. A. Borisov, I. Y. Vasyuchkov, A. A. Kolomiets, L. V. Krivenkov, T. E. Shevchenko, A. V. Molchanov 36
-

Plant growth regulators

- Effectiveness of Pre-Sowing Treatment with Plant Growth Regulators to Improve the Productivity of *Astragalus babatagi* and *A. xanthomeloides*
E. R. Kurbanova, R. P. Zakirova, N. S. Umarova, S. S. Khalikov, N. D. Chkanikov 43
-

Agroecology

- Structure Particularity of Spring Barley Mycocenoses and Properties of Mushrooms from Alienated Radioactively Contaminated Territories of the Novozybkovsky District of the Bryansk Region
S. N. Mikhaleva, L. N. Ulyanenko, N. I. Budynkov, A. P. Glinushkin 50
- Basic and Additional Ecological Niches of Soil Phytopatogenes on Spring Wheat Varieties in West Siberia
E. Yu. Toropova, G. Ya. Stetsov, I. G. Vorob'eva, R. I. Trunov 60
-

Ecotoxicology

- Changes in the Cellulolytic Activity and Microbial Respiration of Soils of Different Types under Conditions of Contamination with Heavy Metals
O. A. Zolotareva, I. O. Plekhanov 70
- Zoocompost – a Solution to the Organic Waste Problem and a Material for Soils Polluted with Heavy Metals Remediation
E. A. Pendyurin, L. M. Smolenskaya, J. A. Sapronova, I. V. Bomba 79
-

REVIEWS

- Role of Soil Fertility and Varieties in Increasing the Yield of Grain Crops
S. A. Shafran, E. S. Kozeicheva 84
- Analysis of Methods of Increasing the Productivity of Grain Crops to Reduce the Interannual Variation of Their Yield
A. A. Konishchev, I. I. Garifullin, E. N. Konishcheva 95
-
-

УДК 631.811.1:633.13:631.862.1:631.842.4

ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ДИНАМИКИ ЗАПАСОВ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ АЗОТА В СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ И ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ОВСА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЯХ

© 2024 г. В. В. Окорков^{1,*}, Л. А. Окоркова¹, В. И. Щукина¹¹Верхневолжский федеральный аграрный научный центр
601261 Владимирская обл., Суздальский р-н, пос. Новый, Россия

*E-mail: okorkovvv@yandex.ru

В длительном полевом опыте на серых лесных почвах Владимирского ополья изучено влияние минеральных удобрений и последствий навоза крупного рогатого скота, их взаимодействия на урожайность овса, идущего 2-й культурой после занятого пара, и динамику подвижных форм азота при различных погодных условиях. Установлена определяющая роль азота аммиачной селитры в составе НРК и последствий навоза крупного рогатого скота в повышении урожайности овса. Результаты исследования свидетельствовали о питании культуры преимущественно нитратной формой азота. Между запасами N-NO₃ в слое почвы 0–40 см, формирующимися в результате трансформации азота почвы и удобрений до всходов овса, и его урожайностью выявлена высокая степень взаимосвязи ($0.981 > R^2 > 0.787$). Определены влияние удобрений и погодных условий на формирование запасов нитратного азота в фазах роста и развития овса и их динамика, обеспечивающая достижение высокой урожайности зерна и его качества. В зависимости от погодных условий и систем удобрения рассчитаны коэффициенты использования N-NO₃, формируемого за вегетационный период овса, на вынос азота зерном (40.7–66.6%), зерном и соломой (58.3–75.0%), зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (71.2–88.6%). В удобренных азотом вариантах в среднем на 4-х уровнях последствий навоза (0, 40, 60 и 80 т/га) наиболее высокими они были при применении одинарной дозы N40P40K40, при применении двойной дозы N80P80K80 – существенно снижались. В среднем на 4-х уровнях внесения минеральных удобрений (0, P40K40, N40P40K40 и N80P80K80) коэффициенты использования образованного за вегетацию N-NO₃ при последствии навоза 60 т/га были максимальными. При сочетании N80P80K80 с последствием органических удобрений 80 т/га возможны наиболее высокие потери N-NO₃ из-за денитрификации и вымывания.

Ключевые слова: серые лесные почвы, Владимирское ополье, овес, удобрения, урожайность, нитратный и аммонийный азот, погодные условия, элементы урожая, коэффициент использования N-NO₃.

DOI: 10.31857/S0002188124020014

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в основе представлений о питании растений подвижными формами азота (аммонийным и нитратным) существует мнение о равноценности этих форм [1, 2]. Однако в ряде работ выявлено, что на среднесуглинистых серых лесных почвах Владимирского ополья [3, 4], легко- и среднесуглинистых почвах Ярославской области [5, 6] происходит интенсивное поглощение ионов аммония почвенным поглощающим комплексом (ППК). В жидкую фазу почвы переходит лишь небольшая доля (несколько процентов

от общего его содержания, вытесняемого 1 М раствором КС1). Переходящий в жидкую фазу аммонийный азот подвергается нитрификации, и образовавшиеся нитраты в основном участвуют в питании растений.

Цель исследования – изучение влияния органических и минеральных удобрений и погодных условий на урожайность овса, идущего после последствий занятого пара после яровой пшеницы, динамики запасов нитратного и аммонийного азота в слое почвы 0–40 см; формирования запасов N-NO₃ в фазах роста и развития культуры и за вегетацию и их использования.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 4-й ротации 7-польного севооборота: занятый пар—яровая пшеница—овес с подсевом многолетних трав (клевер + тимофеевка)—травы 1-го года пользования—травы 2-го года пользования—яровая пшеница—ячмень на 3-й культуре после занятого пара. Стационарный опыт был заложен в 1991—1993 гг. в 3-х закладках (полях) [6].

Почва опытных полей — серая лесная среднесуглинистая со следующей исходной характеристикой пахотного слоя: содержание гумуса — 2.6—3.7%, $pH_{КС1}$ 5.1—5.5; гидролитическая кислотность (H_T) — 3.2—3.5, сумма поглощенных оснований — 19.4—22.4 мг-экв/100 г, содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) — 130—200, обменного калия (по Масловой) — 150—180 мг/кг почвы.

В начале 1-й ротации было проведено известкование по полной гидролитической кислотности. На его фоне изучали влияние различных доз подстилочного навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га), который вносили после уборки однолетних трав на сено, и влияние ежегодного применения минеральных удобрений (0, РК, NPK, 2NPK), их сочетания на урожайность полевых культур, изменение агрохимических и химических свойств серой лесной почвы. В 4-й ротации исследования вели после последствие известкования, проведенного в 1-й ротации, и органических удобрений (4-я ротация). В опыт был введен и вариант абсолютного контроля (без известки и удобрений).

Под овес применяли следующие дозы минеральных удобрений: P40K40, N40P40K40 и N80P80K80 (двойная доза).

В качестве минеральных удобрений использовали N_{aa} , P_{cr} , K_x . Фосфорно-калийные удобрения вносили осенью под основную обработку почвы, азотные — весной под предпосевную культивацию.

Агрохимические анализы почвы выполняли по методикам, изложенным в работе [7]. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ STAT VIUA и EXCEL.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия вегетационных периодов 2016—2018 гг. сильно различались. В 2016 г. в мае за 1-ю и 2-ю декады выпало всего 8.6 мм осадков, за 3-ю — 26.9 мм. В конце июня и 1-й декаде июля до фазы выметывания метелки увлажнение почвы было невысоким, что снижало в ней активность микробиологических процессов. Последние возросли к периоду уборки овса. Гидротермический коэффициент по Селянинову (ГТК) за период от 3-й декады апреля по 1-ю декаду сентября составил 1.28 [6]. За май—июль выпало 151 мм осадков.

В 2017 г. за период с мая до 3-й декады июля осадки выпадали регулярно и обеспечивали высокую активность почвенной микрофлоры и быстрые развитие и рост овса. ГТК за теплый период составил 1.79, осадки за май—июль — 280 мм.

Наиболее неблагоприятно сложились условия увлажнения в 2018 г. Майские осадки обеспечили хорошие условия для роста и развития овса и высокую активность почвенной микрофлоры в начале вегетации. В конце июня и начале июля из-за острозасушливых условий к периоду выметывания овса активность почвенной микрофлоры резко снизилась. За май—июль осадки составили 125 мм. Недостаток влаги в почве овес в определенной мере компенсировал из-за поглощения ее из глубоких слоев. Процессы биологической активности в почве заметно возобновились лишь к концу созревания культуры (ГТК = 0.79) (табл. 1).

Наибольшее количество влаги из слоев почвы 40—100 см (41.6—61.4 мм) овес потреблял в годы с недостаточным выпадением осадков (2016 и 2018 гг.), а также при применении азотных удобрений в 2017 г. По сравнению с фоном известкования полное минеральное удобрение в сочетании с последствием дозы навоза КРС 60 т/га снижало расход влаги на создание 1 ц з.е. с 7.0—8.7 до 4.7—6.9 мм.

Последствие известкования по сравнению с контролем не способствовало росту урожайности зерна овса. В годы исследования в вариантах без применения азотных минеральных удобрений и навоза КРС урожайность зерна овса варьировала в небольших пределах: от 26.7 до 33.0 ц з.е./га. Достоверно она не возрастала и от применения фосфорно-калийных удобрений. В среднем за 3 года последствие органических удобрений, в том числе и в сочетании с фосфорно-калийными удобрениями, увеличивало урожайность этой культуры с 29.8 до 32.3—38.7 ц з.е./га. Наиболее высокий прирост урожайности овса отмечен в вариантах применения полного минерального удобрения и сочетания его с последствием органических удобрений: урожайность возрастала с 29.8 до 40.5—43.6 ц з.е./га (табл. 2).

В соответствии с погодными условиями более высокая урожайность культуры была получена в благоприятном по увлажнению 2017 г. в вариантах, удобренных дозами навоза КРС 60—80 т/га (39.6—45.8 против 31.8—35.9 ц з.е./га з.е.) и полным минеральным удобрением (48.5—52.6 против 35.0—41.3 ц з.е./га)

Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений прибавкой зерна овса (кг з.е.) была наиболее высокой при применении одинарной дозы N40P40K40. Она варьировала от 4.1 до 13.2 кг з.е. и была максимальной в благоприятном по увлажнению 2017 г.

Определяющее влияние на урожайность овса оказало применение азота в составе минеральных

Таблица 1. Использование влаги овсом за 2016–2018 гг.

Вариант	Запасы влаги в 1-метровом слое почвы, мм		Осадки вегетационного периода, мм	Общий расход влаги, мм	Урожайность, ц з.е./га	Коэффициент водопотребления, мм/ц з.е.	Использование влаги из слоя почвы 40–100 см, мм
	исходные	после уборки					
Овес с подсевом многолетних трав, поле № 1 (2016 г.)							
Известкование (фон)	281	220	201	262	30.1	8.7	56.1
Ф + навоз 60 т/га	283	216	201	268	31.8	8.4	54.3
Ф + Нав60 + N40P40K40	273	221	201	253	36.8	6.9	61.0
Ф + Нав60 + N80P80K80	279	218	201	262	37.7	6.9	61.4
Овес с подсевом многолетних трав, поле № 2							
Известкование (фон)	314	286	256	284	32.7	8.7	24.9
Ф + навоз 60 т/га	325	272	256	309	39.6	7.8	42.1
Ф + Нав60 + N40P40K40	321	257	256	320	48.5	6.6	46.9
Ф + Нав60 + 80P80K80	322	252	256	326	50.6	6.4	53.1
Овес с подсевом многолетних трав, поле № 3							
Известкование (фон)	273	213	127	187	26.7	7.0	41.6
Ф + навоз 60 т/га	277	202	127	202	31.9	6.3	47.1
Ф + Нав60 + N40P40K40	277	211	127	193	39.3	4.9	56.2
Ф + Нав60 + N80P80K80	272	210	127	189	40.4	4.7	45.5

Примечания. Нав – навоз. То же в табл. 2, 4–13. Нумерация вариантов та же в табл. 2, 4–13.

Таблица 2. Влияние удобрений на урожайность овса и их окупаемость по годам

Вариант	Урожайность овса, ц з.е./га				Окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений, кг з.е./кг д.в.		
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Средняя	2016 г.	2017 г.	2018 г.
1. Контроль	29.2	31.4	28.0	29.5	–	–	–
2. Известь (фон)	30.1	32.7	26.7	29.8	–	–	–
3. P40K40	31.3	33.0	30.5	31.6	1.5	0.4	4.8
4. N40P40K40	35.0	48.6	37.9	40.5	4.1	13.2	9.3
5. N80P80K80	36.4	49.7	38.0	41.4	2.6	7.1	4.7
6. Навоз 40 т/га	31.2	33.2	32.6	32.3			
7. Навоз 60 т/га	31.8	39.6	31.9	34.4			
8. Навоз 80 т/га	33.5	41.4	34.6	36.5			
9. Нав40 + P40K40	33.3	32.3	32.7	32.8			
10. Нав40 + N40P40K40	36.0	50.3	39.2	41.8			
11. Нав40 + N80P80K80	37.4	52.6	40.6	43.5			
12. Нав60 + P40K40	33.5	40.8	33.1	35.8			
13. Нав60 + N40P40K40	36.8	48.5	39.3	41.5			
14. Нав60 + N80P80K80	37.7	50.6	40.4	42.9			
15. Нав80 + P40K40	34.4	45.8	35.9	38.7			
16. Нав80 + N40P40K40	36.6	50.2	41.3	42.7			
17. Нав80 + N80P80K80	39.8	50.3	40.6	43.6			
HCP ₀₅ , ц з.е./га	2.4	3.4	1.6	2.5			
T, %	2.45	2.82	1.59	2.29			

Таблица 3. Математические зависимости влияния удобрений на урожайность овса в годы исследования (y , з.е. ц/га)

Год исследования	Уравнение взаимосвязи, $n = 17$	R^2
2016	$y = 30.2 + 0.038x_1 + 0.050x_2 - 0.031x_3$	0.936
	$y = 29.8 + 0.037x_1 + 0.111x_2 + 0.041x_3 - 0.0009x_2^2$	0.977
2017	$y = 34.2 + 0.083x_1 + 0.185x_2$	0.787
	$y = 32.2 + 0.54x_2 + 0.0014x_1^2 - 0.0037x_2^2 - 0.0026x_1x_2 + 0.0011x_1x_3$	0.945
	$y = 32.5 + 0.52x_2 + 0.0016x_1^2 - 0.0034x_2^2 - 0.0018x_1x_2$	0.934
2018	$y = 29.8 + 0.062x_1 + 0.106x_2$	0.834
	$y = 27.7 + 0.084x_1 + 0.25x_2 + 0.071x_3 - 0.0023x_2^2 - 0.0007x_1x_3$	0.975
2016–2018	$y = 31.6 + 0.062x_1 + 0.122x_2$	0.859
	$y = 29.6 + 0.080x_1 + 0.299x_2 + 0.038x_3 - 0.0022x_2^2 - 0.0008x_1x_2$	0.981
	$y = 30.2 + 0.083x_1 + 0.314x_2 - 0.002x_2^2 - 0.0009x_1x_2$	0.969
	$y = 31.1 + 0.060x_1 + 0.278x_2 - 0.0021x_2^2$	0.937

Примечание. $80 > x_1 > 40$ – последствие доз навоза, т/га, $80 > x_2 > 40$ – действие доз азота (NH_4NO_3), $80 > x_3 > 40$ – действие фосфорно-калийных удобрений в расчете на P_2O_5 , кг/га.

удобрений и последствие навоза КРС. В среднем за 3 года на их влияние приходилось 93.7% вариации, а с учетом взаимодействия – 96.9%, на влияние фосфорно-калийных удобрений – $\approx 1.2\%$ (табл. 3).

В среднем за 2016–2018 гг. последствие азота в составе навоза КРС от действия азота в составе минеральных удобрений составило 11.6% ($0.062 : 4.4 : 0.122 \times 100$, где 4.4 – содержание азота в 1 т навоза).

Приведены данные динамики содержания нитратного и аммонийного азота в слое почвы

0–40 см за 2016–2018 гг. Наиболее высокие запасы нитратного азота формировались в фазе всходов (1-й срок), а в фазе выметывания метелки (2-й срок) они были минимальными. В 1-й срок наблюдений по сравнению с фоном известкования они увеличиваются в 2–4 раза при применении азотных минеральных удобрений и при сочетании их с последствием органических. Максимальные размеры запасов нитратного азота в слое почвы 0–40 см достигали 105–177 кг/га (табл. 4).

Таблица 4. Влияние удобрений на динамику запасов нитратного азота в почве под овсом в слое 0–40 см по годам и срокам наблюдения, кг/га

Вариант	2016 г.			2017 г.			2018 г.		
	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок
1	46.8	14.5	24.6	21.0	15.3	24.6	39.4	8.2	18.6
2	51.6	16.3	24.0	21.4	15.4	25.5	37.0	5.7	16.4
3	46.5	13.9	16.3	25.8	15.0	31.9	37.3	6.9	16.6
4	101	17.4	30.7	53.6	19.1	39.6	114	16.5	27.3
5	138	21.2	36.1	78.2	32.2	49.9	145	31.2	33.9
6	46.9	14.1	31.6	38.1	19.1	40.8	37.5	7.0	19.1
7	62.4	15.4	28.2	40.7	26.2	46.9	44.1	7.8	14.0
8	75.7	14.7	37.0	49.8	28.1	53.0	48.1	12.7	35.9
9	56.6	9.1	26.3	46.0	22.9	39.5	53.6	9.1	20.0
10	102	15.8	32.7	65.1	27.5	51.7	110	16.8	23.5
11	152	23.2	34.6	88.1	38.8	56.8	137	23.5	39.6
12	59.9	20.2	36.0	39.9	19.1	34.8	54.2	10.0	21.6
13	104	24.6	36.5	68.7	23.3	44.3	129	14.7	20.2
14	153	20.2	37.5	98.6	34.0	46.9	154	34.2	33.6
15	65.5	14.5	34.8	58.3	21.4	34.6	66.1	15.2	26.9
16	99.4	12.6	33.8	74.0	24.4	66.6	124	23.2	23.9
17	177	41.3	52.9	105	37.0	70.6	167	36.5	40.3

Примечание. 1-й срок – полные всходы, 2-й – выметывание метелки, 3-й – уборка. То же в табл. 5.

Таблица 5. Влияние удобрений на динамику запасов аммонийного азота в почве под овсом в слое 0–40 см по годам и срокам наблюдения, кг/га

Вариант	2016 г.			2017 г.			2018 г.		
	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок	1-й срок	2-й срок	3-й срок
1	49.0	59.4	38.7	34.8	36.0	38.1	44.9	54.9	67.8
2	63.2	62.3	47.2	36.4	37.3	46.1	50.4	64.4	55.4
3	56.6	50.3	47.8	38.6	38.9	38.9	49.1	62.8	57.4
4	60.1	53.9	53.9	34.0	54.6	36.3	55.7	61.6	70.6
5	64.0	60.7	65.3	31.7	44.1	40.7	62.5	62.0	66.0
6	47.7	51.3	48.4	45.3	51.0	50.3	49.9	69.1	61.4
7	60.3	64.3	57.8	37.4	58.5	44.8	62.9	65.2	59.6
8	56.6	61.7	62.8	34.6	46.5	49.7	51.0	64.8	81.7
9	48.9	52.5	55.5	39.6	44.8	47.6	55.1	52.6	80.3
10	63.9	57.8	52.2	36.3	62.7	47.5	55.9	70.9	51.0
11	69.3	72.2	45.0	35.7	69.7	42.7	84.3	65.1	63.3
12	51.7	57.9	44.4	37.2	38.9	52.2	44.4	53.4	63.7
13	70.7	56.3	51.4	51.2	47.0	46.9	63.6	62.2	59.6
14	71.3	59.8	55.4	45.2	67.1	61.3	85.4	62.9	68.4
15	61.8	52.4	62.1	45.6	69.2	58.4	51.2	68.8	66.0
16	64.2	59.8	41.6	62.6	68.3	66.3	48.4	73.9	64.9
17	75.0	66.6	50.6	36.6	51.6	42.2	46.5	67.4	65.5

Запасы аммонийного азота в фазах роста и развития овса в зависимости от уровня интенсификации применения удобрений изменялись в существенно меньшей мере: в зависимости от фазы вегетации – в 1.3–1.5 раза, уровня интенсификации – в 1.2–1.9 раза. Максимальные величины их запасов достигали 85 кг/га (табл. 5).

Закономерности динамики содержания нитратного и аммонийного азота в почвах под овсом и яровой пшеницы [4] были близкими. В то же время при возделывании яровой пшеницы было показано, что на серых лесных почвах Владимирского ополья, характеризующихся высокой емкостью катионного обмена, аммонийный азот, образующийся в процессе трансформации почвенного азота и внесенный с минеральными удобрениями, активно поглощался ППК. В нитрификации участвовал аммонийный азот, находящийся в жидкой фазе (почвенном растворе). Запасы N-NO₃, формирующиеся в процессе нитрификации и полностью находящиеся в жидкой фазе почвы, участвовали в питании яровой пшеницы азотом и определяли величину урожая и его качество. Непосредственное участие N-NH₄ в питании этой культуры азотом весьма низкое [4]. Это подтверждено и исследованиями [8–9], в которых для почв с высокой емкостью катионного обмена приведены данные о превышении содержания нитратного азота над аммонийным в десятки раз.

В исследовании динамики содержания нитратного азота в почве под овсом была проведена оценка его

образования за вегетацию без учета потерь на денитрификацию и вымывание в более глубокие слои почвы, а также в основных фазах роста и развития культуры [4]. Важно, что перемещающиеся в более глубокие слои почвы нитраты могут быть использованы культурами, т.к. корневые системы, например, овса (табл. 1), проникают до 1-метровой глубины и ниже и потребляют находящуюся там влагу и элементы питания.

Данные об отношении содержания N-NO₃ в слое почвы 0–40 см к содержанию N-NH₄ в водной вытяжке (1 : 1) [4] подтвердили определяющую роль N-NO₃ в питании овса азотом. Они показали, что в среднем для 4-х уровней последствия навоза КРС к фазе всходов это отношение при применении N40P40K40 составляло 44.6, дозы N80P80K80 – 46.5. Это означало, что в 1-м случае доля N-NH₄ в жидкой фазе почвы равнялась 2.2% [1 × 100 : (44.6 + 1)]. Без применения азотных удобрений среднее для 4-х уровней последствия органических удобрений указанное отношение варьировало от 19.4 до 23.8, а доля N-NH₄ в жидкой фазе почвы – от 4.0 до 4.9% (табл. 6).

После уборки овса в условиях достаточного увлажнения при применении доз NPK и 2NPK в 4-х вариантах применения навоза КРС средняя доля N-NH₄ в жидкой фазе почвы варьировала от 4.6 до 4.9%, а без азота N_{aa} – от 6.6 до 8.1%. В этом случае трансформация N-NH₄ в нитратную форму будет продолжаться. Можно констатировать, что питание овса азотом происходило за счет поглощения им нитратного азота.

Таблица 6. Влияние удобрений на отношение содержания N-NO₃ в почве к содержанию N-NH₄ в водной вытяжке 1 : 1 в слое 0–40 см почвы в фазах всходов и уборки овса в 2018 г.

Доза навоза, т/га	0	PK	NPK	2NPK	Среднее для навоза
Всходы					
0	18.7	18.4	49.2	53.6	35.0
40	17.6	20.8	46.4	44.5	32.3
60	18.0	29.2	43.5	44.0	33.7
80	23.4	26.8	39.2	44.0	33.4
Среднее для минеральных удобрений	19.4	23.8	44.6	46.5	
После уборки					
0	11.7	10.4	17.4	16.1	13.9
40	13.7	10.7	24.0	25.0	18.4
60	10.0	12.2	18.9	21.3	15.6
80	21.5	12.1	17.0	20.5	17.8
Среднее для минеральных удобрений	14.2	11.4	19.3	20.7	

Примечание. Отношение содержания N-NO₃ в почве к содержанию N-NH₄ в водной вытяжке 1: 1 в контроле в 1-й срок составило 14.4, после уборки – 15.8.

Общие размеры формирования запасов N-NO₃ в почве под овсом за вегетационный период 2016 г. находили суммированием выноса азота зерном и соломой, пожнивно-корневыми остатками [10, 11] и запасов N-NO₃ в слое почвы 0–40 см после уборки. За этот период они варьировали

от 120 до 199 кг/га, возрастали от применения одинарной и двойной доз NPK (от 127 на фоне последствия известкования до 149 и 183 кг/га), от доз навоза KPC – до 126–152 кг/га, сочетания NPK с последствием доз навоза – до 199 кг/га (табл. 7).

Таблица 7. Размеры формирования запасов N-NO₃ в слое 0–40 см почвы в зависимости от фазы вегетации овса в 2016 г., кг/га

Вариант	Вынос N урожаем		Запасы в фазе уборки	Общие размеры ормирования	Запасы в фазе всходов	Снижение запасов от всходов до выметывания метелки	Вынос N до выметывания метелки	Образование от всходов до выметывания метелки	Образование до выметывания метелки	Образование от выметывания метелки до уборки
	Зерно и солома	Пожнивно-корневые остатки								
1	84.6	16.4	24.6	126	46.8	32.3	43.2	10.9	57.7	68.3
2	86.6	16.8	24.0	127	51.6	353	44.2	8.9	60.5	66.5
3	87.5	16.1	16.3	120	46.5	32.6	44.6	12.0	58.5	61.5
4	101	16.9	30.7	149	101	83.8	51.5	–32.3	101	48.0
5	122	24.9	36.1	183	138	117	62.2	–55.0	138	45.0
6	86.4	15.0	31.6	133	46.9	32.8	44.1	11.3	58.2	74.8
7	85.0	12.7	28.2	126	62.4	47.0	43.4	–3.6	62.4	63.6
8	96.7	17.8	37.0	152	75.7	61.0	49.3	–11.7	75.7	76.3
9	96.9	17.7	26.3	141	56.6	47.5	49.4	1.9	58.5	82.5
10	108	18.8	32.7	160	102	86.2	55.1	–31.1	102	58.0
11	132	29.1	34.6	196	152	128	67.3	–61.2	152	44.0
12	93.5	17.1	36.0	147	59.9	39.7	47.7	8.0	67.9	79.1
13	122	25.3	36.5	184	104	79.8	62.2	–17.6	104	80.0
14	127	27.5	37.5	192	153	132	64.8	–67.6	153	39.0
15	103	18.9	34.8	157	65.5	51.0	52.5	1.5	67.0	90.0
16	101	17.7	33.8	152	99.4	86.8	51.5	–35.3	99.4	52.6
17	123	22.9	52.9	199	177	136	62.7	–73.1	177	22.0

Примечание. Вынос азота до выметывания метелки принят в размере 51% от выноса зерном и соломой овса [2]. То же в табл. 10, 12.

К периоду всходов в условиях 2016 г. запасы $N-NO_3$ в слое почвы 0–40 см в вариантах без азотных удобрений (варианты 1–3) изменялись в пределах 46.5–51.6 кг/га, последствия органических удобрений и их сочетания с фосфорно-калийными – 46.9–75.7, в удобренных азотом се-литры – 99.4–177 кг/га.

Снижение запасов $N-NO_3$ от всходов до выметывания метелки варьировало от 32.3 до 136 кг/га, повышалось с уровнем интенсификации. За этот период до выметывания метелки был рассчитан вынос азота овсом. По данным [2], он составлял 51% от максимального выноса азота урожаем (зерно + солома). В вариантах 1–3 его величина была больше, чем снижение запасов $N-NO_3$ от всходов до выметывания метелки. Это означало, что к этому периоду растения использовали $N-NO_3$, накопившийся ко времени всходов (для варианта 1–32.3 кг/га) и образовавшийся в результате нитрификации в период от всходов до выметывания (43.2–32.3 = 10.9 кг/га). В вариантах с внесением азотных минеральных удобрений размеры выноса азота до выметывания были меньше, чем снижение запасов $N-NO_3$ от всходов до образования метелки. Следовательно, овес поглощал $N-NO_3$, накопившийся до всходов, т.е. дополнительного образования нитратного азота за этот период не отмечено. Образование $N-NO_3$ до выметывания метелки

в этом случае приравнивали к запасам его до всходов. В 2016 г. основная часть запасов $N-NO_3$, образовавшихся до выметывания метелки, была представлена его запасами, сформировавшимися до фазы всходов.

Данные исследования показали, что применение азотных минеральных удобрений резко усиливало нитрификационную активность серых лесных почв в весенний период (до всходов овса). В вариантах 1–3 без азотных удобрений размеры образования $N-NO_3$ до выметывания варьировали от 57.7 до 60.5 кг/га, последствия навоза КРС – от 58.2 до 75.7 кг/га. Они были в 1.7–2.3 раза более низкими, чем от применения азотных минеральных удобрений и сочетания их с последствием навоза КРС (99.4–177 кг/га).

По разнице между общими размерами запасов $N-NO_3$, формируемых за вегетационный период, и образовавшимися до выметывания метелки овса находили размеры образования $N-NO_3$ от выметывания до уборки. В вариантах 1–3 без азотных удобрений, последствия навоза КРС и сочетания его с фосфорно-калийными удобрениями размеры образования нитратного азота до выметывания метелки (57.7–75.7 кг/га) и от выметывания до уборки были сравнительно близкими (61.5–68.3 кг/га). В вариантах с применением азотных удобрений и сочетания их с последствием навоза размеры

Таблица 8. Вынос азота элементами урожая овса (кг/га) и коэффициент использования ими общих запасов $N-NO_3$, образованного за вегетационный период в 2016 г., %

Вариант	Зерно	Зерно + солома	Зерно + солома + ПКО	Накопление азота за вегетацию	КИ ₁	КИ ₂	КИ ₃
	кг/га						
1. Контроль	58.4	84.6	101	126	46.3	67.1	80.1
2. Известь	59.8	86.6	103	127	47.1	68.2	81.1
3. P40K40	61.4	87.5	104	120	51.2	72.9	86.7
4. N40P40K40	74.0	101	118	149	49.7	67.7	79.2
5. N80P80K80	82.4	122	147	183	45.0	66.7	80.3
6. Навоз 40 т/га (Нав40)	62.4	86.4	101	133	46.9	65.0	75.9
7. Нав60	64.7	85.0	97.8	126	51.3	67.5	77.6
8. Нав80	68.3	96.7	114	152	44.9	63.6	75.0
9. Нав40 + P40K40	68.6	96.9	115	141	48.6	68.7	81.6
10. Нав40 + N40P40K40	78.3	108	127	160	48.9	67.5	79.4
11. Нав40 + N80P80K80	85.6	132	161	196	43.7	67.3	82.1
12. Нав60 + P40K40	66.2	93.5	111	147	45.0	63.6	75.5
13. Нав60 + N40P40K40	81.0	122	147	184	44.0	66.3	79.9
14. Нав60 + N80P80K80	83.4	127	150	192	43.4	66.1	78.2
15. Нав80 + P40K40	72.7	103	122	157	46.3	65.6	77.7
16. Нав80 + N40P40K40	72.7	101	119	152	47.8	66.4	78.3
17. Нав80 + N80P80K80	86.7	123	146	199	43.6	61.8	73.4

Примечание. КИ₁ – коэффициент использования общих запасов нитратного азота на вынос азота основной продукцией, КИ₂ – зерном и соломой, КИ₃ – зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (ПКО). То же в табл. 9.

Таблица 9. Влияние удобрений на коэффициенты использования общих запасов нитратного азота, накапливаемых за период вегетации, на вынос азота элементами урожая овса в 2016 г., %

Доза последствия навоза, т/га	Минеральные удобрения				Среднее для навоза	Изменение
	0	РК	НРК	2 НРК		
Коэффициент использования на вынос азота зерном (КИ ₁)						
–	47.1	51.2	49.7	45.0	48.2	–
40	46.9	48.6	48.9	43.7	47.0	–1.2
60	51.3	45.0	44.0	43.4	45.9	–3
80	44.9	46.3	47.8	43.6	45.6	–2.6
Среднее для минеральных удобрений	47.6	47.8	47.6	43.9		
Коэффициент использования на вынос азота зерном и соломой (КИ ₂)						
–	68.2	72.9	67.7	66.7	68.9	–
40	65.0	68.7	67.5	67.3	67.1	–1.8
60	67.5	63.6	66.3	66.1	65.9	–3.0
80	63.6	65.6	66.4	61.8	64.4	–4.5
Среднее для минеральных удобрений	66.1	67.7	67.0	65.5		
Коэффициент использования на вынос азота зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (КИ ₃)						
–	81.1	86.7	79.2	80.3	81.8	–
40	75.9	81.6	79.4	82.1	79.8	–2.0
60	77.6	75.5	79.9	78.2	77.8	–4.0
80	75.0	77.7	78.3	73.4	76.1	–5.7
Среднее для минеральных удобрений	77.4	80.4	79.2	78.5		

Примечание. Коэффициент использования общих запасов N-NO₃ за период вегетации в абсолютном контроле составил на вынос азота зерном 46.3%, зерном и соломой – 67.1, зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками – 80.1%.

образования N-NO₃ от выметывания до уборки были в несколько раз более низкими, особенно при применении двойной дозы НРК.

В табл. 8 и 9 представлены данные выноса азота элементами урожая овса и коэффициенты использования ими общих размеров формируемого за вегетационный период запаса N-NO₃. С повышением уровня интенсификации зерно овса выносило от 58.4 до 86.7 кг азота/га, зерном и соломой – 84.6–123, зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (ПКО) – 97.8–146 кг/га.

Коэффициент использования накапливаемого азота зерном овса варьировал от 43.4 до 51.3, зерном и соломой – 61.8 до 72.9, зерном, соломой и ПКО – от 75.0 до 86.7%. В среднем для 4-х уровней применения навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га) коэффициент использования формируемого за вегетацию азота при применении фосфорно-калийных удобрений составил 47.8, одинарной дозы НРК – 47.6, двойной дозы НРК – 43.9%. Применение одинарной дозы НРК было наиболее эффективным, т.к. оно по сравнению с РК-удобрениями обеспечивало более высокую продуктивность овса (табл. 2). Доза N40P40K40 была наиболее эффективной и по влиянию на коэффициент использования образуемого N-NO₃ на вынос азота зерном

и соломой, зерном, соломой и ПКО. Наименьшие коэффициенты использования формируемых запасов N-NO₃ на вынос азота зерном и соломой (61.8%), зерном, соломой и ПКО (73.4%) установлены при сочетании двойной дозы НРК с последствием навоза КРС 80 т/га. В последнем случае в почве оставалась как большая доля (табл. 9), так и абсолютное количество не связанного биологически N-NO₃ (табл. 4), что предопределяло более высокие потери азота за счет денитрификации и вымывания.

В мае 2017 г. по сравнению с 2016 и 2018 г. температура воздуха была более низкой на 3.6–3.7°C. Это заметно снизило нитрификационную активность серой лесной почвы и уменьшило запасы N-NO₃ в слое почвы 0–40 см в фазе всходов (табл. 4, 9, 10).

Однако от всходов до выметывания метелки происходило дальнейшее образование нитратного азота (от 17.2 до 39.2 кг/га). В итоге до выметывания метелки образование N-NO₃ составило в вариантах опыта 54.2–132 кг/га. При этом в удобренных азотом вариантах в 2017 г. по сравнению с 2016 г. наблюдали более низкое накопление N-NO₃ в 1-й срок (всходы), дополнительное его образование от всходов до выметывания метелки.

Таблица 10. Размеры формирования запасов N-NO₃ в слое 0–40 см почвы в периоды вегетации овса в 2017 г., кг/га

Вариант	Вынос N урожаем		Запасы в фазе уборки	Общие размеры ормирования	Запасы в фазе всходов	Снижение запасов от всходов до выметывания метелки	Вынос N до выметывания метелки	Образование от всходов до выметывания метелки	Образование до выметывания метелки	Образование от выметывания метелки до уборки
	Зерно и солома	Пожнивно-корневые остатки								
1	76.3	15.0	24.6	116	21.0	5.7	38.9	33.2	54.2	61.8
2	77.1	14.1	25.5	117	21.4	6.0	39.3	33.3	54.7	62.3
3	77.4	14.0	31.9	123	25.8	10.8	39.5	28.7	54.5	68.5
4	124	19.3	39.6	183	53.6	34.5	63.2	28.7	82.3	101
5	167	33.9	49.9	251	78.2	46.0	85.2	39.2	117	134
6	86.2	18.2	40.8	145	38.1	19.0	44.0	25.0	63.1	81.9
7	105	17.8	46.9	170	40.7	14.5	53.6	39.1	79.8	90.2
8	110	19.2	53.0	176	49.8	21.7	56.1	34.4	84.2	91.8
9	79.3	17.5	39.5	136	46.0	23.1	40.4	17.3	63.3	72.7
10	148	23.9	51.7	224	65.1	37.6	75.5	37.9	103	121
11	158	29.9	56.8	245	88.1	49.3	80.6	31.3	119	126
12	103	16.5	34.8	154	39.9	20.8	52.5	31.7	71.6	82.4
13	139	25.4	44.3	209	68.7	45.4	70.9	25.5	94.2	115
14	175	41.1	46.9	263	98.6	64.6	89.2	24.6	123	140
15	120	20.0	34.6	175	58.3	36.9	61.2	24.3	82.6	92.4
16	163	33.9	66.6	264	74.0	49.6	83.1	33.5	108	156
17	186	45.3	70.6	302	105	68.1	94.9	26.8	132	170

Во влажном 2017 г. размеры формирования N-NO₃ до выметывания и от выметывания до уборки в соответствующих вариантах опыта были близкими, что соответствовало биологическим особенностям культуры овса. От выметывания до уборки овес поглощает около половины азота от максимального выноса [2]. Это объясняет наиболее высокие урожайность и размеры запасов N-NO₃, формируемых за вегетационный период (табл. 2, 7, 10).

Приведены коэффициенты использования (КИ) запасов N-NO₃, формируемых за вегетацию овса на вынос азота зерном (40.7–54.6%), зерном и соломой (61.6–68.6%) и зерном, соломой и ПКО (71.2–82.1%). В среднем для 4-х уровней применения навоза КРС (0, 40, 60 и 80 т/га) величины КИ₁ были более высокими при использовании Р40К40 и N40Р40К40, а КИ₂ и КИ₃ – при применении обеих доз НРК. В среднем для 4-х уровней применения минеральных удобрений дозы навоза КРС слабее влияли на величину КИ₃. Все же наиболее высокие величины КИ₁, КИ₂ и КИ₃ отмечены в вариантах применения навоза КРС в дозе 60 т/га. Наиболее низкие величины КИ₁ определены при сочетании двойной дозы НРК с последствием навоза КРС 80 т/га (40.7%). Среди систем удобрения, обеспечивших высокую урожайность

культуры, относительно низкие величины КИ₂ и КИ₃ наблюдали и при сочетании азотных удобрений с дозой навоза 80 т/га (61.7–61.6 и 74.6–76.5%) (табл. 11).

В наиболее засушливый 2018 г. при близких средних майских температурах воздуха в 2016 и 2018 гг. (14.3–14.4°C) размеры образования запасов N-NO₃ к фазе всходов (табл. 7, 12) и общие размеры их формирования за вегетационный период при применении полного минерального удобрения и сочетании его с последствием навоза КРС также были близкими).

В 2018 г. общие размеры формирования N-NO₃ за вегетацию в вариантах 1–3 без азотных удобрений были более низкими (92.5–98.3 кг/га), чем в 2016 г. (120–127 кг/га). Это было связано с уменьшением доли соломы в урожае 2018 г. В 2016 и 2018 г. размеры накопления N-NO₃ до фазы выметывания метелки и от выметывания до уборки в вариантах 1–3 и применения органических и сочетания их с РК-удобрениями были также сравнительно близкими, а в вариантах с НРК и сочетанием его с навозом от выметывания до уборки они снижались в несколько раз. Следовательно, азотные удобрения способствовали активизации нитрификационных процессов в период до всходов

Таблица 11. Влияние удобрений на коэффициенты использования общих запасов нитратного азота, накопленных за период вегетации, на вынос азота элементами урожая овса в 2017 г., %

Доза последействия навоза, т/га	Минеральные удобрения				Среднее для навоза	Изменение
	0	PK	NPK	2 NPK		
Коэффициент использования на вынос азота зерном (КИ₁)						
–	53.8	51.5	54.6	49.8	52.4	–
40	45.5	45.4	52.7	50.6	48.6	–3.8
60	48.6	56.3	52.2	45.2	50.6	–1.8
80	48.6	56.2	45.8	40.7	47.8	–4.6
Среднее для минеральных удобрений	49.1	52.4	51.3	46.6		
Коэффициент использования на вынос азота зерном и соломой (КИ₂)						
–	65.9	62.9	67.8	66.5	65.8	–
40	59.4	58.3	66.1	64.5	62.1	–3.7
60	61.8	66.9	66.5	66.5	65.4	–0.4
80	62.5	68.6	61.7	61.6	63.6	–2.2
Среднее для минеральных удобрений	62.4	64.2	65.5	64.8		
Коэффициент использования на вынос азота зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (КИ₃)						
–	78.0	74.3	78.1	80.1	77.6	–
40	71.7	71.2	76.8	76.7	74.1	–3.5
60	72.4	77.9	78.5	82.1	77.7	0.1
80	73.3	80.0	74.6	76.5	76.1	–1.5
Среднее для минеральных удобрений	73.8	75.8	77.0	78.8		

Примечание. Коэффициент использования общих размеров накопления N-NO₃ за период вегетации в абсолютном контроле составлял на вынос азота зерном 52.8%, зерном и соломой – 65.8, зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками – 78.7%.

Таблица 12. Размеры формирования запасов N-NO₃ в слое 0–40 см почвы в периоды вегетации овса в 2018 г., кг/га

Вариант	Вынос N урожаем		Запасы в фазе уборки	Общие размеры ормирания	Запасы в фазе всходов	Снижение запасов от всходов до выметывания метелки	Вынос N до выметывания метелки	Образование от всходов до выметывания метелки	Образование до выметывания метелки	Образование от выметывания метелки до уборки
	Зерно и солома	Пожнивно-корневые остатки								
1	70.0	8.7	18.6	97.3	39.4	31.2	35.7	4.5	43.9	53.4
2	68.1	8.0	16.4	92.5	37.0	31.3	34.7	3.4	40.4	52.1
3	73.5	8.0	16.6	98.3	37.3	30.4	37.5	7.1	44.4	53.9
4	98.7	15.3	27.3	141	114	97.3	50.3	–47.0	114	27.0
5	117	21.8	33.9	173	145	114	59.7	–54.3	145	28.0
6	90.2	14.7	19.1	124	37.5	30.5	46.0	15.5	53.0	71.0
7	91,8	17.2	14.0	123	44.1	36.3	46.8	10.5	54.6	68.4
8	101	18.4	35.9	155	48.1	35.4	51.5	16.1	64.2	90.8
9	84.8	10.0	20.0	115	53.6	44.5	43.2	–1.3	53.6	61.4
10	109	15.7	23.5	148	110	93.4	55.6	–37.3	110	38.0
11	125	25.2	39.6	190	137	113	63.8	–49.2	137	53.0
12	88.9	12.7	21.6	123	54.2	44.2	45.3	1.1	55.3	67.7
13	114	17.4	20.2	152	129	115	58.1	–56.9	129	23.0
14	134	25.5	33.6	191	154	120	68.3	–51.7	154	37.0
15	99.3	14.9	26.9	141	66.1	50.9	50.6	–0.3	66.1	74.9
16	120	18.9	23.9	163	124	101	61.2	–39.8	124	39.0
17	138	26.5	40.3	205	167	131	70.4	–60.6	167	36.0

Таблица 13. Влияние удобрений на коэффициенты использования общих запасов нитратного азота, накопленных за период вегетации, на вынос азота элементами урожая овса в 2018 г., %

Доза последствия навоза, т/га	Минеральные удобрения				Среднее для навоза	Изменение
	0	PK	NPK	2 NPK		
Коэффициент использования на вынос азота зерном (КИ ₁)						
–	64.9	66.6	59.1	55.2	61.4	–
40	60.9	65.0	63.2	52.6	60.4	–1.0
60	60.6	62.0	63.6	56.5	60.7	–0.7
80	53.1	59.9	62.0	54.2	57.3	–4.1
Среднее для минеральных удобрений	59.9	63.4	62.0	54.6		
Коэффициент использования на вынос азота зерном и соломой (КИ ₂)						
–	73.6	74.8	70.0	67.6	71.5	–
40	72.7	73.7	73.6	65.8	71.4	–0.1
60	74.6	72.2	75.0	70.2	73.0	1.5
80	65.2	70.4	73.6	67.3	69.1	–2.4
Среднее для минеральных удобрений	71.5	72.8	73.0	67.7		
Коэффициент использования на вынос азота зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками (КИ ₃)						
–	82.3	82.9	80.1	80.4	81.4	–
40	84.7	82.4	84.4	78.9	82.6	1.2
60	88.6	82.9	86.2	83.8	85.4	4.0
80	76.8	80.8	85.3	80.0	80.7	–0.7
Среднее для минеральных удобрений	83.1	82.2	84.0	80.8		

Примечание. Коэффициент использования общих размеров накопления N-NO₃ за период вегетации в абсолютном контроле составлял на вынос азота зерном 63.0%, зерном и соломой – 71.9 зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками – 80.9%.

овса. Дефицит влаги в период от всходов до выметывания метелки резко снижал эти процессы.

В связи с резким уменьшением в урожае овса доли соломы величина КИ₁ в 2018 г. резко возросла (сравнение данных табл. 9, 11, 13).

В среднем для 4-х уровней последствия навоза наиболее высокие величины КИ₂ и КИ₃ наблюдали при применении N40P40K40, а наиболее низкие – при сочетании N80P80K80 с последствием дозы навоза 80 т/га. В среднем для 4-х уровней применения минеральных удобрений наиболее высокие коэффициенты использования N-NO₃, образуемого за вегетацию овса элементами урожая установлены для последствия навоза 60 т/га.

Анализ данных табл. 7, 10, 12 показал, что в годы исследования в вариантах 1–3 без азотных удобрений, применения навоза KPC и его сочетания с P40K40, а также в 2017 г. во всех вариантах, в том числе и при применении азотных удобрений, отношение образовавшегося N-NO₃ в период до выметывания метелки к величине выноса азота культурой до этой фазы менялось преимущественно от 1.3 до 1.4 в 2016 и 2017 г. и от 1.15 до 1.3 в 2018 г. Очевидно, для указанных вариантов при складывающихся погодных условиях использование нитратного азота было оптимальным. Для 2016 и 2018 г. при применении азотных

минеральных удобрений и их сочетания с последствием навоза (табл. 7, 12) это отношение возрастало до 2-х раз и больше. Следовательно, величину урожая этой культуры лимитировали не запасы N-NO₃, а недостаток влаги в фазах выхода в трубку и выметывания метелки из-за снижения синтетических процессов и роста интенсивности дыхания при высоких температурах.

Удобрения и погодные условия, влияющие на трансформацию азота почвы и внесенных удобрений, определяли и качество зерна овса, важнейшим показателем которого является содержание в нем общего азота и, соответственно, сырого белка (табл. 14).

Различия средних температур в мае в условиях 2016 и 2017 г. слабо влияли на содержание общего азота в зерне в вариантах без применения минеральных удобрений и внесения фосфорно-калийных. В этих вариантах средние величины этого параметра при 4-х уровнях применения органических удобрений были близкими в оба года (1.61 и 1.62%). Но при благоприятных условиях увлажнения в 2017 г. в середине вегетации овса и пополнения запасов N-NO₃ от всходов до выметывания метелки (табл. 10) привело к более высокому росту содержания азота в зерне от действия одинарной и двойной доз полного минерального удобрения. Если в 2016 г. его содержание

Таблица 14. Влияние удобрений на содержание общего азота в зерне овса за годы исследования, %

Доза последействия навоза, т/га	Минеральные удобрения				Среднее для навоза	Изменение
	0	PK	NPK	2 NPK		
2016 г., ГТК = 1.28						
–	1.59	1.57	1.69	1.81	1.66	–
40	1.60	1.65	1.74	1.83	1.70	0.04
60	1.63	1.58	1.76	1.77	1.68	0.02
80	1.63	1.69	1.59	1.74	1.66	0.00
Среднее для минеральных удобрений	1.61	1.62	1.70	1.79		
2017 г., ГТК = 1.79						
–	1.54	1.54	1.65	2.01	1.68	–
40	1.59	1.53	1.88	1.89	1.72	0.04
60	1.67	1.70	1.80	1.89	1.76	0.08
80	1.65	1.72	1.93	1.96	1.82	0.14
Среднее для минеральных удобрений	1.61	1.62	1.82	1.94		
2018 г., ГТК = 0.79						
–	1.80	1.72	1.76	2.01	1.82	–
40	1.85	1.83	1.91	1.97	1.89	0.07
60	1.87	1.84	1.97	2.14	1.96	0.14
80	1.90	1.88	1.96	2.19	1.98	0.16
Среднее для минеральных удобрений	1.86	1.82	1.90	2.08		

Примечание. Содержание азота в зерне овса в контроле в 2016 г. было равно 1.60, в 2017 г. – 1.56, 2018 г. – 1.75%.

по сравнению с последствием известкования при применении одинарной и двойной доз NPK возрасало от 1.61 до 1.70 и 1.79%, то в 2017 г. – с 1.61 до 1.82 и 1.94% соответственно. В более благоприятном 2017 г. наблюдали и более высокий эффект от последствия органических удобрений. Очевидно, оптимальное увлажнение в 2017 г. обеспечивало повышение как синтетических процессов в растениях и их активный рост, так и благоприятные условия для нитрификации. Более засушливые условия 2018 г. по сравнению с 2016 г. благоприятствовали получению зерна овса с более высоким содержанием азота (сырого белка) как в вариантах без минеральных азотных удобрений, так и при применении полного минерального удобрения, особенно в двойной дозе. В эти годы установлен и высокий эффект последствия органических удобрений, особенно в дозах навоз 60 и 80 т/га.

ВЫВОДЫ

1. В длительном полевом опыте на серых лесных почвах Владимирского ополья изучено влияние действия минеральных удобрений и последствия навоза КРС, их взаимодействия на урожайность овса, идущего 2-й культурой после занятого пара (однолетние травы), и динамику содержания подвижных форм азота в почве при различных погодных условиях. Установлено, что основное влияние на повышение урожайности овса оказывало применение полного

минерального удобрения. Более слабое, но достоверное влияние оказало последствие навоза КРС и их взаимодействие. За 3 года самостоятельного влияния фосфорно-калийных удобрений на урожайность культуры не наблюдали. Повышающее урожайность овса влияние NPK и навоза обусловлена преимущественно запасами N-NO₃, накапливаемого в слое почвы 0–40 см до всходов овса. Между последними и урожайностью овса выявлена высокая степень взаимосвязи, наиболее тесная по квадратичной и степенной зависимостям.

2. Условия увлажнения почвы в течение вегетационного периода овса, температура воздуха в мае и применение азотных минеральных удобрений оказали определяющее влияние на динамику содержания N-NO₃ в почве. Относительно равномерное выпадение осадков в течение вегетационного периода обеспечивало процессы нитрификации до всходов, от всходов до выметывания метелки и от выметывания до уборки овса. Применение аммиачной селитры способствовало более активным процессам нитрификации до всходов овса. Они возрастали с повышением температуры в мае. Дефицит влаги в конце июня и начале июля (трубкавание и выметывание метелки) приводил к практически полному прекращению образования в почве нитратного азота. Выпадающие в конце вегетации осадки обеспечивали возобновление процессов образования нитратов. В вариантах

последствия известкования и навоза КРС, сочетания его с фосфорно-калийными удобрениями до выметывания овса и от выметывания до уборки накапливалось близкое количество N-NO₃ во все годы исследования. Такое же накопление N-NO₃ наблюдали в условиях влажного лета и пониженных температур воздуха в мае и при применении азотных удобрений, что обеспечивало наиболее высокую урожайность овса. При более высоких температурах мая наибольшее количество N-NO₃ в удобренных аммиачной селитрой вариантах накапливалось до выметывания метелки и преимущественно до всходов; по сравнению с этим периодом образование N-NO₃ от выметывания до уборки снижалось в несколько раз.

3. В благоприятных условиях увлажнения установлено, что отношение N-NO₃, образуемого до фазы выметывания метелки, к выносу им азота за тот же период составляло 1.3–1.4. Это обеспечивало высокие урожайность культуры и качество зерна. Близкие величины указанного отношения установлены во все годы исследования в вариантах абсолютного контроля, фона известкования и внесения P40K40, при последствии навоза КРС и сочетания его с P40K40. В удобренных азотом вариантах в составе полного минерального удобрения при дефиците влаги в фазах выхода в трубку и выметывания метелки отношение образуемого до выметывания метелки нитратного азота к выносу азота овсом резко возрастало до 2.0 и более, и было обусловлено снижением синтетических процессов и повышением интенсивности дыхания. Продуктивность культуры была меньше потенциально возможной, эквивалентной размерам образовавшихся нитратов в период до всходов (выметывания метелки) овса.

4. Определены коэффициенты использования сформированного за вегетацию запаса N-NO₃ на вынос азота зерном, зерном и соломой, зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками. Они были более высокими при применении P40K40 и N40P40K40. Однако полное минеральное удобрение N40P40K40 было наиболее окупаемым прибавкой и имело главное значение в повышении урожайности культуры, а одни фосфорно-калийные удобрения были малоэффективными. Минимальные коэффициенты использования образованного за вегетацию N-NO₃ на вынос азота элементами урожая наблюдали при сочетании N80P80K80 с последствием навоза КРС 80 т/га, в том числе для выноса азота зерном, соломой и пожнивно-корневыми остатками. В этом случае после уборки формировались наиболее высокие запасы биологически несвязанных нитратов, что предопределяло более высокие их потери за счет денитрификации и вымывания. Во все годы исследования наиболее оптимальным было применение навоза КРС в дозе 60 т/га.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия / Под ред. Б. А. Ягодина. М.: Мир, 2003. 584 с.
2. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П. Агрохимия: Клас. Универ. учеб-к для стран СНГ / Под ред. В. Г. Минеева. М.: ВНИИА, 2017. 854 с.
3. Окорков В.В. К вопросу о равноценности питания растений нитратным и аммонийным азотом // Агрохимия. 2021. № 12. С. 3–14. <https://doi.org/10.31857/S00021881221120103>
4. Окорков В.В., Окоркова Л.А. Удобрения и питание азотом яровой пшеницы на серых лесных почвах // Агрохим. вестн.. 2023. № 1. С. 35–42. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-1-006>
5. Шукин Н.Н., Окорков В.В. Влияние действия свежего куриного помета на плодородие дерново-подзолистой почвы, урожайность яровой пшеницы и содержание в зерне сырого протеина и нитратов // Актуальные проблемы почвоведения, агрохимии и земледелия. Сб. докл. XVII Международ. научн.-практ. конф. Курского отд-я МОО “Общество почвоведов им. В. В. Докучаева”, посвящ. 40-летию со дня основания лаборатории агропочвоведения ВНИИЗиЗПЭ. Курск, 27–29 апреля 2022 г. Курск: Курский ФАНЦ, 2022. С. 305–311. <https://doi.org/10.18411/978-5-907407-63-3-315>
6. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Серые лесные почвы Владимирского ополья и эффективность использования их ресурсного потенциала. Иваново: ПресСто, 2021. 188 с. <https://doi.org/10.51961/9785604637470>
7. Ягодин Б.А., Дерюгин И.П., Жуков Ю.П. Практикум по агрохимии / Под ред. Б. А. Ягодина. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
8. Клостер Н.И., Азаров В.Б., Лоткова В.В., Гребенникова Т.В., Визирская М.М. Эффективность серосодержащих удобрений на озимой пшенице в Центрально-Черноземной зоне России // Агрохим. вестн. 2023. № 1. С. 19–22. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-1-003>
9. Салина Ю.Б., Шантасов А.М., Горленко М.В., Костина Н.В. Изучение эффективности применения биоугля для повышения плодородия почв Астраханской области // Агрохим. вестн. 2023. № 1. С. 50–55. <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2023-1-008>
10. Попов П.Д., Хохлов В.И., Егоров А.А. Органические удобрения: Справ-к. М.: Агропромиздат, 1988. 207 с.
11. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П. Система удобрения / Под ред. В. Н. Ефимова. М.: КолосС, 2003. 320 с.

Influence of the Dynamics of Stocks of Mobile Forms of Nitrogen in Gray Forest Soil and the Use of Fertilizers on the Yield of Oats under Various Weather Conditions

V. V. Okorkov^{a, #}, L. A. Okorkova^a, V. I. Shchukin^a

*^aVerkhnevolzhsky Federal Agrarian Scientific Center,
d. Novaya, Vladimir region, Suzdal district 601261, Russia*

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

In a long-term field experiment on the gray forest soils of the Vladimir opole, the influence of mineral fertilizers and the aftereffect of cattle manure, their interaction on the yield of oats going 2nd crop after the occupied steam, and the dynamics of mobile nitrogen forms under various weather conditions were studied. The determining role of ammonium nitrate nitrogen in the composition of NPK and the aftereffect of cattle manure in increasing the yield of oats has been established. The results of the study indicated that the culture was fed mainly with the nitrate form of nitrogen. A high degree of correlation was revealed between the reserves of N-NO₃ in the soil layer of 0–40 cm, formed as a result of the transformation of soil nitrogen and fertilizers to oat seedlings, and its yield ($0.981 > R^2 > 0.787$). The influence of fertilizers and weather conditions on the formation of nitrate nitrogen reserves in the phases of growth and development of oats and their dynamics, ensuring the achievement of high grain yield and quality, are determined. Depending on weather conditions and fertilizer systems, the coefficients of using N-NO₃ formed during the growing season of oats for nitrogen removal by grain (40.7–66.6%), grain and straw (58.3–75.0%), grain, straw and crop-root residues (71.2–88.6%) are calculated. In nitrogen-fertilized variants, on average, at 4 levels of manure aftereffect (0, 40, 60 and 80 t/ha), they were highest when using a single dose of N40P40K40, when using a double dose of N80P80K80, they significantly decreased. On average, at 4 levels of mineral fertilizer application (0, P40K40, N40P40K40 and N80P80K80), the utilization coefficients of N-NO₃ formed during the growing season with the aftereffect of manure of 60 t/ha were maximum. When N80P80K80 is combined with the aftereffect of organic fertilizers of 80 t/ha, the highest losses of N-NO₃ due to denitrification and leaching are possible.

Keywords: gray forest soils, Vladimir opole, oats, fertilizers, yield, nitrate and ammonium nitrogen, weather conditions, crop elements, utilization factor N-NO₃.

УДК 634.11:631.452:631.559

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИЕМОВ БИОЛОГИЗАЦИИ АГРОЦЕНОЗА ЯБЛОНИ (*Malus domestica* Borkh.) НА ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТЕНИЙ[§]

© 2024 г. О. Е. Клименко^{1,*}, А. И. Сотник¹, А. И. Попов¹¹Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН
298648 Ялта, п.г.т. Никита, спуск Никитский, 52, Республика Крым, Россия

*E-mail: olga.gnbs@mail.ru

Исследовано влияние приемов биологизации агроценоза плодового сада, включающих задернение почвы злаково-бобовыми смесями многолетних трав в сочетании с внесением биоудобрений различного спектра действия, на плодородие почвы и продуктивность яблони (*Malus domestica* Borkh.). Исследование проводили в двухфакторном многолетнем полевом опыте на луговых почвах долины р. Салгир (Республика Крым). Выявлено, что биологизация агроценоза яблони способствовала обогащению почвы органическим веществом, повышала содержание его активных компонентов, приводила к накоплению подвижных форм фосфора и калия при некотором снижении содержания нитратного азота в почве. При этом увеличивалась концентрация элементов питания в листьях яблони, в том числе азота. Все это способствовало увеличению урожая плодов. Выявлены количественные взаимосвязи между показателями плодородия почвы и продуктивностью яблони. Полученные зависимости позволили построить модель продуктивности яблони сорта Голден Делишес при биологизации ее агроценоза. Наиболее эффективным сочетанием изученных приемов биологизации признано применение задернения почвы злаково-бобовой смесью 3 (СТ3) с бактеризацией корневой системы яблони азотфиксирующим штаммом (АФ).

Ключевые слова: агроценоз, яблоня, биологизация, плодородие почвы, минеральное питание, продуктивность.

DOI: 10.31857/S0002188124020027

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация сельскохозяйственного производства нередко приводит к деградации почв и загрязнению природной среды. В садоводстве степень деградации почв при интенсификации усугубляется длительной монокультурой со значительными потерями гумуса, уплотнением и развитием эрозии [1–3].

Одним из путей преодоления данных проблем в садоводстве является биологизация интенсификационных процессов [4–5], которая применительно к садовому агроценозу направлена на преимущественное использование биологических, а не химических и технических факторов. К таким процессам относится повышение содержания органического вещества, которое достигается путем

посева сидератов и многолетних трав, использования всех растительных остатков в садовом агроценозе. Элементы данной системы, а также систему органического производства плодов в садоводстве разрабатывают в различных исследованиях [6–9].

Как элемент биологизации выступает снижение доз минеральных удобрений за счет применения биопрепаратов, созданных на основе активных штаммов микроорганизмов. Они обогащают почву азотом за счет азотфиксации, способствуют мобилизации слаборастворимых фосфатов и оксидов калия, выделяют гумусоподобные вещества, улучшают рост, защищают растение от патогенов, повышают его иммунитет [10, 11].

Ассоциированные с растением микроорганизмы используют для фиксации азота энергию, содержащуюся в органическом веществе почвы, в прижизненных выделениях автотрофов или свежем органическом веществе, поступающем в почву с растительными остатками. При использовании задернения почвы для обогащения ее органическим веществом, важно исследовать применение ассоциативных микроорганизмов на его фоне

[§]Работа выполнена в рамках Государственного контракта FNNS-2022-0005 “Принципы и технологии создания экологически ориентированных, ресурсо- и почвосберегающих высокопродуктивных агроэкосистем (плодовых насаждений) для почвенно-климатических условий Крыма и юга России”.

на плодородие почвы и продуктивность плодовых растений. Данное направление остается мало исследованным [12, 13].

Известно, что генотипы имеют разную отзывчивость на инокуляцию, что зависит от условий возделывания, а также от метаболической активности их корневой системы [14]. Поэтому необходимо выявлять наиболее эффективные взаимодействия, а также создавать оптимальные условия для взаимодействия бактериального штамма и сорта растения [15, 16]. Для большинства сортов яблони такие исследования не проводили. Цель работы – оценка влияния задержания междурядий сада различными злаково-бобовыми смесями и применения биопрепаратов на плодородие почвы, продуктивность и минеральное питание яблони сорта Голден Делишес для выбора наиболее эффективного сочетания этих приемов биологизации.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели на протяжении 2019–2021 гг. проводили исследования в многолетнем двухфакторном полевом опыте в долине р. Салгир (с. Маленькое Симферопольского р-на, Республика Крым, 45°04'40"N, 34°00'40"E). Опыт был заложен в 2017 г. в саду яблони 2000 г. посадки. Сорт яблони Голден Делишес, подвой М 9, схема посадки 4 × 1.5 м. Сад карликовый с элементами голландской технологии. Схема опыта приведена в табл. 1. Площадь опыта – 0.16 га.

Первый фактор опыта – задержание сада осуществляли путем посева злаково-бобовых смесей многолетних трав с постоянным их скашиванием 3–4 раза за сезон по мере отрастания на 30–40 см и оставлением растительных остатков на месте в виде мульчи. Травы высевали ручной сеялкой Listok ЛЕ09005. Норма высева семян 18–21 кг/га. Контролем служило естественное задержание (ЕЗ) сеgetальной растительностью с регулярным скашиванием травостоя.

Вторым фактором в опыте были биопрепараты (БП) как биоудобрения и стимуляторы роста: Азотфиксатор (АФ) на основе азотфиксирующего эффективного штамма, обладающего также

ростостимулирующими свойствами и Бактериальный комплекс (БК), включавший 3 препарата различного спектра действия: азотфиксатор, фосфатмобилизатор и биопротектор. Препараты были предоставлены лабораторией сельскохозяйственной микробиологии НИИ сельского хозяйства Крыма (<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/507484/>). БП вносили весной после цветения яблони в дозе 6 л/га с фертигацией (титр АФ – 5×10^8 КОЕ/мл, титр БК – $(1.01–1.08) \times 10^8$ КОЕ/мл). Контроль – без применения БП.

Закладку и проведение опытов осуществляли согласно методике полевого опыта [17]. Число деревьев на учетной делянке – 3–5 экз. Размещение вариантов рендомизированное. Повторность опыта трехкратная. Учеты и наблюдения за растениями в опыте проводили по методике сортоизучения плодовых культур [18]. В течение вегетационного периода учитывали биомассу скошенного травостоя в вариантах опыта методом пробных площадок [19].

Сад орошали капельным поливом, влажность поддерживали на уровне 80% НВ на расчетной глубине увлажнения 80 см. Агротехника общепринятая для зоны степного садоводства. В период исследования механические обработки почвы в саду не проводили, минеральные удобрения не вносили.

Почва опытного участка – аллювиальная луговая карбонатная остепненная сверхмощная слабогумусированная средне- и тяжелосуглинистая на слоистом аллювии современных речных долин (по классификации 1977 г.). Перед закладкой опыта почва имела следующие показатели: рН_{Н₂О} 7.9–8.0, содержала 9–13% общих карбонатов, 2.4–3.3% гумуса, нитратного азота – 5–10, подвижного фосфора – 32–35 и обменного калия – 309–401 мг/кг [20].

Метеоусловия периода исследования значительно менялись по годам. Например, среднегодовая температура воздуха в годы исследования была выше средней многолетней (10.5°C) на 0.5–1.4°C. Самым теплым был 2020 г. В этом же году была самая низкая абсолютная минимальная температура –20.1°C, а также температура позднего весеннего заморозка 5 апреля составила –5.1°C, что отрицательно сказалось на урожае яблони в 2020 г.

Таблица 1. Схема многолетнего двухфакторного полевого опыта биологизации агроценоза яблони

Вариант	1-й фактор – задержание	2-й фактор – биопрепараты (БП)		
		контроль (без БП)	АФ	БК
ЕЗ	Естественное зарастание (контроль)	+	+	+
СТ2	Двухкомпонентная злаково-бобовая смесь 2	+	+	+
СТ3	Двухкомпонентная злаково-бобовая смесь 3	+	+	+
СТ4	Пятикомпонентная злаково-бобовая смесь 4	+	+	+

Примечание. Обозначения вариантов те же в табл. 2–5.

Сумма осадков за год превышала среднюю многолетнюю норму (495 мм) во все годы исследования и изменялась от 539 до 1020 мм осадков. Максимальное их количество выпало в 2021 г., из них в вегетационный период – 764 мм (75% годовой нормы). В 2-х годах из 3-х, когда проводили исследования, 2 раза за вегетацию выпадал град: в 2019 г. 7 июня и 16 июля, в 2021 г. 16 и 29 мая, что значительно повредило листовой аппарат, а также завязи и плоды яблони.

Отбор образцов почвы для анализа проводили ежегодно в конце июля в слое 0–60 см в области ризосферы растений. Подвижные формы фосфора и обменного калия определяли модифицированным методом Мачигина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26205–91): фосфор – спектрофотометрическим методом на приборе В-1100 (“Shanghai Marada Instruments Co., Ltd”, Шанхай), калий – методом пламенной фотометрии на приборе BWB-XP (Великобритания); нитратный азот – потенциометрическим методом (ГОСТ 26951–86) на иономере И-160М (ООО “Измерительная техника”, Россия), валовое содержание почвенного органического вещества ($C_{\text{орг}}$) – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91), активный углерод ($C_{\text{акт}}$) – модифицированным методом Блейра [19]. Групповой состав органического вещества определяли ускоренным методом Кононовой–Бельчиковой [21], тип гумуса оценивали согласно показателям гумусового состояния почв [22].

Листья яблони для анализа отбирали со средней части однолетних побегов из середины кроны по периметру дерева в фазе окончания интенсивного роста побегов (начало августа)

в трехкратной повторности по 100 листьев. Образцы сырой биомассы трав отбирали перед кошением в апреле в трехкратной повторности. Определение содержания элементов питания в листьях яблони и образцах трав из одной навески проводили после мокрого озоления смесью серной кислоты и пероксида водорода [23]. В фильтрате определяли азот (ГОСТ 13496.4–93) методом Кьельдаля на анализаторе азота UDK 139 VELP (Италия), фосфор – молибденово-ванадатным методом по ГОСТ 26657–97, калий и кальций – методом пламенной фотометрии на приборе BWB-XP (Великобритания).

Статистическую обработку результатов выполняли методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов [17], используя пакет программ Statistica 07. Приведены средние (M) с доверительным интервалом $\pm 95.00\%$, коэффициенты парной корреляции (r), наименьшая существенная разница (HCP) при 95%-ном доверительном уровне ($t \leq 0.05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основным источником повышения плодородия почв при биологизации и в отсутствие минеральных и органических удобрений служила биомасса трав, которая при разложении и гумификации в почве способствовала повышению содержания элементов минерального питания и гумуса. Установлено, что в среднем за 3 года опыта сухая надземная биомасса растительных остатков в контроле с ЕЗ была невысокой – 0.86 кг/м^2 (рис. 1).

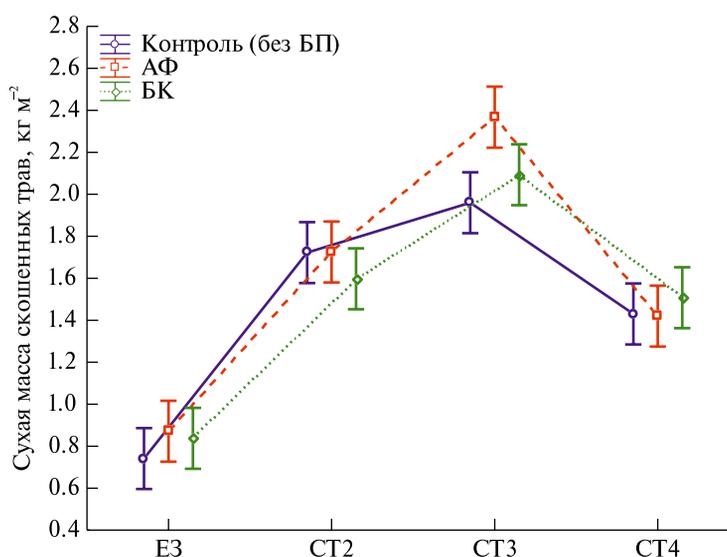


Рис. 1. Сухая биомасса скошенных трав в опыте (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.). Вертикальные отрезки – доверительный интервал $\pm 95.00\%$ при $p \leq 0.05$. То же на рис. 3 и 5.

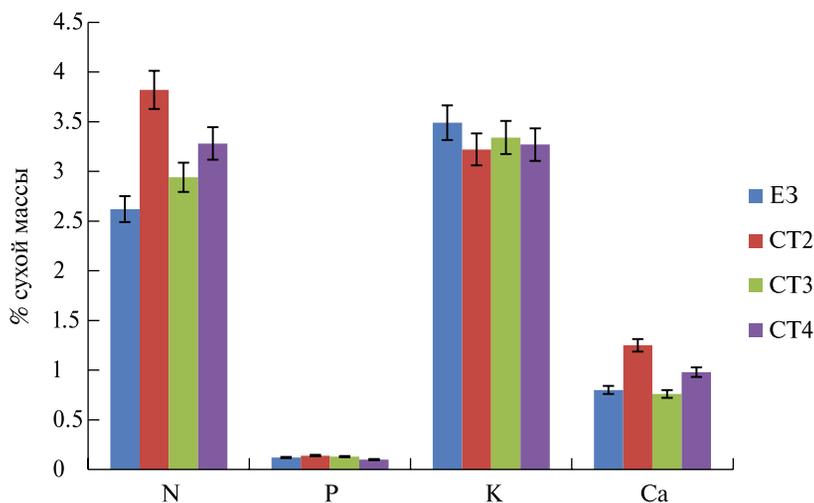


Рис. 2. Содержание элементов питания в надземной массе трав перед их скашиванием (2020–2021 гг.). Вертикальные отрезки – стандартная ошибка среднего.

Биомасса сеяных трав в опыте была в 2–3 раза и существенно больше, чем в варианте ЕЗ, и достигала в среднем за 3 года 1.70 (вариант СТ2) и 2.99 (вариант СТ3) кг/м². БП мало влияли на биомассу скошенных трав в большинстве вариантов задержания и только в варианте СТ3 + АФ существенно увеличивалась на 0.54 кг/м² (22%) по отношению к СТ3К, что, вероятно, определялось ростстимулирующим действием этого препарата.

Для оценки влияния состава трав на содержание в них элементов минерального питания, было проведено определение основных элементов питания, которые травы накапливали в зеленой массе перед кошением (рис. 2).

Результаты показали, что в сеgetальной растительности (ЕЗ) было достаточно много N и K и незначительное количество P и Ca. Наибольшее количество элементов питания было обнаружено в смеси трав варианта СТ2, вероятно, благодаря присутствию большой доли люцерны, которая отличается высоким содержанием данных элементов [30]. Наибольшее накопление азота в смеси СТ2 по сравнению с ЕЗ и другими смесями определяло большой вынос его из почвы и значительное снижение содержания нитратного азота в почве при задержании этой смесью (табл. 2).

Содержание калия во всех смесях сеяных трав было меньше, чем в сеgetальной растительности, но существенных различий с ЕЗ не выявлено. В варианте смеси СТ4 содержание N, K и Ca также было достаточно высоким. Близким минеральным составом большинства элементов с ЕЗ отличалась смесь СТ3 и только содержание N и P в ней было несколько больше, чем в смеси трав при ЕЗ.

При разработке новых приемов агротехники важно знать, как они влияют на плодородие почвы, с которым напрямую связаны состояние и продуктивность плодовых растений. В опыте установлено, что приемы биологизации влияли на содержание органического углерода ($C_{орг}$) и подвижных форм основных элементов питания в почве. По ЕЗ содержание $C_{орг}$ в почве было довольно значительным (рис. 3).

Смеси трав мало влияли на его количество и только в варианте СТ4 наметилась тенденция к увеличению $C_{орг}$ на 0.09% в среднем за 3 года. Применение БП стимулировало образование $C_{орг}$ в почве, наиболее значительно и достоверно под действием АФ на фоне трав на 0.25–0.43%, максимально на смеси СТ3. Такое увеличение, вероятно, определялось составом и количеством растительных остатков этой смеси.

Поступление в почву свежего органического вещества способствовало, прежде всего, изменению содержания активного (подвижного) углерода ($C_{акт}$) в почве, который характеризует наличие мортмассы, состоящей в основном из микробной биомассы, корневых экссудатов, аминокислот, белков, полисахаридов и др. [24–26]. Ранее отмечено, что при поступлении в почву свежих органических остатков с сеянными травами увеличивается как абсолютное содержание активного органического вещества, так и его относительное количество в общем содержании углерода [27–29]. Исследования показали, что содержание активного углерода ($C_{акт}$) в данной почве было достаточно высоким как в контроле, так и в вариантах опыта и связано с количеством $C_{орг}$ ($r = 0.63$) (табл. 3).

Таблица 2. Содержание подвижных форм НРК в почве при биологизации сада яблони, среднее за 3 года опыта (2019–2021 гг.), мг/кг

Вариант	Контроль	АФ	БК	Среднее фактора задержания
N-NO₃				
ЕЗ	21.5	17.1	17.2	18.6
СТ2	12.8	12.3	13.1	12.7
СТ3	16.0	18.6	18.9	17.8
СТ4	19.3	20.6	14.3	18.1
Среднее фактора БП $F_{\phi} \leq F_{05}$, HCP_{05} частных средних = 2.9	16.7	16.6	15.4	$HCP_{05} = 1.7$
P₂O₅				
ЕЗ	61.9	65.7	69.3	65.7
СТ2	63.6	65.0	76.8	68.5
СТ3	68.3	69.0	70.0	69.1
СТ4	51.8	64.4	55.7	57.3
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 4.1$, HCP_{05} частных средних = 5.8	61.4	66.1	68.0	$HCP_{05} = 3.3$
K₂O				
ЕЗ	390	387	312	363
СТ2	381	399	419	400
СТ3	386	396	470	417
СТ4	353	451	368	391
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 15$, HCP_{05} частных средних = 22	378	408	392	$HCP_{05} = 13$

Влияние БП как фактора было несущественным ($F_{\phi} < F_{05}$), создавалась лишь тенденция к увеличению $C_{акт}$ под их действием на 44–50 мг/кг (6%) от контроля. При задержании существенное влияние на содержание $C_{акт}$ оказали смеси СТ3 и СТ4,

что превышало контроль на 7–9%. Из частных средних существенное и примерно равное увеличение $C_{акт}$ вызвали сочетания АФ и БК с СТ4 – на 124 и 129 мг/кг или на 17% по сравнению с контролем при ЕЗ. Доля $C_{акт}$ в составе $C_{орг}$ составляла

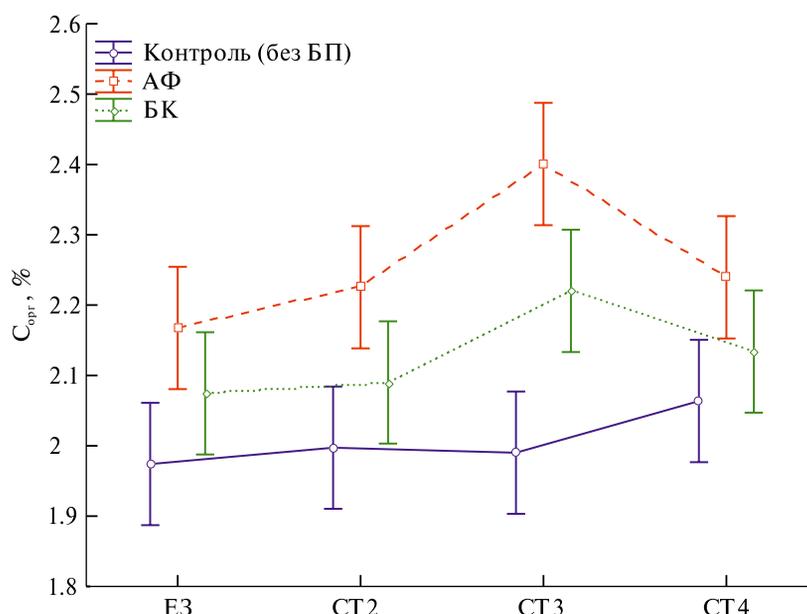
**Рис. 3.** Влияние приемов биологизации агроценоза на содержание $C_{орг}$ в почве в саду яблони (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.).

Таблица 3. Содержание $C_{\text{акт}}$ в почве при биологизации (слой 0–60 см) сада яблони (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.), мг/кг

Вариант	Контроль	АФ	БК	Среднее фактора задержание
ЕЗ	740	760	819	773
СТ2	783	835	792	803
СТ3	797	860	822	826
СТ4	799	864	869	844
Среднее фактора БП $F_{\Phi} < F_{0,05}$, $HCP_{0,05}$ частных средних* = 77 мг/кг	780	830	826	$HCP_{0,05} = 44$ мг/кг

* $p \leq 0.05$. То же в табл. 3–5.

3–4%. Отмечена лишь тенденция к увеличению его доли в варианте СТ4 на 0.2% по отношению к контролю при ЕЗ.

Кроме изменения содержания $C_{\text{акт}}$ при биологизации, в почве менялся и состав гумуса. Содержание гуминовых кислот снижалось незначительно при задержании почвы в варианте СТ2 по сравнению с ЕЗ, в остальных вариантах увеличивалось, максимально в варианте СТ4. В то же время содержание фульвокислот увеличивалось при задержании в вариантах СТ2 и СТ4 в большей мере при воздействии последнего, что связано с образованием подвижных гумусовых кислот с увеличением поступления свежего органического вещества в почву и его гумификации. Это обусловило снижение соотношения $C_{\text{ГК}}:C_{\text{ФК}}$ в почве в вариантах СТ2 и СТ3. Тип гумуса менялся с гуматного на фульватно-гуматный, что приводило к увеличению биологически доступного органического вещества для лучшего развития микробиоты [9]. В варианте СТ4, наоборот, этот показатель возрастал, что, вероятно, было связано с составом трав, изменением состава и численности

микроорганизмов, выделяющих гумусоподобные вещества различной природы (рис. 4).

Наряду с изменением количества и состава почвенного органического вещества, происходили изменения в содержании подвижных форм элементов питания в почве под действием приемов биологизации. Данные дисперсионного анализа показали, что содержание $N-NO_3$ в почве при ЕЗ без применения БП (контроль) было близко к оптимальному для плодовых культур (23–40 мг/кг [30]) (табл. 2). Примененные приемы задержания и различные БП в основном снижали содержание нитратного азота в среднем за 3 года опыта. При задержании достоверное снижение $N-NO_3$ в почве происходило только в варианте СТ2, что было связано с высоким выносом азота интенсивно растущими травами. Фактор БП не оказывал существенного влияния на содержание этого элемента. Из частных средних наиболее близкими к контролю были варианты СТ4 + БК и СТ4 + АФ.

Высокий вынос азота из почвы плодоносящей яблоней при урожае 20–30 т/га в условиях биологизации вызывает необходимость внесения небольших доз азота (30–50 кг/га)

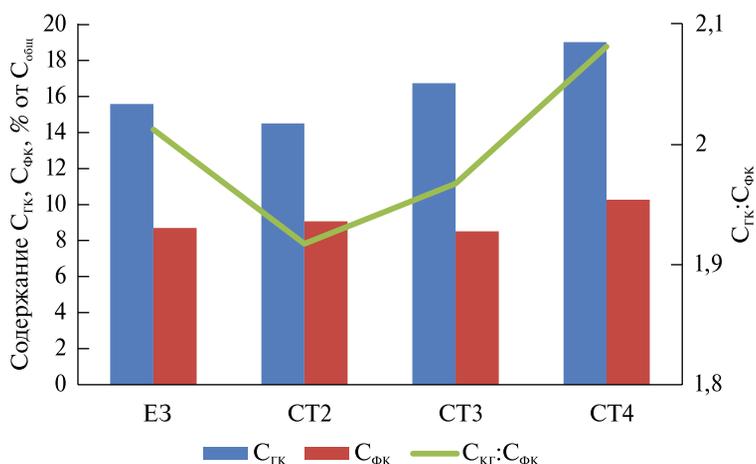


Рис. 4. Содержание углерода гуминовых ($C_{\text{ГК}}$) и фульвокислот ($C_{\text{ФК}}$) и их соотношение в луговой аллювиальной почве при биологизации сада яблони (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.).

Таблица 4. Показатели продуктивности яблони сорта Голден Делишес при биологизации агроценоза (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.)

Вариант	Контроль	АФ	БК	Среднее фактора задержание
Количество плодов на дереве, шт.				
ЕЗ	74	78	97	83
СТ2	87	115	135	112
СТ3	103	124	125	117
СТ4	97	103	121	107
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 8$ шт., HCP_{05} частных средних = 11 шт.	90	105	120	$HCP_{05} = 7$ г
Масса плода, г				
ЕЗ	112	125	119	119
СТ2	103	112	115	110
СТ3	115	117	116	116
СТ4	120	110	110	114
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 2.8$ г, HCP_{05} частных средних = 4 г	113	116	115	$HCP_{05} = 2$ г

весной, когда растение особо в нем нуждается, а микроорганизмы-азотфиксаторы недостаточно активны из-за низких температур. В дальнейшем, к середине лета, при разложении скошенной биомассы трав содержание нитратного азота в почве повышалось, что установлено в предыдущих исследованиях [31].

Содержание подвижных форм фосфора в почве было высоким как в контроле при ЕЗ, так и в вариантах задержания сеянными травами. При задержании в варианте СТ3 произошло существенное и достоверное увеличение его содержания, в варианте СТ4 существенно снижалось, но оставалось на уровне высокого. Биопрепараты достоверно увеличивали его содержание, особенно значительно БК – на 6.6 мг/кг, или на 50 кг/га по сравнению с контролем, что связано с присутствием в составе БК фосфатмобилизирующего бактериального штамма.

Концентрация обменного калия (K_2O) в почве при ЕЗ была высокой. При задержании сеянными травами она увеличивалась существенно, максимально в варианте СТ3 – на 54 мг/кг (на 15% от контроля ЕЗ). Использование БП показало, что только АФ достоверно увеличивал содержание обменного калия в почве на 30 мг/кг. Из частных средних наиболее значительно этому способствовали сочетания СТ4 + АФ и СТ3 + БК на 61 и 40 мг/кг соответственно по сравнению с контрольным вариантом при ЕЗ.

Положительное воздействие способов биологизации агроценоза на плодородие почвы сказалось на его продуктивности. Задержание и БП способ-

ствовали увеличению числа плодов на 15–34 шт., максимально и достоверно в варианте СТ3 + БК (табл. 4).

Масса плода под действием задержания снижалась незначительно на 2–9 г, что связано с увеличением числа плодов. Однако под действием БП она увеличивалась достоверно в варианте с АФ на 3.5 г по сравнению с контролем. Возможно, в этом случае повлиял ростстимулирующий эффект, производимый данным штаммом.

Урожай плодов яблони значительно варьировал по годам: был максимальным в 2019 г., минимальным – в 2020 г. и на уровне среднего – в 2021 г. Это было связано с неблагоприятными погодными условиями весной 2020, летом 2021 г. и периодичностью плодоношения. Во все годы задержание способствовало увеличению урожая плодов, максимально в вариантах СТ2 и СТ3 + БП (рис. 5).

В среднем за 3 года опыта при задержании все варианты существенно увеличивали урожай на 4.1–7.3 т/га, максимально – в варианте СТ3, что составило 37% от ЕЗ. При применении БП максимальную прибавку урожая обеспечивал БК – на 6.2 т/га, или на 30% от контроля. Из частных средних наибольший урожай получен в вариантах СТ2 и СТ3 + БК, на 12 т/га (на 70%) больше контроля при ЕЗ.

При применении приемов, влияющих на плодородие почвы и содержание элементов питания в ней, важно проследить уровень минерального питания растения основными элементами. Данные содержания питательных элементов в листьях

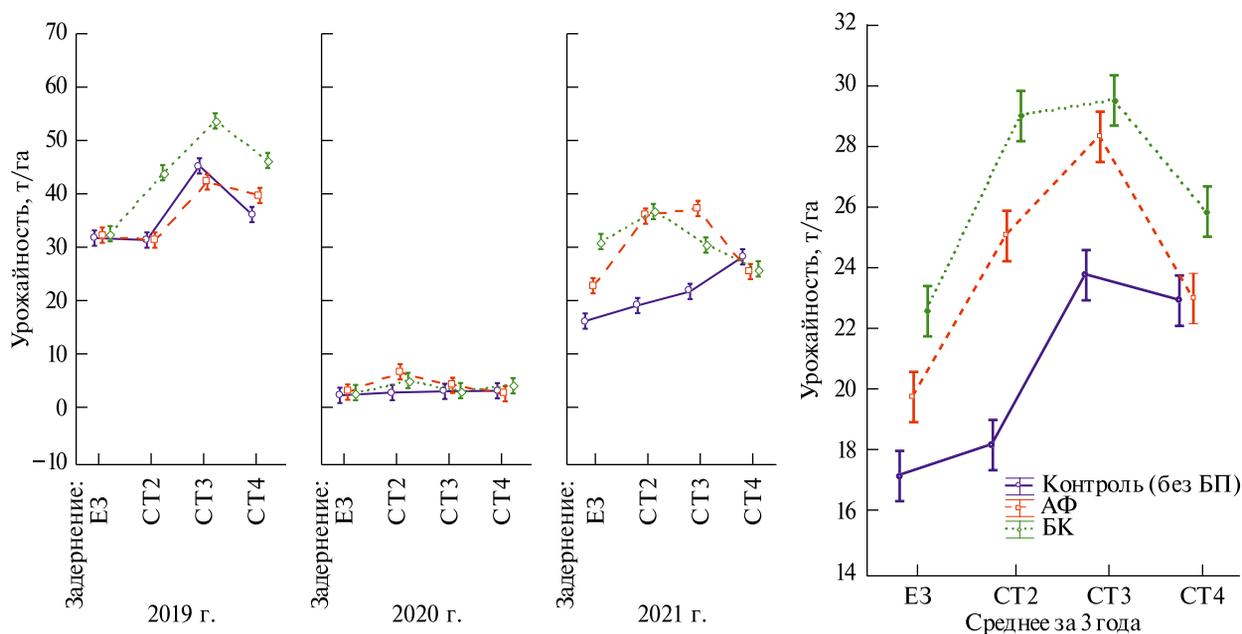


Рис. 5. Урожайность яблони сорта Голден Делишес в условиях биологизации (среднее за 3 года, 2019–2021 гг.), т/га.

показали, что концентрация азота в листьях в контроле при ЕЗ и в других вариантах опыта была на уровне оптимального содержания для яблони (2.1–2.6% [32]) (табл. 5).

Все примененные варианты задержания способствовали увеличению содержания азота в листьях на 0.07–0.18% (разница с контролем значима, $p \leq 0.05$), максимально при задержании в варианте СТ4. Доля влияния фактора составила 21% общей дисперсии. Из БП только АФ достоверно увеличивал этот показатель на 0.07% сухой массы листа. Доля влияния фактора невелика – 4% общей дисперсии. Из частных средних наибольшее и достоверное влияние на содержание азота в листьях оказали сочетания СТ3 и СТ4 + БК – на 0.18 и 0.40% соответственно по сравнению с контролем ЕЗ. Совместное влияние факторов составило 25% от общей дисперсии, что подтверждало существенное положительное влияние исследованных приемов на питание яблони азотом без применения минеральных удобрений и несмотря на снижение количества нитратного азота в почве.

Содержание валового фосфора (P_2O_5) в листьях яблони было низким в контроле при ЕЗ (оптимум – 0.4–0.5% [32]) и увеличивалось в вариантах СТ2 и СТ3 существенно под действием фактора задержания на 0.28–0.32% от ЕЗ ($HCP_{05} = 0.25\%$). Доля влияния фактора составила 13% общей дисперсии. БП создавали лишь тенденцию к увеличению содержания этого элемента в листьях. Из частных средних наиболее значительно и достоверно

увеличивали его содержание сочетания СТ3 + АФ и СТ2 + БК по сравнению с контролем ЕЗ.

Содержание валового калия (K_2O) в листьях яблони в контроле было на уровне оптимального (1.6–1.9% [32]) (табл. 5). Задержание, так и БП, как факторы, способствовали накоплению элемента в листьях на 0.1–0.3%, максимально в вариантах СТ2 и АФ, а также в варианте совместного их действия, что было отмечено ранее для растений винограда [9]. Доля влияния факторов составляла 11–13%, велика была доля года – 51%, что обусловлено значительным варьированием содержания элемента по годам, связанного с существенными различиями в величине урожая.

Важную роль в питании растений играет кальций, и его недостаток может вызвать повреждения плодов при хранении. В листьях яблони в контроле и в вариантах опыта содержание СаО было низким (оптимум для яблони в пересчете на элемент (Са) составляет 1.1–2.0% [32]). Изученные приемы биологизации увеличивали его содержание незначительно, но достоверно в вариантах СТ3 и БК. Максимальное увеличение содержания СаО в листьях относительно контроля при ЕЗ отмечено в вариантах СТ4 и СТ3 + БК. Совместное влияние факторов составляло 33% общей дисперсии признака.

Таким образом, примененные приемы не только повышали плодородие почв и продуктивность яблони, но и улучшали ее минеральное питание основными элементами.

Таблица 5. Содержание элементов в листьях яблони сорта Голден Делишес (среднее за 2020–2021 гг.), % сухой массы листа

Вариант	Контроль	АФ	БК	Среднее фактора задернение
N				
ЕЗ	2.59	2.78	2.58	2.65
СТ2	2.66	2.92	2.76	2.78
СТ3	2.73	2.66	2.77	2.72
СТ4	2.81	2.72	2.95	2.83
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 0.03$, HCP_{05} частных средних = 0.03	2.70	2.77	2.68	$HCP_{05} = 0.02$
P ₂ O ₅				
ЕЗ	0.25	0.33	0.39	0.32
СТ2	0.46	0.58	0.77	0.60
СТ3	0.69	0.74	0.52	0.65
СТ4	0.21	0.23	0.44	0.29
Среднее фактора БП $F_{\phi} \leq F_{05}$, HCP_{05} частных средних = 0.46%	0.40	0.47	0.53	$HCP_{05} = 0.25$
K ₂ O				
ЕЗ	1.58	1.72	1.79	1.70
СТ2	1.95	2.09	2.02	2.02
СТ3	1.68	1.92	1.74	1.78
СТ4	1.76	2.05	1.93	1.91
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 0.03$, HCP_{05} частных средних = 0.04	1.74	1.95	1.87	$HCP_{05} = 0.02$
CaO				
ЕЗ	0.92	0.94	1.06	0.97
СТ2	0.93	1.06	0.97	0.98
СТ3	1.04	1.03	1.08	1.05
СТ4	1.08	0.87	1.00	0.99
Среднее фактора БП $HCP_{05} = 0.03$, HCP_{05} частных средних = 0.04	0.99	0.98	1.03*	$HCP_{05} = 0.03$

Для того, чтобы разработать модель продуктивности яблони в условиях биологизации агроценоза, проведены корреляционный и множественный регрессионный анализы данных. Корреляционный анализ данных показал, что наиболее тесная связь урожая яблони сорта Голден Делишес установлена с количеством ($r = 0.89$) и массой ($r = 0.68$) плодов при $n = 105$. Средняя достоверная зависимость имела между урожаем плодов и $S_{\text{акт}}$ ($r = -0.46$), содержанием обменного калия в почве ($r = -0.68$). Множественный регрессионный анализ позволил вычислить уравнение прямой множественной регрессии, которое имеет вид:

$$y = 31.25 + 9.03x_1 - 0.45x_2 - 0.11x_3 + 4.65x_4, \quad (1)$$

где y – урожай яблони сорта Голден Делишес, т/га; x_1 – содержание $C_{\text{орг}}$, %; x_2 – содержание N-NO₃ в почве, мг/кг; x_3 – содержание K₂O в почве, мг/кг; x_4 – сухая масса трав, кг/м². Коэффициент детерминации уравнения $R^2 = 0.636$, достоверен при уровне вероятности $p \leq 0.05$. Наибольшее влияние на величину урожая оказывало содержание K₂O ($\beta = -0.70$), довольно высокие величины имели показатели: сухая масса трав ($\beta = 0.38$) и содержание N-NO₃ ($\beta = 0.30$). Пользуясь уравнением (1), можно прогнозировать или моделировать урожайность яблонь сорта Голден Делишес при задернении почвы многолетними травами и применении БП с показателями плодородия и массы трав в пределах величин, полученных в опыте.

ВЫВОДЫ

1. При задернения почвы злаково-бобовыми смесями многолетних трав в агроценозе сада яблони произошло увеличение количества скошенных растительных остатков в 2–3 раза по сравнению с естественным задернением (ЕЗ) (скашивание сеgetальной растительности) и достигало 1.7–3.0 кг/м². Биологические препараты (БП) мало влияли на биомассу скошенных трав в большинстве вариантов задернения и только смесь СТЗ при применении азотфиксирующего штамма (АФ) существенно увеличивала ее на 22% по отношению к контролю СТЗК. Скошенная биомасса смесей СТ2 и СТ4 имела наиболее значительное содержание азота и кальция за счет присутствия в их составе люцерны, смесь СТЗ отличалась повышенным содержанием азота и фосфора по сравнению с сеgetальной растительностью. Совместное применение задернения и БП привело к увеличению содержания $C_{орг}$ на 0.10–0.43%, максимально – в варианте СТЗ + бактериальный комплекс (БК) на 22% относительно ЕЗ без БП. При этом увеличивалось содержание $C_{акт}$ на 20–50 мг/кг под действием фактора задернения (на 7–9% относительно ЕЗ). Совместное применение задернения смесью СТ4 и БП вызвало увеличение содержания $C_{акт}$ на 125–130 мг/кг (на 17%). Тип гумуса менялся с гуматного на фульватно-гуматный за счет более значительного увеличения фульвокислот в составе гумуса в вариантах СТ2 и СТЗ.

2. При биологизации происходило обогащение почвы подвижными формами фосфора и калия. Существенное и достоверное увеличение содержания P_2O_5 на 3.4–6.6 мг/кг (на 5–11%) по сравнению с ЕЗ отмечено в варианте СТЗ + БК, что связано с присутствием в составе БК фосфатмобилизующего бактериального штамма. Концентрация обменного калия (K_2O) в почве при ЕЗ была высокой. Под действием задернения она увеличивалась существенно на 28–54 мг/кг (на 8–15% от ЕЗ). Наиболее значительным было влияние сочетания приемов биологизации в вариантах СТ4 + АФ и СТЗ + БК – 61–80 мг/кг (16–20% от контроля при ЕЗ). При этом во всех вариантах происходило снижение содержания $N-NO_3$ в почве на 0.1–6.1 мг/кг. В меньшей мере это происходило в вариантах СТ4 + АФ и СТЗ + БК – на 0.9–2.6 мг/кг. Это связано с высоким выносом азота травами при их интенсивном росте весной, а также с урожаем яблони и вызывает необходимость внесения небольших доз азота (30–50 кг/га) весной.

3. При биологизации увеличивалось содержание элементов питания в листьях яблони: N – на 0.07–0.40% по сравнению с контролем при ЕЗ, наибольшее и достоверное влияние на содержание азота

в листьях оказало сочетание СТЗ и СТ4 + БК; содержание P_2O_5 увеличилось на 0.28–0.32% в большей степени под влиянием применения СТЗ в сочетании с АФ и СТ2 с БК; содержание валового калия возросло на 0.1–0.5%, максимально в вариантах СТ2 и АФ; содержание CaO увеличилось на 0.1–0.2%.

4. Положительное воздействие способов биологизации агроценоза на плодородие почвы и состояние растений вызвало увеличение продуктивности яблони, которое выражалось в увеличении числа плодов на 15–34 шт., максимально и достоверно в вариантах СТЗ и БК. Урожай яблони значительно варьировал по годам: от 5 до 30 т/га в контроле при ЕЗ. В среднем за 3 года опыта все варианты задернения способствовали существенному увеличению урожая плодов на 4–7 т/га, максимально в варианте СТЗ, что составило 20–36% от ЕЗ. При применении БП максимальную прибавку урожая обеспечивал БК – на 6.2 т/га (на 30%) от контроля. Из частных средних наибольший урожай получен при сочетании СТ2 и СТЗ с БК – на 12 т/га (на 70%) больше контроля при ЕЗ.

5. На основании полученных данных и проведения корреляционного и множественного регрессионного анализов разработана модель продуктивности сорта Голден Делишес на луговой аллювиальной почве при биологизации агроценоза. Используя данную модель, можно прогнозировать или моделировать продуктивность сорта при задернении почвы многолетними травами и применении БП. По комплексу показателей состояния почвы и растения яблони наиболее эффективным приемом биологизации является сочетание задернения почвы злаково-бобовой смесью СТЗ с бактериализацией корневой системы азотфиксирующим штаммом (АФ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Придорогин М.В. Концепция статусов “садовых систем”, их ранжира и проблемы плодородия // Вестн. МичГАУ. 2010. № 2. С. 50–59.
2. Николаева С.А., Еремина Л.М. Окислительно-восстановительное состояние периодически переувлажняемых черноземных почв // Почвоведение. 2005. № 3. С. 328–336.
3. Клименко О.Е., Клименко Н.И., Орел Т.И., Новицкий М.Л. Деграционные процессы в почвах под садами Крыма и возможные пути их преодоления // Современное состояние черноземов: матл. II Международ. научн. конф., 24–28 сентября 2018 г. В 2-х томах / Отв. ред. О.С. Безуглова. Ростов/нД., Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2018. Т. 1. С. 143–149.

4. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. В 3-х томах. М.: Изд-во Агрорус, 2008. Т. 1. 816 с.
5. Миркин Б.М., Суондуков Я.Т., Хазиахметов Р.М. Управление в агроэкосистеме // Экология. 2002. С. 103–107.
6. Дорошенко Т.Н., Рязанова Л.Г., Чумаков С.С. Влияние способов содержания почвы на особенности роста и плодоношения яблони в органическом саду [Электр. ресурс] // Плод-во и виногр-во Юга России. 2015. № 33(03). Режим доступа: <http://journal.kubansad.ru/pdf/15/03/05.pdf>.<http://journal>
7. Драгавцева И.А., Савин И.Ю., Ахматова З.П., Цороев Л.К., Костоев Р.У., Першина А.А. Оценка ресурсного потенциала земель Республики Ингушетия для плодовых культур. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2013. 113 с.
8. Попова В.П., Чернявская Н.В. Сохранение плодородия почв плодовых насаждений на биоценотической основе [Электр. ресурс] // Плодоводство и виноградарство Юга России: темат. сетевой электр. научн. журн. СКЗНИИСиВ. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012. № 11. Режим доступа: <http://journal.kubansad.ru/aut/arhive>
9. Vystavna Y., Schmidt S.I., Klimenko O.E., Plugatar Y.V., Klimenko N.I., Klimenko N.N. Species-dependent effect of cover cropping on trace elements and nutrients in vineyard soil and Vitis // J. Sci. Food Agricult. 2020. V. 100. № 2. P. 885–890. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10006>
10. Биопрепараты в сельском хозяйстве. (Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве) / Отв. ред. И.А. Тихонович, Ю.В. Круглов. М., 2005. 154 с.
11. Кузин А.И., Трунов Ю.В., Соловьев А.В. Оптимизация азотного питания яблони (*Malus domestica* Borkh.) при фертигации и внесении бактериальных удобрений // Сел.-хоз. биол. 2018. Т. 53. С. 1013–1024. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.5.1013>
12. Клименко О.Е., Клименко Н.И., Дунаевская Е.В., Новицкая А.П., Новицкий М.Л. Влияние биологизации садового агроценоза на плодородие почвы, состояние и продуктивность персика // Агрехим. вестн. 2020. № 4. С. 67–76. <https://doi.org/10.24411/1029-2551-2020-10058>
13. Клименко Н.Н., Клименко О.Е. Влияние микробных препаратов и задернения междурядий винограда на агрохимические свойства почвы и минеральное питание винограда сорта Мускат белый // Молодой ученый. 2015. № 12. С. 164–168.
14. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агро-систем будущего. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. 210 с.
15. Воробейков Г.А., Павлова Т.К., Кондрат С.В., Лебедев В.Н., Юргина В.С., Муратова Р.Р., Макаров П.Н., Дубенская Г.И., Хмелевская И.А. Исследование эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий в посевах различных видов растений // Изв. РГПУ им. А.И. Герцена. 2001. № 141. С. 114–123.
16. Клименко О.Е., Якушева Н.Н., Клименко Н.И., Попов А.И., Степовенко В. Биопрепараты как способ биологизации агроценоза питомника груши // Принципы экологии. 2023. Т. 12. № 1. С. 48–61.
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
18. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред. Е.Н. Седова, Т.П. Огольцовой. Орел, 1999. 608 с.
19. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем: монография / Отв. ред. К.Ш. Казеев. Ростов/нД.: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
20. Плугатарь Ю.В., Клименко О.Е., Клименко Н.И., Сотник А.И., Орёл Т.И., Новицкий М.Л. Состав, свойства и рациональное использование почв садовых агроценозов долины р. Салгир (на примере отделения Никитского ботанического сада “Крымская опытная станция садоводства”) // Сб. научн. тр. Гос. Никит. Бот. сада. 2019. № 148. С. 5–21.
21. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса: Учеб. пособ. М.: Изд-во МГУ, 1981. 272 с.
22. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
23. Соловьев Г.А. О методах определения азота, фосфора, калия, натрия, кальция, магния, железа и алюминия из одной навески после мокрого озоления // Проблемы почвоведения, агрохимии и мелиорации почв. Воронеж, 1973. С. 134–139.
24. Гамкало З.Г., Бедерничек Т.Ю. Лабильное органическое вещество почвы как индикатор ее экологического качества в разных условиях землепользования // Экосист., их оптимизация и охрана. 2014. Вып. 10. С. 193–200.
25. Kuzyakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review // Soil Biol. Biochem. 2015. V. 83. P. 184–199.
26. Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Ходжаева А.К. Биокинетическая индикация минерализуемого пула органического вещества почвы // Почвоведение. 2007. № 11. С. 1352–1361.
27. Русакова И.В. Сравнительная оценка влияния традиционной и биологизированной систем зем-

- леделия на агрохимические, биологические свойства и биологическое качество органического вещества серой лесной почвы Владимирского Ополья // *Агрохимия*. 2021. № 12. С. 15–22.
28. *Weil R.R., Islam K.R., Stine M.A., Gruver J.B., Samson-Liebig S. E.* Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use // *Amer. J. Alternat. Agricult.* 2003. V. 18. № 1. P. 3–17.
29. *Семенов В.М., Козут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
30. *Копитко П.Г.* Удобрения плодовых і ягідних культур. Навч. посібник. Киев: Вища школа, 2001. 207 с.
31. *Клименко О.Е.* Использование сидератов в плодоносящем яблоневом саду на черноземах южных // *Тр. Гос. Никит. бот. сада*. 2003. Т. 121. С. 153–167.
32. *Церлинг В.В.* Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справ-к. М.: Агропромиздат, 1990. 235 с.

Assessment of the Impact of Methods of Biologization of the Agrocenosis of Apple Trees (*Malus domestica* Borkh.) on Soil Fertility and Plant Productivity

O. E. Klimenko^{a,#}, A. I. Sotnik^a and A. I. Popov^a

^a*Nikitsky Botanical Garden – National Research Center of the RAS, Nikitsky descent, 52, Yalta, Nikita 298648, Republic of Crimea, Russia*

[#]*E-mail: olga.gnbs@mail.ru*

The influence of methods of biologization of the agrocenosis of the orchard, including soil blackening with cereal-legume mixtures of perennial grasses in combination with the introduction of biofertilizers of various spectrum of action, on soil fertility and productivity of apple trees (*Malus domestica* Borkh.) has been studied. The study was carried out in a two-factor long-term field experiment on meadow soils of the Salgir River valley (Republic of Crimea). It was revealed that the biologization of the agrocenosis of the apple tree contributed to the enrichment of the soil with organic matter, increased the content of its active components, led to the accumulation of mobile forms of phosphorus and potassium with a slight decrease in the content of nitrate nitrogen in the soil. At the same time, the concentration of nutrients in the leaves of the apple tree, including nitrogen, increased. All this contributed to an increase in the yield of fruits. Quantitative relationships between indicators of soil fertility and productivity of apple trees have been revealed. The obtained dependencies allowed us to build a model of productivity of Golden Delicious apple trees during the biologization of its agrocenosis. The most effective combination of the studied methods of biologization is the use of soil blackening with a cereal-bean mixture 3 (CBM3) with bacterization of the root system of an apple tree with a nitrogen-fixing strain (NFS).

Keywords: agrocenosis, apple tree, biologization, soil fertility, mineral nutrition, productivity.

УДК 631.415.1:631.82.821:631.445.24

ДИНАМИКА pH_{KCl} ПРОИЗВЕДКОВАННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ МЕЛИОРАНТАМИ РАЗЛИЧНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ

© 2024 г. А. В. Литвинович^{1,2,*}, П. С. Манаков^{1,2}, А. В. Лаврищев², Ю. В. Хомяков¹,
К. М. Нельсон², В. М. Буре^{1,3}

¹Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 С.-Петербург—Пушкин, Гражданский просп., 14, Россия

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
196601 С.-Петербург—Пушкин, Петербургское шоссе, 2, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет
199034 С.-Петербург, Университетская наб., 7–9, Россия

*E-mail: av.lavrishchev@yandex.ru

Показана возможность ускорения реакции мелиорант—свежепроизвесткованная почва в растворе 1 н. KCl. Прослежены изменения величины pH в течение 20 сут взаимодействия почвы с раствором. Установлены различия в скорости реакции при использовании для известкования мелиорантов различной химической природы. Выявлено, что мелиоративный эффект при применении в опыте материалов силикатной природы был меньше, чем карбонатной. По эффекту, достигнутому в результате известкования, все использованные в опыте мелиоранты можно выстроить в следующий по убыванию ряд: доломитовая мука (ДМ), отсев щебня (ОЩ) > конверсионный мел (КМ), доломитизированная известняковая мука (ДИМ) > доменный шлак (ДШ) > сланцевая зола (СЗ). Для всех известковых удобрений разработаны эмпирические модели изменения величины pH_{KCl} во всем интервале эксперимента. Проведена кластеризация отдельных вариантов опыта, произвесткованных различными мелиорантами, по их влиянию на показатель pH_{KCl} на всем промежутке изучения.

Ключевые слова: динамика pH_{KCl} , известкование, дерново-подзолистая супесчаной почва, мелиоранты различной химической природы.

DOI: 10.31857/S0002188124020036

ВВЕДЕНИЕ

В лаборатории мелиорации почв Агрофизического научно-исследовательского института (г. Санкт-Петербург) длительное время проводят исследования скорости разложения мелиорантов в почвах [1–6].

Установлено, что растворение известковых материалов в почвах продолжительно во времени и зависит от твердости их сложения, химического состава, тонины помола, продолжительности взаимодействия мелиоранта с почвой, исходной кислотности почв, равномерности распределения мелиоранта в пахотном горизонте [7].

Из литературы известно, что при воздействии на почву, содержащую остаточное количество непрореагировавших карбонатов 1 н. раствором KCl, создаются условия для ускоренной реакции известь—мелиорант [8]. Например, в работе [9]

проведены исследования, направленные на установление сдвига pH_{KCl} свежепроизвесткованной почвы доломитовой и известняковой мукой в солевой суспензии 1 н. KCl. Показано, что реакция почва—мелиорант не заканчивается после 1-часового встряхивания суспензии. В течение 10-часового взаимодействия наблюдали рост показателя pH_{KCl} солевой суспензии как в варианте с использованием известняковой, так и доломитовой муки.

Полученный эффект мог быть связан с ускоренным разложением частиц мелиоранта HCl, получающейся при вытеснении из почвенного поглощающего комплекса ионов водорода катионами калия. Могли также иметь место обменные реакции непрореагировавших $CaCO_3$ и $MgCO_3$ с KCl, в результате которых образовались растворы щелочных солей карбонатов и бикарбонатов калия [8].

Настоящее исследование является продолжением экспериментов, начатых в [9]. Цель работы – на протяжении 20 сут взаимодействия мелиорантов различной химической природы с кислой дерново-подзолистой супесчаной почвой, удобренной комплексным минеральным удобрением, изучить динамику величины pH_{KCl} в растворе 1 н. KCl и разработать эмпирические модели изменения величины pH_{KCl} в зависимости от времени нахождения свежепроизвесткованной почвы в солевой суспензии.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В высушенную и пропущенную сквозь сито с диаметром отверстий 1 мм почву добавляли расчетное количество комплексных минеральных удобрений и тонкоизмельченных мелиорантов. Почву заливали 1 н. раствором KCl (соотношение почва: раствор = 2.5). Суспензию встряхивали в течение 3 мин и оставляли на 1 сут. Далее в суспензии устанавливали величину pH_{KCl} . Для определения использовали иономер “Анион 7000”. После замера величины pH_{KCl} суспензию снова встряхивали и оставляли на 1 сут. Изменение величины pH_{KCl} суспензии проводили ежедневно в течение 20 сут.

Для проведения эксперимента была подобрана сильнокислая дерново-подзолистая супесчаная почва, отобранная под естественным многолетним лугом. Валовой химический и гранулометрический составы почв приведены в табл. 1, 2.

Физико-химическая характеристика почвы была следующей: pH_{KCl} 3.76, H_T – 11.8 ммоль(экв)/100 г,

гумус – 3%, содержание частиц <0.01 мм – 18.6%. Содержание подвижного кальция составляло 1370 мг/кг. Для проведения исследований использовали мелиоранты карбонатной и силикатной природы. Химический состав мелиорантов представлен в табл. 3.

Конверсионный мел (карбонат кальция синтетический) (КМ) – отход производства азотных удобрений получается в результате азотнокислого разложения апатитового концентрата. Обладает тонкодисперсным гранулометрическим составом [10]. Мелиоративные свойства КМ АО “Акрон” (г. Великий Новгород) приведены в работах [11, 12].

Доломитовая мука (ДМ) произведена из доломита (Республика Беларусь, г. Витебск). Содержит в своем составе углекислые соли кальция и магния ($CaCO_3 + MgCO_3$).

Доменный шлак (ДШ) – отход производства черных металлов. В опыте использовали ДШ Череповецкого металлургического комбината. Шлак относится к известково-силикатным удобрениям. Сравнительный анализ удобрительной ценности и мелиоративных свойств ДМ и ДШ дан в работах [13, 14].

Сланцевая зола (СЗ) образуется при сжигании горючих сланцев на крупных электростанциях и небольших котельных, оборудованных для их сжигания в “кипящем” слое при температуре $\approx 1000^\circ C$. В наших исследованиях использовали золу из г. Кохтла-Ярве. В составе действующего вещества золы присутствовали силикаты и оксиды кальция, установлено наличие магния.

Таблица 1. Гранулометрический состав супесчаной дерново-подзолистой почвы

Размер фракций, мм	1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	< 0.001	<0.01
Содержание, %	1.77	58.14	21.50	5.95	7.04	6.86	18.6

Таблица 2. Валовой химический состав почвы, %

Потеря при прокаливании	SiO ₂	R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃
6.15	81.09	9.28	1.19	7.97	0.44	0.47	0.11	0.51

Таблица 3. Химический состав мелиорантов, %

Мелиорант	Массовая доля CaO	Массовая доля MgO	Массовая доля SiO ₂
Конверсионный мел (КМ)	50.7	1.7	–
Доломитизированная известняковая мука (ДИМ)	44.7	4.3	–
Доломитовая мука (ДМ)	30.4	21.0	–
Доменный шлак (ДШ)	39.7	19.7	38.5
Сланцевая зола (СЗ)	42.1	4.2	27.1
Отсев щебня (ОЩ)	27.0	17.3	–

Таблица 4. Динамика рН_{KCl} свежепроизвесткованной почвы мелиорантами различного химического состава

Вариант	Время, сут										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Контроль (без удобрений)	3.76	3.64	3.69	3.69	3.72	3.74	3.72	3.77	3.81	3.83	3.85
2. Азофоска	3.76	3.56	3.63	3.65	3.69	3.73	3.71	3.75	3.82	3.82	3.86
3. АРАВИВА (фон)	3.76	3.59	3.66	3.67	3.71	3.75	3.73	3.77	3.81	3.83	3.87
4. Фон + КМ по 1 Н _г	3.76	4.80	4.88	4.86	4.93	4.99	4.94	4.93	4.98	4.97	5.00
5. Фон + ДИМ по 1 Н _г	3.76	4.97	4.83	4.85	4.91	4.90	4.98	4.94	4.94	4.99	4.99
6. Фон + ДМ по 1 Н _г	3.76	4.53	4.71	4.80	4.93	4.99	5.06	5.07	5.15	5.15	5.20
7. Фон + ОЩ по 1 Н _г	3.76	4.63	4.85	4.96	5.08	5.12	5.17	5.16	5.23	5.20	5.23
8. Фон + СЗ по 1 Н _г	3.76	3.74	3.82	3.86	3.89	3.92	3.92	3.97	4.04	4.04	4.09
9. Фон + ДШ по 1 Н _г	3.76	4.05	4.21	4.28	4.37	4.45	4.46	4.50	4.60	4.62	4.66
	Время, сут										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1. Контроль (без удобрений)	3.82	3.83	3.72	3.78	3.77	3.74	3.81	3.79	3.79	3.80	
2. Азофоска	3.79	3.81	3.72	3.79	3.77	3.73	3.75	3.74	3.74	3.76	
3. АРАВИВА (фон)	3.81	3.85	3.72	3.80	3.78	3.75	3.77	3.80	3.77	3.78	
4. Фон + КМ по 1 Н _г	4.93	4.93	4.88	4.92	4.89	4.88	4.87	4.72	4.69	4.84	
5. Фон + ДИМ по 1 Н _г	4.93	4.93	4.89	4.93	4.90	4.86	4.89	4.80	4.65	4.82	
6. Фон + ДМ по 1 Н _г	5.14	5.15	5.10	5.18	5.14	5.11	5.15	5.03	4.91	5.04	
7. Фон + ОЩ по 1 Н _г	5.18	5.17	5.14	5.19	5.16	5.13	5.15	5.02	4.95	5.03	
8. Фон + СЗ по 1 Н _г	4.04	4.07	3.97	3.98	3.99	3.95	3.97	3.97	3.67	3.84	
9. Фон + ДШ по 1 Н _г	4.63	4.64	4.58	4.65	4.65	4.61	4.65	4.60	4.44	4.51	

Отход производства щебня из карбонатных пород (отсев доломита) (ОД) предназначен для дорожного строительства. В отвалы отсеивают фракции размером <10 мм. Химический состав отсева месторождения Елизаветино (Гатчинский р-н Ленинградской обл.) приведен в табл. 3. Удобрительная ценность и мелиоративные свойства отхода представлены в работе [2].

Перед внесением в почву все мелиоранты размельчали и пропускали через сито с диаметром отверстий 0.25 мм. Дозы мелиорантов выравняли по нейтрализующей способности. Схема опыта приведена в табл. 4. Повторность опыта четырехкратная.

В качестве вариантов сравнения использовали почву без применения средств химизации (вариант 1), а также почву, удобренную азофоской (НРК 16 : 16 : 16) и АРАВИВА (варианты 2, 3) по 0.2 г д.в./кг массы почвы. В мелиорированных вариантах в качестве фона применяли АРАВИВА.

АРАВИВА – (НРК = 15 : 15 : 15) производится ПАО “ФосАгро”. Азот в удобрении представлен в форме NH₄⁺, 90% фосфатов составляют водорастворимые формы, содержит в своем составе 10% серы и 0.3–1.0% Mg O.

Необходимое количество мелиоранта для известкования устанавливали из расчета устранения гидролитической кислотности по 1 Н_г. Пересчет вели на массу пахотного слоя 3000 т.

Построение эмпирических моделей проводили согласно [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение величины рН_{KCl} в отдельных вариантах опыта приведено в табл. 4. Показано, что величина рН_{KCl} суспензии в контрольном варианте опыта на всем промежутке эксперимента менялась от 3.64 до 3.85, т.е. оставалась в сильноокислом интервале.

Сравнительный анализ данных динамики рН_{KCl} в вариантах с использованием АРАВИВА и азофоски не выявил существенных различий между ними. Изменения рН_{KCl} на всем промежутке изучения составили: азофоска – 3.56–3.86, АРАВИВА – 3.59–3.83 рН. Как и в контрольном варианте опыта, величина рН_{KCl} укладывалась в сильноокислый интервал. Ни подкисления, ни подщелачивания почвы при использовании комплексных удобрений не произошло.

Таблица 5. Эмпирические модели, описывающие изменения pH_{KCl} солевой суспензии от времени взаимодействия почва–мелиорант

№	Мелиорант	Модель	<i>p</i> -value	R^2
1	КМ	$y_1 = 4.74 + 0.0096 \cdot t$	0.3	0.05
2	ДИМ	$y_2 = 4.75 + 0.0092 \cdot t$	0.34	0.048
3	ДМ	$y_3 = 4.66 + 0.03 \cdot t$	0.005	0.34
4	ОЩ	$y_4 = 4.78 + 0.024 \cdot t$	0.034	0.215
5	СЗ	$y_7 = 3.89 + 0.004 \cdot t$	0.31	0.052
6	ДШ	$y_8 = 4.21 + 0.026 \cdot t$	0.0003	0.499

Примечание. *t* – время взаимодействия мелиоранта с почвой.

Иная картина установлена при анализе данных изменения pH_{KCl} в свежепроизвесткованных почвах. В варианте с применением в качестве мелиоранта конверсионного мела спустя 1 сут после настаивания величина pH_{KCl} составила 4.8 (среднекислый интервал) и оставалась на том же уровне до конца эксперимента. В целом, на всем промежутке наблюдений, значимых изменений показателя величины pH не было. Модель (1) динамики изменения величины pH_{KCl} была статистически не значима (табл. 5). График модели приведен на рис. 1а.

Характер изменения величины pH при использовании доломитовой и доломитизированной известняковой муки (ДИМ) отличались друг от друга. В варианте с ДИМ максимальный сдвиг pH достигнут спустя 1 сут после настаивания суспензии (4.97 pH). Далее, на всем промежутке изучения изменения были не значительными и укладывались в диапазон, соответствующий среднекислым показателям pH .

В варианте с применением ДМ эффект спустя 1 сут отстаивания был меньше (4.53 pH). Рост величины pH продолжался до середины эксперимента (10-е сут после известкования) – 5.2 pH . Далее наметилась тенденция к постепенному снижению величины pH .

Аналогичный характер динамики изменения величины pH почвенной суспензии установлен в варианте с использованием для известкования тонкоизмельченного отсева доломита. Модели № 2, 3 и 4 изменения величины pH при использовании для известкования мелиорантов карбонатной природы на всем промежутке изучения были статистически не значимы (табл. 5). Графики моделей приведены на рис. 1б, в, г.

Мелиоранты силикатной природы в опыте представлены промышленными отходами: доменным шлаком и сланцевой золой. Эффект от применения этих мелиорантов был меньше, чем мелиорантов карбонатной природы. Изменения величины pH не выходили за рамки среднекислого диапазона. Например, рост величины pH в варианте с ДШ наблюдали до 8-го срока изучения (4.60 pH). До 18-ти сут

взаимодействия мелиоранта с почвой величина pH оставалась практически неизменной (4.6–4.7 pH). Далее наметилась тенденция к снижению величины pH солевой суспензии.

Наименьшим мелиоративным эффектом характеризовалась сланцевая зола. Максимальный сдвиг величин pH в отдельные сроки наблюдений не превышал 0.3–0.4 pH . Модели № 7 и 8, описывающие динамику изменения величины pH в почве вариантов, мелиорированных СЗ и ДШ, были статистически значимы (табл. 6). Графики моделей приведен на рис. 1д, е.

Таким образом, мелиоративный эффект от использования в опыте материалов силикатной природы был меньше, чем карбонатной. По величине эффекта, достигнутого в результате известкования, все использованные в опыте мелиоранты можно выстроить в следующий по убыванию ряд: доломитовая мука, отсеб щебня > конверсионный мел, доломитизированная известняковая мука > доменный шлак > сланцевая зола.

Анализ моделей изменения величины KCl в вариантах с различными мелиорантами позволил установить следующее. Эмпирическая модель (3) в варианте 6 статистически значима на высоком уровне значимости. В этом варианте опыта имеется статистически значимое изменение pH в среднем (происходило увеличение pH). Эмпирические модели (4, 6) обладают высокой статистической значимостью, происходило возрастание pH .

Эмпирические модели (1), (2), (5) статистически не значимы, нет статистически значимых изменений pH в среднем на всем интервале изучения.

Очень похожи эмпирические модели (1) и (2), коэффициенты моделей близки по своим величинам. Как видно из графиков, динамика в вариантах опыта 4, 5 очень похожа (не было статистически значимых изменений pH в среднем на всем промежутке наблюдений).

Несмотря на отсутствие статистической значимости эмпирическая модель (5) заметно отличалась

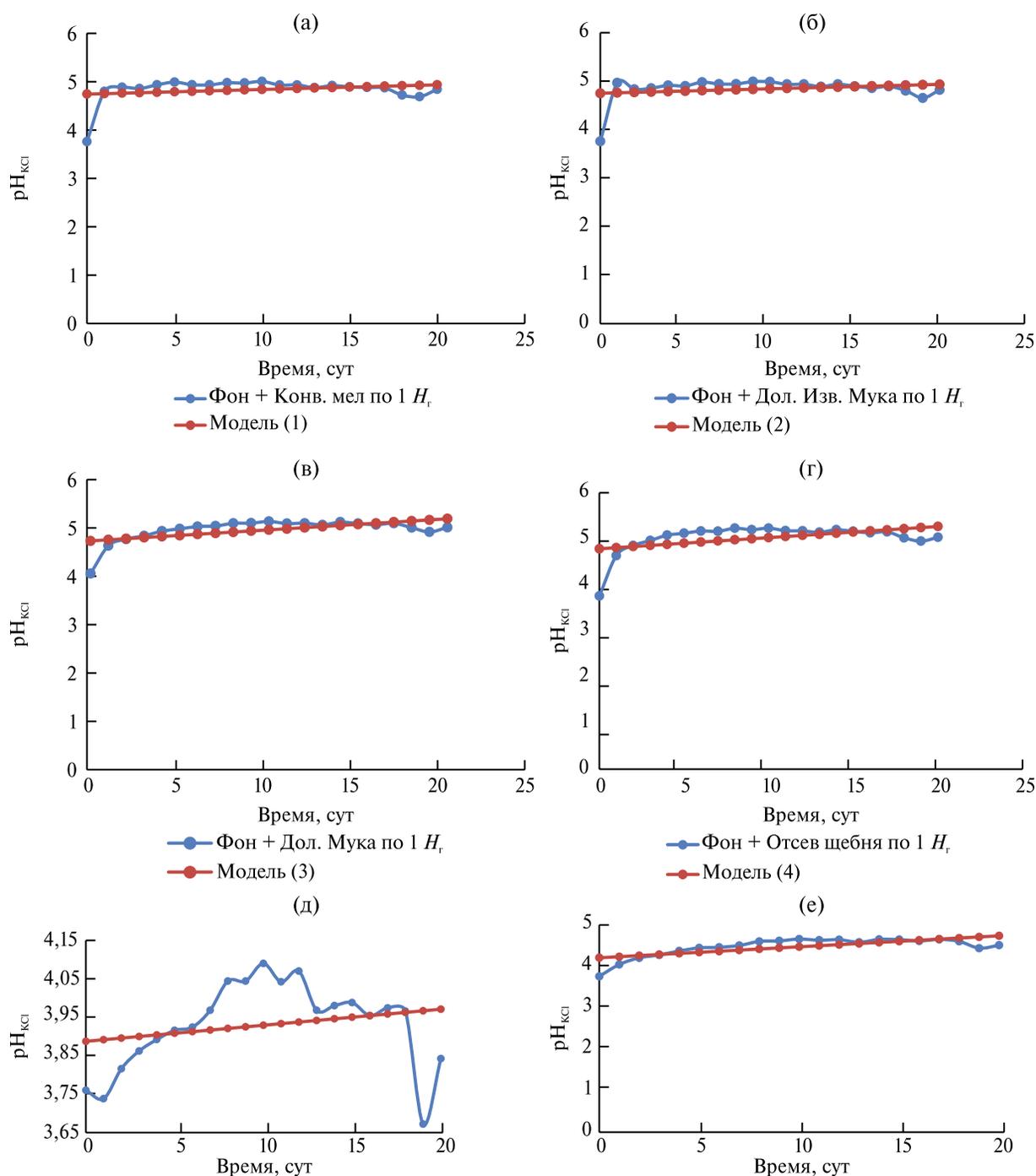


Рис. 1. Динамика величины pH_{KCl} в почве, мелиорированной КМ (а), ДИМ (б), ДМ (в), ОЩ (г), СЗ (д), ДШ (е).

от моделей (1), (2) по величинам коэффициентов и, как видно из графика, характер динамики в варианте опыта 7 заметно отличался от вариантов опыта 4, 5.

Имеется несомненное сходство моделей (4) и (6), коэффициенты моделей близки по своим величинам и, как видно из графиков, динамика изменения pH_{KCl} очень похожа (происходят статистически значимые изменения).

В целом, на основе проведенных исследований можно выделить следующие группы экспериментов: I группа содержит вариант опыта 6 (фон + ДМ по 1 H_r); II группа содержит варианты опыта 7 (фон + ОД по 1 H_r), 9 (фон + ДШ по 1 H_r), III группа содержит варианты опыта 4 (фон + КМ по 1 H_r), 5 (фон + ДМ по 1 H_r), IV группа содержит вариант опыта 8 (фон + СЗ по 1 H_r).

ВЫВОДЫ

При добавлении в дерново-подзолистую супесчаную почву мелиорантов различной химической природы создаются условия для ускоренной реакции почва—мелиорант в растворе 1 н. КСl. Реакция в суспензии не заканчивается спустя 1 сут взаимодействия мелиоранта с почвой.

По эффекту, достигнутому в результате известкования, все используемые в опыте мелиоранты можно выстроить в следующий по убыванию ряд: доломитовая мука, отсев щебня > конверсионный мел, доломитизированная известняковая мука > > доменный шлак > сланцевая зола. При использовании известковых материалов силикатной природы мелиоративный эффект был ниже, чем от применения мелиорантов карбонатной природы.

Разработаны эмпирические модели, описывающие изменения величины $pH_{КСl}$ за 20 сут реакции «почва—мелиорант» как для мелиорантов карбонатной, так и силикатной природы. Проведена кластеризация отдельных вариантов опыта, произвесткованных различными мелиорантами по их влиянию на величину показателя $pH_{КСl}$ на всем промежутке изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Бирюков В.А. Разложение конверсионного мела в дерново-подзолистой почве в связи с угрозой ее загрязнения стабильным стронцием // *Агрохимия*. 2001. № 11. С. 64–68.
2. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Ковлева А.О. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства // *Агрохимия*. 2016. № 2. С. 31–41.
3. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Салаев И.В. Скорость растворения в почвах мелиорантов карбонатной природы (эмпирические модели динамики растворения) // *Агрохимия*. 2016. № 12. С. 42–50.
4. Павлова О.Ю., Берсенева А.О., Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Салаев И.В., Буре В.М. Исследование скорости растворения крупных частиц доломита в кислой дерново-подзолистой супесчаной почве по данным лабораторного опыта // *Агрофизика*. 2020. № 3. С. 23–28.
5. Литвинович А.В., Берсенева А.О., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Хомяков Ю.В., Дубовицкая В.И. Разложение крупных частиц доломита в кислой дерново-подзолистой супесчаной почве; влияние известкования и различного уровня минерального питания пшеницы на изменение кислотности основных свойств и урожайность растений (по данным модельного опыта) // *Агрофизика*. 2021. № 1. С. 14–18.
6. Литвинович А.В., Берсенева А.О., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М. Процесс разложения крупных частиц доломита в сильнокислой дерново-подзолистой супесчаной почве. Динамика убыли массы доломита на разных стадиях растворения (по данным лабораторного опыта) // *Агрохимия*. 2022. № 3. С. 52–60.
7. Литвинович А.В., Небольсина З.П. Продолжительность действия известковых мелиорантов в почвах и эффективность известкования // *Агрохимия*. 2012. № 10. С. 79–94.
8. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб., 2005. 252 с.
9. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Изменение величины почвенной кислотности в процессе взаимодействия мелиорантов с почвами (по данным лабораторных и вегетационного опытов) // *Агрохимия*. 2010. № 10. С. 3–10.
10. Кабанина Л.Н., Южанина Е.Н., Юлушев И.Г. Влияние осажденного карбоната кальция на продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях Кировской области // *Действие удобрений и отходов промышленности на продуктивность сельскохозяйственных культур, качество урожая и свойства почвы*. Тр. Горьков. СХИ. 1984. С. 12–15.
11. Лаврищев А.В. Кальций и стронций в системе почва—растение при известковании почв конверсионным мелом (на примере АО «Акрон» Г. Новгород): Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб. — Пушкин, 2000. 16 с.
12. Лаврищев А.В., Литвинович А.В. Стабильный стронций в агроэкосистемах. Сер. Учебники для вузов. СПб., Спец. лит.-ра, 2019. 192 с.
13. Литвинович А.В., Небольсина З.П., Лаврищев А.В., Павлова О.Ю., Ковлева А.О., Куземкин И.А. Некоторые результаты изучения мелиоративных свойств тонкодисперсных фракций доломитовой муки и доменного шлака Череповецкого металлургического комбината // *Агрофизика*. 2013. № 2. С. 44–51.
14. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Ковлева А.О., Буре В.М. Химический состав растений яровой пшеницы на кислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, произвесткованной кальцийсодержащими отходами промышленности. Эмпирические модели транслокации макро- и микроэлементов в вегетативные и генеративные органы растений // *Агрохимия*. 2023. № 1. С. 73–82.
15. Буре В.М. Методология статистического анализа опытных данных. СПб., 2007. 141 с.

Dynamics of pH_{KCl} of Calcified Sod-Podzolic Sandy Loam Soil by Meliorants of Various Chemical Nature

A. V. Litvinovich^{a,b,#}, P. S. Manakov^{a,b}, A. V. Lavrishchev^b, Yu. V. Khomyakov^a,
K. M. Nelson^b, V. M. Bure^{a, c}

^aAgrophysical Research Institute,
Grazhdansky prosp. 14, St.-Petersburg–Pushkin 195220, Russia

^bSt.-Petersburg State Agrarian University,
Peterburgskoe shosse 2, St. Petersburg–Pushkin 196601, Russia

^cSt. Petersburg State University,
Universitetskaya nab. 7–9, St.-Petersburg 199034, Russia

[#]E-mail: av.lavrishchev@yandex.ru

The possibility of accelerating the reaction of meliorant-freshly calcified soil in a solution of 1 n. KCl is shown. Changes in the pH value during 20 days of soil-solution interaction were traced. Differences in the reaction rate have been established when using ameliorants of various chemical nature for liming. It was revealed that the reclamation effect when using silicate materials in the experiment was less than that of carbonate. According to the effect achieved as a result of liming, all meliorants used in the experiment can be arranged in the following descending order: dolomite flour (DF), crushed stone screening (CSS) > > conversion chalk (CC), dolomitized limestone flour (DLF) > blast furnace slag (BFS) > shale ash (SA). Empirical models of changes in the pH_{KCl} value over the entire experimental interval have been developed for all lime fertilizers. Clustering of individual variants of the experiment, produced by various meliorants, according to their effect on the pH_{KCl} index over the entire period of study was carried out.

Keywords: pH_{KCl} dynamics, liming, sod-podzolic sandy loam soil, meliorants of various chemical nature.

УДК 631.81:635.25

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЛУКА РЕПЧАТОГО В ОДНОЛЕТНЕЙ КУЛЬТУРЕ

© 2024 г. О. Н. Успенская^{1,*}, В. А. Борисов¹, И. Ю. Васючков¹, А. А. Коломиец¹, Л. В. Кривенков², Т. Е. Шевченко², А. В. Молчанова²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства, 140155 Московская обл., Раменский р-н, д. Верея, 500, Россия

²Федеральный научный центр овощеводства” 143072 п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14, Московская обл., Одинцовский г.о., Россия

*E-mail: usp-olga@yandex.ru

Провели сравнительное исследование влияния минеральных и органических удобрений на урожайность и качество 5-ти среднеспелых отечественных сортов лука репчатого в однолетней культуре на аллювиальной луговой почве Московской области. Лабораторно-полевые опыты выполнены отделом земледелия и агрохимии ВНИИО-филиала ФНЦО в 2020–2022 гг. на достаточно окультуренных среднесуглинистых аллювиальных луговых почвах центральной части Московско-репчской поймы. В опыте с 5-ю сортами и 3-я вариантами минеральной системы удобрения товарная урожайность лука репчатого составила 53.0 т/га, тогда как при применении органической системы удобрения – 58.4 т/га. Соответственно прибавка урожайности по отношению к контролю без удобрений в первом случае была равна 106, во втором – 117%, товарность – 93 и 95%. Установлено, что при определении потребности растений в питательных элементах в процессе вегетации предпочтительнее использовать методы листовой диагностики. В среднем для 5-и сортов лука репчатого прибавка урожайности, по результатам растительной диагностики, оказалась на 13% больше, чем в вариантах с дозами NPK, рассчитанными по данным почвенной диагностики. Биохимические показатели качества для всех сортов лука репчатого и всех вариантов удобрения статистически достоверно не отличались от контроля. Качество продукции лука репчатого практически не зависело от примененных систем удобрения. Органическая система удобрения обеспечила наилучшее снабжение питательными элементами лука репчатого в фазе начала образования луковиц, что имело решающее значение для получения наибольшего его урожая в однолетней культуре. В среднем для 3-х вариантов органической системы в почве сохранилось минерального азота 2.34 мг/100 г в фазе начала образования луковиц, тогда как при применении минеральной системы – 1.65 мг/100 г, или на 42% меньше.

Ключевые слова: лук репчатый, однолетняя культура, системы удобрения, минеральные удобрения, органические удобрения, урожайность, качество продукции.

DOI: 10.31857/S0002188124020042

ВВЕДЕНИЕ

В России по размеру занимаемых площадей лук репчатый находится на третьем месте после томатов и капусты. В то же время его производство в нашей стране полностью не покрывает потребности населения. Например, в 2021 г. при валовом сборе 1608.6 тыс. т Россия импортировала 209.2 тыс. т лука [1].

В Нечерноземной зоне России в XX веке промышленное производство лука относилось к рискованному земледелию, т.к. из-за выпадения обильных холодных ночных рос в конце

июля–начале августа создавались благоприятные условия для распространения грибных болезней, губящих урожай [2]. В настоящее время появились новые сорта и гибриды, устойчивые к грибным заболеваниям, новые средства защиты растений, удобрения и стимуляторы роста и развития растений, которые делают возможным получение гарантированных урожаев лука репчатого.

Лук репчатый отличается повышенной требовательностью к плодородию почвы. Он имеет слабую корневую систему и требует бесперебойного снабжения питательными элементами в течение всей

вегетации, что возможно осуществлять с помощью почвенной и растительной диагностики питания. До настоящего времени применение минеральных удобрений рассматривалось как основной способ обеспечения плодородия почв. Однако в ряде работ доказано, что чрезмерное их использование может приводить к деградации почв, загрязнению окружающей среды, снижению качества сельскохозяйственной продукции [3]. Поэтому закономерно возникла необходимость внедрения в сельском хозяйстве органических удобрений, перехода к системе органического земледелия. Эта система производства включена в ведущие тренды прогноза научно-технологического развития АПК РФ на период до 2030 г., подготовленного НИУ ВШЭ и утвержденного Минсельхозом РФ [4].

В литературе нет единого мнения об эффективности разных систем удобрения при возделывании лука репчатого: минеральных, органических или органо-минеральных. Большая часть литературных источников посвящена использованию минеральных удобрений, их сочетаний друг с другом или с различными регуляторами и стимуляторами роста растений [5–7]. Очень немногие статьи касаются использования органических или органо-минеральных систем [8, 9]. Практически нет работ, сравнивающих эффективность минеральных и органических удобрений в единой схеме, в сочетании одних и тех же параметров – варианты эксперимента, сорта растений, почвы. Цель работы – сравнительное исследование влияния минеральных и органических удобрений на урожайность и качество 5-ти среднеспелых отечественных сортов лука репчатого в однолетней культуре на аллювиальной луговой почве Московской обл.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Лабораторно-полевые эксперименты выполнены отделом земледелия и агрохимии ВНИИО–филиала ФГБНУ ФНЦО в 2020–2022 гг. на достаточно окультуренных среднесуглинистых аллювиальных луговых почвах центральной части Москворецкой поймы. Реакция среды почвы составляла 5.9–6.2 рН, содержание гумуса – 3.2–3.5%, азота общего – 0.23–0.27%, нитратного азота – 14–41 мг/кг, подвижного фосфора (по Чирикову) – 240–260, калия обменного (по Чирикову) – 100–150 мг/кг.

Оценили следующие сорта лука репчатого: Форвард (селекция ВНИИО–агрофирма “Поиск”) и сорта селекции ВНИИССОК – Глобус, Черный принц, Атас, Золотые Купола. Все сорта среднеспелые, рекомендованы для выращивания в однолетней культуре, включены в Госреестр в Центральном регионе.

Опыты заложены в трехкратной повторности, размещение вариантов систематическое. Общая площадь делянок $8 \times 3 = 24 \text{ м}^2$, учетных $5 \times 1.4 = 7.0 \text{ м}^2$. Схема опытов: 1 – контроль без удобрений, 2 N60P60K60 – рекомендованная доза НРК, 3 – НРК по данным почвенной диагностики, 4 НРК – по данным листовой диагностики, 5 – биокомпост КРС, 6 – биокомпост “конский”, 7 – биокомпост “птичий”, 8 – препарат Арголан.

Применяли основное минеральное удобрение – нитроаммофоску (азот – 16, фосфор – 16, калий – 16% д.в.), рекомендованная доза N60P60K60 рассчитана на получение товарной продукции лука-виц в размере 50–60 т/га. Недостающие количества удобрений, по результатам почвенной и растительной диагностик, вносили с $N_{\text{аа}}$ (34% д.в.), $K_{\text{х}}$ (60% д.в.), $P_{\text{сд}}$ (43% д.в.). В качестве органических удобрений использовали биокомпосты марки БИУД (производство компании ООО “Тонэкс”) на основе навоза крупного рогатого скота (КРС), конского навоза (“конский”), куриного помета (“птичий”). В составе компостов на основе КРС и конского навоза содержалось 2% азота общего, по 1% фосфора и калия общих, в составе компоста на основе куриного помета – 3% азота, по 2% фосфора и калия общих. Биокомпосты вносили в дозах, эквивалентных дозам минеральных удобрений по содержанию азота. Препарат Арголан – высокоактивный стимулятор роста растений широкого спектра действия [10] – вносили в количестве 2 л/га опрыскиванием в фазах 2–4 и 4–6-ти листьев.

Густота посева семян составила 800 тыс. шт./га. Применяли общепринятую для центральных районов Нечерноземной зоны агротехнику возделывания с применением капельного полива [11, 12]. Пробы почвы для определения ее обеспеченности минеральными питательными элементами отбирали в следующие сроки: 3-я декада апреля (до внесения удобрений) – фаза I, 2-я декада мая (массовые всходы) – фаза II, 1-я декада июля (начало формирования луковицы) – фаза III, 3-я декада августа (массовое полегание листьев) – фаза IV.

Агрохимические анализы проводили в лаборатории агрохимии ВНИИО–филиала ФНЦО. Определяли следующие агрохимические показатели: рН_{KCl} потенциометрическим методом, содержание нитратного азота ион-селективным методом, доступных для растений фосфора и калия (по Чирикову) – в соответствии с [13]. Листовую растительную диагностику питания проводили по Церлинг [14] следующими методами: азот нитратов – ион-селективным методом в вытяжке 1% квасцов, фосфор и калий – в вытяжке 2%-ной уксусной кислоты (фосфор – колориметрическим методом с фосфорно-молибденовой синью,

калий – методом пламенной фотометрии). Биохимические анализы луковиц лука репчатого были проведены в Лабораторно-аналитическом отделе ФНЦО. Содержание сухого вещества устанавливали методом высушивания навески до постоянного веса при температуре 70°C в течение 72 ч, содержание аскорбиновой кислоты – по методике Сапожниковой–Дорофеевой, измерение содержания ионов нитратов – портативным нитрат-тестером фирмы СОЭКС, содержание моно- и суммы сахаров – цианидным методом Сабуровой–Копериной [15–17].

Математическую обработку результатов опытов осуществляли методом дисперсионного анализа [18] с помощью программы “MS Excel”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обобщены данные урожайности, прибавок урожайности и товарности 5-ти среднеспелых сортов лука репчатого в однолетней культуре, выращенных с помощью только минеральной и только органической систем удобрения (табл. 1).

Минеральная система основана на рекомендуемых для репчатого лука дозах удобрения N60P60K60, рассчитанных, исходя из потребностей данной культуры в питательных элементах, для производства урожая в размере 50–60 т/га. При этом в 2-х вариантах дозы NPK определяли по результатам почвенной и растительной диагностики. Органическая система включала в себя

Таблица 1. Товарная урожайность лука репчатого среднеспелых сортов в однолетней культуре в зависимости от системы удобрения

Сорт	Без удобрений	N60P60K60	NPK по результатам почвенной диагностики	NPK по результатам листовой диагностики	Биокомпост КРС	Биокомпост “конский”	Биокомпост “птичий”	Припарат Арголан	НСР ₀₅
	Урожайность товарная, т/га								
Форвард	50.0	53.5	53.6	56.4	57.6	58.6	60.4	58.2	2.9
Глобус	50.8	52.1	47.0	64.3	64.3	56.7	56.3	51.6	2.9
Черный принц	58.3	53.3	54.9	60.4	62.9	59.6	53.4	58.5	3.2
Атас	44.7	51.5	40.1	47.0	62.7	51.9	49.2	47.8	2.7
Золотые купола	48.2	50.7	55.3	55.4	57.8	65.6	59.4	63.3	3.3
Среднее	50.4	52.2	50.2	56.7	61.1	58.5	55.7	55.9	–
Прибавка урожайности, % к контролю									
Форвард	100	107	107	113	115	117	121	116	–
Глобус	100	103	93	127	127	112	111	102	–
Черный принц	100	91	94	104	108	102	92	100	–
Атас	100	115	90	105	140	116	110	107	–
Золотые купола	100	105	115	115	120	136	123	131	–
Среднее	100	104	100	113	122	117	111	111	–
Товарность, %									
Форвард	93.9	94.4	95.0	95.8	96.1	96.4	97.0	96.2	–
Глобус	94.6	94.9	92.4	96.1	95.1	93.3	95.9	93.5	–
Черный принц	95.3	96.0	95.1	93.7	97.3	96.0	93.0	97.1	–
Атас	90.1	93.0	85.0	89.7	92.7	89.0	92.0	87.6	–
Золотые купола	92.4	90.6	92.9	93.9	96.3	95.5	92.1	96.0	–
Среднее	93.3	93.8	92.1	93.8	95.5	94.0	94.0	94.1	–

Таблица 2. Качественные показатели луковиц среднеспелых сортов лука репчатого в однолетней культуре в зависимости от системы удобрения (среднее для 5-ти сортов)

Система удобрения	Сухое вещество		Аскорбиновая кислота		Сумма сахаров		Нитраты	
	%	Cv, %	мг %	Cv, %	%	Cv, %	мг/кг	Cv, %
Без удобрений	14.4 ± 0.5	15.3	9.77 ± 0.44	14.4	9.88 ± 0.57	18.2	120 ± 8	46.8
N60P60K60	14.3 ± 0.6	17.0	9.94 ± 0.47	15.1	10.4 ± 0.6	17.4	114 ± 6	39.2
НПК по результатам почвенной диагностики	14.2 ± 0.43	13.5	9.15 ± 0.54	18.8	10.3 ± 0.74	22.8	113 ± 5	31.7
НПК по результатам листовой диагностики	14.3 ± 0.5	15.8	9.94 ± 0.54	17.2	9.72 ± 0.51	16.5	123 ± 5	32.4
Биокомпост КРС	13.9 ± 0.6	17.5	9.42 ± 0.67	22.5	10.3 ± 0.7	20.9	123 ± 7	38.8
Биокомпост “конский”	14.7 ± 0.52	15.8	8.89 ± 0.40	14.3	10.1 ± 0.6	17.0	123 ± 6	35.8
Биокомпост “птичий”	14.0 ± 0.5	15.1	9.33 ± 0.57	19.5	10.3 ± 0.7	22.7	125 ± 6	35.9
Препарат Арголан	14.1 ± 0.6	17.8	9.42 ± 0.39	13.3	10.1 ± 0.6	19.4	135 ± 7	40.3

Примечание. Cv – коэффициент вариации.

использование 3-х разных видов биокомпостов в дозах, равнозначных минеральным удобрениям по содержанию азота.

Несмотря на сортовую специфику и разнообразие ответов на предлагаемые дозы удобрений растениями лука репчатого разных сортов, выявлены четкие закономерности зависимости урожайности от примененных систем удобрения. В среднем для 5-ти сортов и 3-х вариантов минеральной системы урожайность лука репчатого составила 53.0 т/га, тогда как для тех же сортов и 3-х вариантов органической системы – 58.4 т/га. Соответственно прибавка урожайности (по отношению к контролю без удобрений) в первом случае составила 106, во втором – 117%, товарность – 93 и 95%. Наиболее отзывчивыми на внесение как минеральных, так и органических удобрений были сорта Глобус, Атас и Золотые Купола.

Показано, что при определении потребности растений в питательных элементах в процессе вегетации предпочтительнее использовать методы листовой диагностики. Этот метод позволяет определить количество питательных веществ, которое растение усвоило, а не предположительное количество этих веществ, которое растение должно усвоить из почвы и внесенных расчетных доз удобрений. Установлено, что в среднем для 5-ти сортов лука репчатого при определении дозы минеральных удобрений с помощью почвенной диагностики урожайность оказалась на уровне контроля без удобрений. Хотя некоторые сорта превысили по урожайности контрольный вариант: сорт Форвард – на 7, сорт Золотые купола – на 13%. Доза минеральных удобрений, рассчитанная по результатам листовой диагностики, дала значительно больший положительный эффект. В среднем для

5-ти сортов лука репчатого прибавка урожайности оказалась на 13% больше, чем в вариантах с дозами НПК, рассчитанными по результатам почвенной диагностики.

В варианте с применением стимулятора роста растений широкого спектра действия Арголан в среднем для 5-ти сортов лука репчатого получена урожайность 55.9 т/га, сравнимая по величине с урожайностью тех же сортов в вариантах с биокомпостом “птичий” и НПК по результатам листовой диагностики. По сравнению с контролем без удобрений прибавка урожайности от применения этого стимулятора составила 11% (табл. 1).

Обобщены данные по качественному составу 5-ти отечественных сортов лука репчатого, выращенного с применением минеральной и органической систем удобрения. Степень изменчивости показателей биохимического состава по отношению к среднему показателю выборок для сухого вещества, аскорбиновой кислоты, суммы сахаров была средней, для нитратов – значительной. Показатели для всех сортов и вариантов удобрения статистически достоверно не отличались от контроля (табл. 2).

Таким образом, качественный состав продукции лука репчатого практически не зависел от примененных систем удобрения. Можно отметить, что была выявлена тенденция к увеличению суммы сахаров (на 3%) и нитратов (на 10%) в луковицах, выращенных с применением удобрений, по сравнению с вариантами без удобрений. То же самое можно сказать о качестве луковиц всех сортов, выращенных с применением стимулятора роста Арголан.

В табл. 3 показана обеспеченность почвы основными питательными минеральными элементами

Таблица 3. Обеспеченность почвы основными элементами минерального питания в течение вегетационного периода (среднее для 4-х сроков вегетации и фаз развития лука репчатого)

Показатель	Фаза развития растения	Система удобрения							
		Без удобрений	N60P60K60	НPK по результатам почвенной диагностики	НPK по результатам листовой диагностики	Биокомпост КРС	Биокомпост “конский”	Биокомпост “птичий”	Препарат Арголан
N-NO ₃ , мг/100 г	I	0.13	0.17	0.20	0.14	0.16	0.18	0.18	0.19
	II	1.08	4.01	1.18	1.17	1.71	1.81	2.11	1.07
	III	0.30	4.17	0.38	0.39	2.12	2.28	2.62	0.29
	IV	0.15	2.12	1.36	1.59	2.02	2.20	2.59	0.25
	Среднее	0.41	2.61	0.78	0.82	1.50	1.62	1.88	0.45
P ₂ O ₅ , г/100 г	I	23.2	22.7	23.3	23.1	23.1	23.5	22.8	22.8
	II	24.0	24.9	23.6	23.8	23.8	23.6	23.8	23.7
	III	24.2	25.7	24.2	24.3	24.4	24.5	24.4	24.1
	IV	23.4	25.6	23.6	23.4	23.4	23.7	23.6	23.3
	Среднее	23.7	24.7	23.7	23.6	23.7	23.8	23.6	23.5
K ₂ O, мг/100 г	I	12.0	11.9	12.1	11.8	12.0	12.0	11.9	12.1
	II	13.3	15.6	13.3	13.8	13.7	13.9	13.9	13.5
	III	13.6	14.4	14.6	14.2	14.4	14.3	14.4	13.8
	IV	9.0	11.2	9.6	9.7	9.0	8.9	8.8	8.7
	Среднее	12.0	13.3	12.4	12.4	12.2	12.2	12.2	12.0

в среднем за весь вегетационный период и отдельно в фазах развития растений.

В среднем для 3-х вариантов опыта с минеральными удобрениями в почве за вегетацию содержалось нитратного азота – 1.4, фосфора – 24.0, калия – 12.7 мг/100 г. В 3-х вариантах с органическими удобрениями в среднем почва была обеспечена нитратным азотом на 21% больше (1.7 мг/100 г), калием – на 4% меньше (12.2 мг/100 г), чем почвы вариантов применения минеральной системы удобрения. Разницы в содержании фосфора практически не было, т.к. аллювиальная луговая почва имеет высокую естественную обеспеченность фосфатами, в том числе труднорастворимыми. При рассмотрении обеспеченности почвы питательными компонентами в фазах вегетации показано, что при использовании минеральной системы удобрения (в среднем для 3-х вариантов) максимальное содержание минерального азота в почве отмечено в фазе массового появления всходов (2.12 мг/100 г), в фазе начала образования луковиц его было значительно меньше (1.65 мг/100 г). При использовании органической системы удобрения содержание азота в почве (в среднем для 3-х вариантов) максимальное содержание минерального азота отмечено в фазе начала образования луковиц (2.34 мг/100 г),

в период массового появления всходов оно было существенно меньше (1.88 мг/100 г). Это обстоятельство в значительной степени объясняло преимущество органической системы удобрения над минеральной в опыте, т.к. для лука с его слабой корневой системой и низкой скоростью роста потребность в питательных веществах незначительна в первые 2 месяца после посева семян, а начиная с момента образования луковиц и до конца вызревания, растения выносят из почвы $\frac{3}{4}$ общей своей потребности в азоте [19, 20]. Доступных фосфора и калия в этой фазе было приблизительно одинаковое и достаточное количество, как при применении минеральной, так и органической систем удобрения. Безусловно, преимущество органической системы было обусловлено также тем, что биокомпосты обогащают почву органическим веществом, микроэлементами, полезной микрофлорой, биологически активными веществами, улучшают водно-физические свойства почвы.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в среднем для 5-ти сортов и 3-х вариантов минеральной системы удобрения товарная урожайность лука репчатого составила

53.0 т/га, тогда как для 3-х вариантов органической системы – 58.4 т/га. Соответственно прибавка урожайности по отношению к контролю без удобрений в первом случае была равна 106, во втором – 117%, товарность – 93 и 95%. Наиболее отзывчивыми на внесение как минеральных, так и органических удобрений были сорта Глобус, Атас и Золотые Купола.

2. При определении потребности растений в питательных элементах в процессе вегетации предпочтительнее использовать методы листовой диагностики. В среднем для 5-ти сортов лука репчатого прибавка урожайности по результатам листовой диагностики оказалась на 13% больше, чем в вариантах с дозами НРК, рассчитанными по данным почвенной диагностики.

3. Биохимические показатели качества для всех сортов лука репчатого и всех вариантов удобрения статистически достоверно не отличались от контроля. Качественный состав продукции лука репчатого практически не зависел от примененных систем удобрения. Разница в содержании сухого вещества, аскорбиновой кислоты, суммы сахаров, нитратов в луковичах всех сортов была не существенной как при выращивании с применением минеральной, так и органической систем удобрения.

4. Органическая система удобрения обеспечила наилучшее снабжение питательными элементами лука репчатого в фазе начала образования луковиц, что имело решающее значение для получения наибольшего его урожая в однолетней культуре. В среднем в почве 3-х вариантов органической системы содержалось минерального азота 2.34 мг/100 г в фазе начала образования луковиц, тогда как в среднем в 3-х вариантах минеральной системы – 1.65 мг/100 г, т.е. на 42% меньше. Обеспеченность доступными фосфором и калием в фазе начала образования луковиц была приблизительно одинаковой и достаточной как при применении минеральной, так и органической систем удобрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мировое продовольствие и сельское хозяйство. Статистический ежегодник. ФАО 2021. [Электр. ресурс]. URL: <http://doi.org/10.4060/cb4477en>
2. Ахатов А.К., Ганнибал Ф.Б., Мешков Ю.И., Джалилов Ф.С., Чижов В.Н., Игнатов А.Н., Полищук В.П., Шевченко Т.П., Борисов Б.А., Стройков Ю.М., Белошапкина О.О. Болезни и вредители овощных культур и картофеля. М.: Товарищ-во научн. изданий КМК, 2013. 463 с.
3. Конашенков А.А. Научное обоснование систем удобрения для прецизионного применения в условиях Северо-Запада России: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. СПб., 2014. 40 с.
4. Всероссийская программа развития биологических методов в земледелии и экологизации сельского хозяйства [Электр. ресурс]. 2018. URL: https://soz.bio/project/vserossiyskaya-programma_2018/02.02.2020
5. Кизяев Б.М., Бородычев В.В. Эффективность минерального питания овощных культур при капельном орошении // Плодородие. 2016. № 5(92). С. 18–21.
6. Филин В.И., Казаченко О.П. Эффективность разных систем применения удобрений при капельном орошении лука репчатого // Изв. Нижневолжск. агроун-т. комплекса: Наука и высш. проф. образ-е. 2012. № 1(25). С. 42–47.
7. Ирков И.И., Ибрагимбеков М.Г., Заплаткин А.Н., Багров Р.А. Оптимизация элементов технологии производства лука-репки в однолетней культуре в условиях Нечерноземья // Картофель и овощи. 2021. № 3. С. 25–28.
8. Борисов В.А., Коломиец А.А., Васючков И.Ю., Бебрис А.Р. Продуктивность и качество репчатого лука при использовании минеральных удобрений, биокомпостов и регуляторов роста // Овощи России. 2021. № 5. С. 39–43.
9. Suresh C.B., Ashok S.S., Vyakarnahal B.S., Malabasarri T.A., Hosarnani R.M., Patil A.B. Studies on organic seed production in onion (*Allium cepa* L.) // Kamataka J. Agricult. Sci. 2008. № 21(1). P. 120–121.
10. <https://lignohumate.ru/catalog-gumatov/stimulyatory-deleniya-kletok/lignogumat-argolan-akva.html>, 18.11.2020
11. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве / Под ред. Белика В.Ф. М.: Агропроиздат, 1992. 319 с.
12. Литвинов С.С. Методика полевого дела в овощеводстве. М.: РАСХН, 2011. 648 с.
13. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
14. Церлинг В.В., Панков Ю.И., Ермохин Г.Г., Вендило Г.Г., Борисов В.А. Методические указания по растительной диагностике минерального питания овощных культур открытого грунта. М.: МСХ СССР, 1983. 58 с.
15. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П., Перуанский Ю.А., Луковникова Г.А., Иконникова М.И. Методы биохимических исследований Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
16. Определение сахаров в овощах, ягодах и плодах. Цианидный метод определения сахаров в растениях. Практикум по агрохимии / Под ред. Кидина В.В. М., 2008. С. 236–240.
17. Сапожникова Е.В., Дорофеева Л.С. Определение содержания аскорбиновой кислоты в окрашенных растительных экстрактах йодометрическим

- методом // Консерв. и овощевод. пром-ть. 1966. № 5. С. 29–31.
18. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 361 с.
19. De Melo P. Theroot systems of onion and *Allium fistulosum* in the context of organic farming: a breeding approach: PhD Thesis // Wageningen Agricult. Univers. 2003.
20. Лебедева Л.А., Едемская Н.Л. Научные принципы системы удобрения с основами экологической агрохимии. Уч. пособ. / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 2004. 320 с.

Comparative Effectiveness of the Use of Mineral and Organic Fertilizers in the Cultivation of Onions in an Annual Crop

O. N. Uspenskaya^{a,#}, V. A. Borisov^a, I. Y. Vasyuchkov^a, A. A. Kolomiets^a, L. V. Krivenkov^b, T. E. Shevchenko^b, A. V. Molchanov^b

^aAll-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing—branch of the Federal Scientific Center of Vegetable Growing, d. Vereya 500, Moscow region, Ramenskiy district 140155, Russia

^bFederal Scientific Center of Vegetable Growing, Selektionnaya ul. 14, Moscow region, Odintsovo, p. VNISSOK 143072, Russia

[#]E-mail: usp-olga@yandex.ru

We conducted a comparative study of the effect of mineral and organic fertilizers on the yield and quality of 5 medium-ripened domestic onion varieties in an annual crop on the alluvial meadow soil of the Moscow region. Laboratory and field experiments were carried out by the Department of Agriculture and Agrochemistry of the VNIIO branch of the FNCO in 2020–2022 on sufficiently cultivated medium-loamy alluvial meadow soils of the central part of the Moskvoretsky floodplain. In the experiment with the 5th varieties and the 3rd variants of the mineral fertilizer system, the commercial yield of onions was 53.0 t/ha, whereas with the use of an organic fertilizer system – 58.4 t/ha. Accordingly, the increase in yield relative to the control without fertilizers in the first case was equal to 106, in the second – 117%, marketability – 93 and 95%. It has been established that when determining the need of plants for nutrients during the growing season, it is preferable to use methods of leaf diagnostics. On average, for 5 varieties of onion, the yield increase, according to the results of plant diagnostics, turned out to be 13% more than in variants with NPK doses calculated according to soil diagnostics. Biochemical quality indicators for all onion varieties and all fertilizer variants did not differ statistically significantly from the control. The quality of onion products practically did not depend on the applied fertilizer systems. The organic fertilizer system provided the best supply of nutrients to onions in the phase of the beginning of bulb formation, which was crucial for obtaining the greatest yield in an annual crop. On average, for 3 variants of the organic system, the soil contained 2.34 mg/100 g of mineral nitrogen in the phase of the beginning of bulb formation, whereas with the use of the mineral system – 1.65 mg/100 g, or 42% less.

Keywords: onion, annual crop, fertilizer systems, mineral fertilizers, organic fertilizers, yield, product quality.

УДК 631.53.02:631.811.98:631.559:633.875

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ РЕГУЛЯТОРАМИ РОСТА РАСТЕНИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ

Astragalus babatagi и *A. xanthomeloides*[§]© 2024 г. Э. Р. Курбанова^{1,*}, Р. П. Закирова¹, Н. С. Умарова², С. С. Халиков^{3,**},
Н. Д. Чкаников³¹ Институт химии растительных веществ им. акад. С. Ю. Юнусова АН РУз
100170 Ташкент, ул. М. Улугбека, 77, Республика Узбекистан² Ташкентский государственный аграрный университет, кафедра растениеводства и масличных культур
100140 Ташкент-140, ул. Университет, 2а, Республика Узбекистан³ Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова РАН
119991 Москва, ул. Вавилова, 28, Россия

*E-mail: ilichkakurbanova@mail.ru

**E-mail: salavatkhaliqov@mail.ru

В 2022 г. в условиях вегетационного опыта ИХРВ АН РУз на растениях *Astragalus babatagi* и *Astragalus xanthomeloides* изучены оптимальные сроки посева и варианты обработки семян регуляторами роста растений и органо-минеральным удобрением. Выявлено положительное действие предпосевной обработки семян, которое существенно повлияло на увеличение продуктивности семян и фитомассы растений. Установлено, что предпосевная обработка семян *Astragalus babatagi* препаратами Учкун плюс, Флороксан и Гумат калия Суфлер способствовала увеличению урожайности семян с одной грядки на 1.0, 0.98 и 0.8 г относительно скарифицированных семян и повышению урожайности фитомассы на 189, 197 и 186 г соответственно. Прибавка урожайности семян *Astragalus xanthomeloides* с одной грядки в опытных вариантах с применением препаратов Учкун плюс, Флороксан и Гумат калия Суфлер повысилась на 0.92, 1.05 и 0.62 г соответственно по сравнению с вариантом “скарификация”, а по сравнению с контролем – на 1.82, 1.95 и 1.52 г соответственно. Урожайность фитомассы увеличилась на 53.7, 61.2 и 30.7 г относительно варианта скарифицированных семян, тогда как по отношению к контролю эти показатели увеличились на 103, 110 и 79.8 г соответственно.

Ключевые слова: скарификация, регуляторы роста растений, *Astragalus babatagi*, *Astragalus xanthomeloides*, сроки высева, всхожесть, урожайность.

DOI: 10.31857/S0002188124020059

ВВЕДЕНИЕ

В современном растениеводстве и земледелии к числу экологически безопасных технологических приемов для повышения продуктивности растений и посевных качеств семян относят регуляторы роста растений (*PPP*) и биостимуляторы [1–3]. *PPP*, как синтетические, так и натуральные, играют важную роль в регуляции физиологических и морфологических процессов онтогенеза растений.

Ежегодно спрос на лекарственные растения на внутреннем и международном фармацевтических рынках возрастает. Искусственное

культивирование оказало положительное влияние на защиту диких ресурсов, что позволило удовлетворить потребности рынка [4].

В Узбекистане широко проводятся научные исследования для введения в культуру лекарственных растений, создаются плантации в целях сохранения природных ресурсов страны.

Из многочисленных исследований, доказано, что использование *PPP* все чаще находят применение в посевах лекарственных культур [5–7]. Необходимость их связана в первую очередь с неравномерной и длительной всхожестью семян лекарственных растений [8]. Одним из практических и эффективных методов повышения всхожести семян и устойчивости проростков к различным стрессам считается предпосевная обработка семян *PPP* [9, 10].

[§]Работа по подготовке препаратов на основе флороксана выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

Установлено, что представители рода *Astragalus* из семейства Fabaceae являются уникальным источником биологически активных веществ [11, 12], одним из важных считаются источники сапонинов циклоартанового ряда [13].

Astragalus babatagi M. Pop – астрагал бабатагский, эндемик Узбекистана, произрастающий в Сурхандарьинской обл. в предгорье Бабатагского хребта, представляет собой многолетний полукустарничек до 30 см высоты [14]. Его химический состав был изучен в работах [15, 16].

Astragalus xanthomeloides Eug. Kor. et M. Pop. – многолетний кустарничек от 14 до 48 см высотой [14], химический состав которого определен сравнительно недавно [17].

Цель работы – изучение регуляторов роста на биометрические показатели, урожайность семян и фитомассы растений *A. babatagi* и *A. xanthomeloides* при выращивании в вегетационных условиях г. Ташкента.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Семена растения *A. babatagi* были собраны в местах его произрастания (Сурхандарьинская обл. Республики Узбекистан на высоте 1400–1500 м н.у.м.). Масса 1000 семян составляла 5.52 г.

Семена *A. xanthomeloides* собраны на горном перевале Камчик Республики Узбекистан (высота 1300–1500 м н.у.м.). Масса 1000 семян – 6.05 г.

В качестве объекта исследования впервые применили регуляторы роста Флороксан [18], Учкун плюс [19], органо-минеральное удобрение Гумат калия Суфлер [20] в посевах *A. babatagi* и *A. xanthomeloides*.

Опыты проводили на вегетационной площадке Института химии растительных веществ АН РУз в 2022 г. в разные сроки посева семян – 25 февраля, 30 марта и 26 апреля.

На первом этапе работы семена астрагалов подвергли скарификации в концентрированной серной кислоте при разработанной ранее временной экспозиции: *A. babatagi* – 20 мин и *A. xanthomeloides* – 10 мин, после чего тщательно промывали в проточной воде [9, 21]. Затем семена 2-х видов астрагалов были замочены в растворах регуляторов роста растений на 18 ч: Учкун плюс – 0.0001, Флороксан – 0.00001 и Гумат калия Суфлер – 0.6% [22]. Контролем служили семена не скарифицированные, только замоченные в воде и скарифицированные семена.

Размещение вариантов последовательное. Посев осуществляли в подготовленную почву, в которую высевали по 5 шт. семян. Глубина

посадки 2 см. Схема посадки 60 × 50 (междурядья × расстояния между растениями) для обоих видов. Длина грядки 3 м. Повторность опыта четырехкратная. Грядки после посева посыпали биогумусом для предотвращения корки после весенних осадков. Во время всходов регулярно проводили прополку от сорной растительности и после полива также разрыхляли почву в прикорневой зоне на глубине 10–15 см. Предшественник – многолетние злаковые травы. Почва опытного участка – типичный серозем.

Среднемесячная максимальная температура во время вегетационного периода астрагалов в июле месяце была равна 37.5°C, среднемесячная минимальная в марте – 5.1°C. Сумма эффективных температур за вегетационный период астрагалов (превышающих 10°) составила 2862°C.

Данные были обработаны с помощью компьютерной программы Original Program 8.6.

При определении элементов урожайности обоих видов растений учитывали число плодов на одном растении (шт./раст.) и урожайность надземной части и семян (г/м). Дополнительно анализировали массу 1000 семян и массу семян с одного растения (г).

Содержание хлорофиллов в опытных образцах определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре V-5000 Metash в фазе бутонизации растений [23].

Схема опытов включала следующие варианты:

1. Контроль (не скарифицированные и необработанные семена);
2. Скарификация (семена обработанные серной кислотой);
3. Скарификация + препарат Учкун плюс;
4. Скарификация + препарат Флороксан;
5. Скарификация + препарат Гумат калия Суфлер.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что почти у всех видов астрагалов оболочка семян окаменелая, семена нуждаются в скарификации для лучшего их прорастания. В связи с этим ранее в лабораторных условиях был разработан способ скарификации семян и временная экспозиция для *A. babatagi* и *A. xanthomeloides* [8, 21].

Установлено, что оптимальным сроком посева семян для обоих видов исследованных астрагалов было 25 февраля. Посев в конце марта привел к снижению всхожести семян по сравнению с посевом в феврале. Поздневесенний посев (26 апреля) угнетал всходы из-за высокой температуры, что в последующем привело к гибели растений.

Надо отметить, что максимальная среднемесячная температура воздуха в апреле и в мае составляла 27.4 и 28.5°C. Средняя сумма осадков в марте месяце превышала годовую норму – 189.3 мм, тогда как в апреле осадков было значительно меньше – 9.1 мм.

Семена *A. babatagi* в контрольном варианте, не прошедшие скарификацию и предпосевную обработку регуляторами роста, взошли гораздо позже других вариантов с интервалом ≈ 40 сут, и всхожесть их была значительно меньше. Несвоевременную всхожесть наблюдали в контроле у вида *A. xanthomeloides*, разница с другими вариантами составляла до 25 сут. Результаты данного исследования показали, что предпосевная обработка семян *A. babatagi* и *A. xanthomeloides* регуляторами роста растений способствовала ускорению и увеличению всходов при сроках посева в феврале и марте (табл. 1).

Высокая всхожесть семян *A. babatagi* выявлена при сроке посева 25 февраля в вариантах “скарификация + Учкун плюс”, “скарификация + Флороксан” и “скарификация + Гумат калия Суфлер”, которая была значительно больше контроля на 72.2, 75.8 и 71.9%, и варианта “скарификация” – на 22.4, 25.9 и 22.0%.

При посеве 30 марта всхожесть *A. babatagi* снизилась до 50% относительно вариантов, посеянных в феврале. В вариантах “скарификация + Учкун плюс” всхожесть превышала контроль на 35.6, “скарификация + Флороксан” – на 38.9 и “скарификация + Гумат калия Суфлер” – на 33.8%.

Наиболее высокий результат всхожести в посевах *A. xanthomeloides* наблюдали при сроке

высева 25 февраля в вариантах опыта “скарификация + Учкун плюс”, “скарификация + Флороксан” и “скарификация + Гумат калия Суфлер”, в которых всхожесть превышала контрольный вариант на 63.1, 61.8 и 59.1%, тогда как по отношению к варианту “скарификация” эти показатели превосходили его на 16.3, 15 и 12.3%. При высева семян *A. xanthomeloides* в марте и в апреле всходов в контроле не было.

Фенологические наблюдения за ростом растений показали, что обработка семян *A. babatagi* и *A. xanthomeloides* PPP и органо-минеральным удобрением способствовала ускоренному росту растений по сравнению с контролем и с вариантом 2. В дальнейшем все биометрические учеты проводили с растениями *A. babatagi* и *A. xanthomeloides*, которые были посеяны 25 февраля.

На период учета (22.04.2022) в контрольном варианте всходов *A. babatagi* не было, а опытные варианты 3, 4, 5 опережали в росте вариант 2 на 0.61, 1.22, 1.30 см. На период второго учета (20.05.2022) в контроле семена проросли, но растения заметно отставали в росте от растений в вариантах 3, 4 и 5. Прирост растений по отношению к контролю в этих вариантах составил на 54.5, 78.1 и 24%. Варианты, обработанные PPP и органо-минеральным удобрением, превышали вариант 2 на 14.7, 25.4 и 8.1% соответственно. Из наблюдений 3-го учета (27.06.2022) ускорение роста по отношению к варианту 2 опытных вариантов 3, 4 и 5 превышало на 13.3, 14.8 и 6.8%, тогда как в сравнении с контролем эти показатели были больше на 63.7, 65.9 и 54.3% соответственно (рис. 1).

Таблица 1. Влияние регуляторов роста растений на всхожесть семян *A. babatagi* и *A. xanthomeloides* при различных сроках их посева

№	Вариант	Всхожесть, %		
		дата посева		
		25.02.2022	30.03.2022	26.04.2022
<i>A. babatagi</i>				
1	Контроль	12.4 ± 1.3	5.3 ± 1.2	–
2	Скарификация	62.3 ± 1.3	38.4 ± 0.9	15.5 ± 1.17
3	Скарификация + Учкун плюс	84.7 ± 0.8	40.9 ± 1.9	18.6 ± 1.0
4	Скарификация + Флороксан	88.2 ± 0.9	44.2 ± 1.1	16.4 ± 0.5
5	Скарификация + Гумат калия Суфлер	84.3 ± 0.8	39.1 ± 0.4	17.1 ± 0.9
<i>A. xanthomeloides</i>				
1	Контроль	8.3 ± 1.8	–	–
2	Скарификация	55.1 ± 1.5	44.6 ± 1.4	7.5 ± 1.2
3	Скарификация + Учкун плюс	71.4 ± 1.9	60.5 ± 0.9	13.7 ± 1.3
4	Скарификация + Флороксан	70.1 ± 1.7	59.3 ± 1.3	15.1 ± 1.2
5	Скарификация + Гумат калия Суфлер	67.4 ± 0.1	46.6 ± 0.9	15.3 ± 1.1

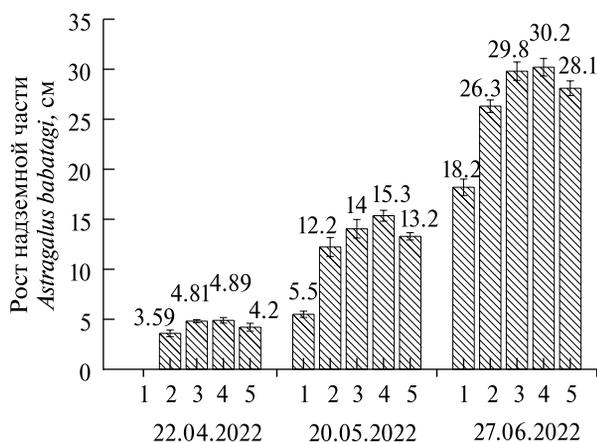


Рис. 1. Динамика роста растений *A. babatagi*, варианты: 1 – контроль (без обработки и без скарификации), 2 – скарифицированные семена, 3 – скарифицированные и обработанные препаратом Учкун плюс, 4 – скарифицированные и обработанные препаратом Флороксан, 5 – скарифицированные и обработанные препаратом Гумат калия Суфлер. То же на рис. 2–4.

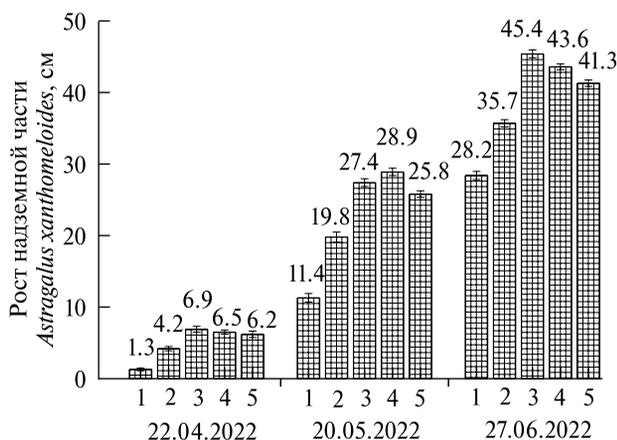


Рис. 2. Динамика роста растений *A. Xanthomeloides*.

Фенологические учеты в конце апреля в посевах *A. xanthomeloides* показывали заметное увеличение роста в опытных вариантах “скарификация + Учкун плюс”, “скарификация + Флороксан” и “скарификация + Гумат калия Суфлер”, где показатели превосходили вариант 2 на 64.2, 54.7 и 47.6%. В контроле растения существенно отставали в росте из-за поздней всхожести.

Увеличение роста *A. xanthomeloides* в опытных вариантах в последующих учетах также было заметным. Например, прирост надземной части растений (20.05.2022) в вариантах “скарификация + Учкун плюс”, “скарификация + Флороксан” и “скарификация + Гумат калия Суфлер” был больше

варианта “скарификация” на 38.8, 45.9 и 30.3%, а на период 27 июня эти показатели увеличились на 27.1, 22.1 и 15.6% соответственно (рис. 2).

В продолжении исследования было изучено количественное содержание хлорофиллов в фазе бутонизации, где наблюдали повышение количества фотосинтетических пигментов в листьях растений *A. babatagi* и *A. xanthomeloides*.

Содержание хлорофиллов в листьях *A. babatagi* в опытных вариантах “скарификация + Учкун плюс”, “скарификация + Флороксан” и “скарификация + Гумат калия Суфлер” существенно превосходило контрольные показатели (рис. 3).

Например, содержание хлорофилла *a* составляло 0.95, 0.97, 0.80 мг/г, хлорофилла *b* – 0.19, 0.22, 0.23 мг/г и их суммы – 1.14, 1.19, 1.02 мг/г, которые были больше контроля по содержанию хлорофилла *a* на 39.7, 42.6, 17.6%, хлорофилла *b* – на 18.7, 37.5, 43.7% и их суммы – на 34.1, 40, 20% соответственно. Вариант 2 превышал контроль всего на 8.8, 6.2, 7%. Показатели вариантов 3, 4 и 5 превышали по содержанию хлорофилла *a* на 28.3, 31, 8.1%, хлорофилла *b* – на 11.7, 29.4, 35.2% и суммы хлорофиллов *a* + *b* – на 5.2, 30.7, 12% относительно варианта 2.

В опытных вариантах “скарификация + Учкун плюс”, “скарификация + Флороксан” и “скарификация + Гумат калия Суфлер” заметно увеличивалось содержание хлорофилла *a* в листьях *A. xanthomeloides* на 20.0, 26.6, 6.6%, хлорофилла *b* – на 9.9, 36.3, 27.2% и их суммы *a* + *b* – на 16.8%, 25.3%, 10.8% относительно контроля, а так же хлорофилла *a* на 24.1, 31, 10.3%, хлорофилла *b* – на 20, 50, 40% и их суммы – на 24.3, 33.3 и 17.9% относительно варианта скарифицированных семян (рис. 4).

За вегетационный период применение *PPP* и органо-минерального удобрения на 2-х видах астрагалов привело не только к улучшению роста и развития растений, но и способствовало увеличению плодородности растений и урожайности семян. Установлено, что величины показателей элементов урожайности в вариантах с применением предпосевной обработки *PPP* для обоих видов астрагалов были значительно больше, чем в контроле и в варианте “скарификация” (табл. 2).

В контрольном варианте растения *A. babatagi* из-за поздней всхожести не достигли фазы бутонизации, следовательно, и урожайности. В варианте скарифицированных семян растения отставали в развитии по сравнению с вариантами, в которых были применены *PPP*. Например, количество плодов с одного куста *A. babatagi* в вариантах 3, 4 и 5 было больше, чем в варианте “скарификация” на 14.8, 14.2, и 10.4 шт./растение. По количеству массы семян с одного куста вариант 3, 4

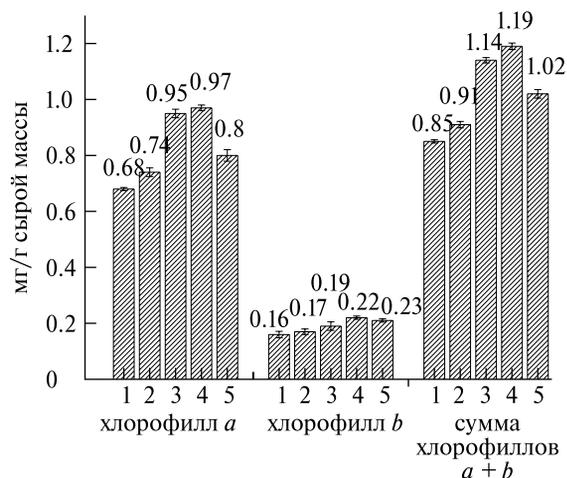


Рис. 3. Влияние регуляторов роста на содержание хлорофиллов в листьях *A. babatagi*.

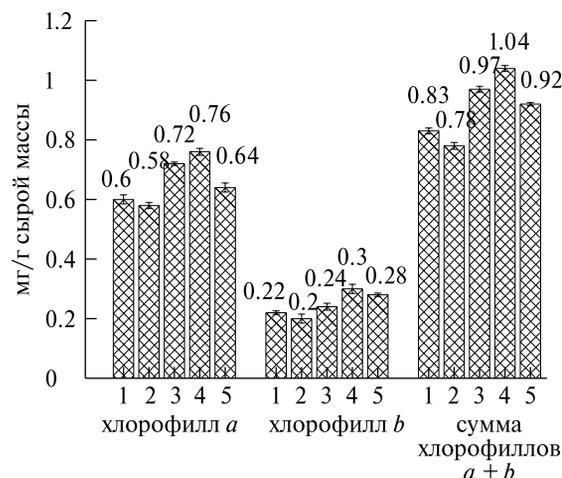


Рис. 4. Влияние регуляторов роста на содержание пигментных пластов в листьях *A. xanthomeloides*.

Таблица 2. Влияние предпосевной обработки регуляторами роста на элементы урожайности *A. babatagi* и *A. xanthomeloides*

Вариант	Число плодов на 1-м растении, г	Масса семян с 1-го куста, г	Масса 1000 семян, г	Урожайность семян с одной грядки, г	Урожайность фитомассы с 1-го куста, г
<i>A. babatagi</i>					
1. Контроль без обработки	—	—	—	—	86
2. Скарификация	28.4	0.184	6.5	0.73	238
3. Скарификация + Учкун плюс	43.2	0.289	6.7	1.73	275
4. Скарификация + Флороксан	42.6	0.285	6.7	1.71	283
5. Скарификация + Гумат калия Суфлер	38.8	0.256	6.6	1.53	272
HCP_{05}				0.05	68
S_x				0.02	22
<i>A. xanthomeloides</i>					
1. Контроль без обработки	64.0	0.395	6.1	1.2	116
2. Скарификация	86.3	0.522	6.1	2.1	165
3. Скарификация + Учкун плюс	117	0.876	6.4	3.0	218
4. Скарификация + Флороксан	124	0.780	6.3	3.13	226
5. Скарификация + Гумат калия Суфлер	108	0.682	6.3	2.7	195
HCP_{05}				0.25	1
S_x				0.08	0.44

и 5 превосходили вариант 2 на 0.150, 0.101 и 0.072 г соответственно, масса 1000 семян составила в вариантах “скарификация + Учкун плюс” и “скарификация + Флороксан” — 6.7, “скарификация + Гумат калия Суфлер” — 6.6, в варианте “скарификация” — 6.5 г. Прирост урожайности семян

с одной грядки в опытных вариантах относительно варианта 2 составил 1.0, 0.98 и 0.8 г. Наибольшую эффективность от применения предпосевной обработки семян регуляторами роста на урожайность фитомассы с одного куста *A. babatagi* наблюдали при предпосевной обработке Флороксаном, что

составило 283 г в среднем с одного куста и превышало контроль на 197 г. Урожайность фитомассы вариантов 3 и 5 была больше контроля на 189 и 186 г, а относительно варианта 2 – на 37.3 и 33.7 г соответственно.

Анализ приведенных данных свидетельствовал, что опытные варианты с применением препаратов Учкун плюс, Флороксан и Гумат калия Суфлер в посевах *A. xanthomeloides* опережали контроль и вариант 2 по всем показателям. Например, по количеству плодов на одном кусте варианты 3, 4 и 5 превосходили контроль на 53.2, 60.4 и 44.4 шт. соответственно. По сравнению с вариантом 2 количество плодов было больше на 30.9, 38.1, 22.1 шт./растение. Масса 1000 семян составила: в варианте 1–6.1, 2–6.05, 3–6.4, вариант 4 и 5–6.3 г. Под действием препаратов Учкун плюс, Флороксан и Гумат калия Суфлер прибавка урожайности семян с одной грядки превышала контроль на 1.82, 1.95 и 1.52 г, тогда как в сравнении со скарифицированными семенами – на 0.92, 1.05 и 1.52 г соответственно. Наибольшая урожайность фитомассы *A. xanthomeloides* с одного куста зафиксирована в вариантах 3 и 4, в которых прирост составлял 103 и 110 г относительно контроля. Урожайность фитомассы вариантов с применением PPP и органоминерального удобрения относительно скарифицированных семян была больше на 53.7, 61.2 и 30.7 г соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что предпосевная обработка регуляторами роста растений (PPP) *A. babatagi* и *A. xanthomeloides* способствовала увеличению содержания хлорофиллов *a*, *b*, их суммы *a + b* по отношению к контрольному варианту и варианту скарифицированных семян.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что предпосевная обработка регуляторами роста Учкун плюс, Флороксан и Гумат калия Суфлер в посевах *A. babatagi* и *A. xanthomeloides* существенно повлияла на всхожесть, ускорение темпов роста и развития растений, а также способствовала увеличению количества плодоеlementов, повышению урожайности и фитомассы растений. Это дало возможность получить качественный и количественный урожай семян и фитомассы *A. babatagi* и *A. xanthomeloides*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юрьевич П.Н., Владимиров К.Е. Эффективность обработки семян культуры томата препаратом Энергия-М // Известия ОГАУ. 2018. № 1 (69). С. 59–61.

2. Ефремова Ю.В. Биостимуляторы роста – ресурсосберегающий элемент земледелия // Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences. 2016. № 4 (52). С. 86–91.
3. Rademacher W. Plant Growth Regulators: Backgrounds and Uses in Plant Production // Journal of Plant Growth Regulation. 2015. V. 34. P. 845–872.
4. Cunningham A.B., Brinckmann J.A., Yang X., He J. Introduction to the special issue: saving plants, saving lives: trade, sustainable harvest and conservation of traditional medicinals in Asia // J. Ethnopharmacol. 2018. V. 229. P. 288–292.
5. Сидельников Н.И., Ковалев Н.И., Хазиева Ф.М. Роль регуляторов роста и микроудобрений при введении лекарственных растений в культуру // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 3. С. 62–66.
6. Абрамчук А.В., Мингалиев С.К., Карпунин М.Ю. Эффективность предпосевной обработки семян лопуха тибетского регуляторами роста // Аграрный вестник Урала. 2018. № 6 (173). С. 5–10.
7. Тоцкая С.А., Савченко О.М., Хазиева Ф.М., Грязнов М.Ю. Приемы повышения урожайности и их влияние на качество сырья и семян змееголовника молдавского // Агротехнический вестник. 2019. № 6. С. 37–41.
8. Курбанова Э.Р., Закирова Р.П., Агзамова М.А. Разработка способов проращивания семян *Astragalus sieversianum* и *A. babatagi* с применением регуляторов роста // Евразийский Союз Ученых. 2020. Т. 2. Вып. 10/70. С. 58–61.
9. Курбанова Э.Р., Жанибеков А.А., Хушатов Т.Ш., Закирова Р.П. Влияние сроков посева семян *Astragalus xanthomeloides* на рост и развитие растений в условиях города Ташкента // Узбекский Биологический Журнал. 2022. № 6. С. 64–69.
10. Карпова Г.А., Карпова Л.В., Фролова Е.Ю. Активация ранних ростовых процессов семян под действием регуляторов роста как фактор повышения полевой всхожести и урожайности яровой пшеницы // Нива Поволжья. 2016. № 1 (38). С. 29–35.
11. Bratkov V.M., Shkondrov A.M., Zdraveva P.K., Krasteva I.N. Flavonoids from the Genus *Astragalus*: Phytochemistry and Biological Activity // Pharmacognosy Reviews. 2016. V. 10. P. 11–32.
12. Сергалиева М.У., Мажитова М.В., Самотруева М.А. Растения рода Астрагал: перспективы применения в фармации // Астраханский медицинский журнал. 2015. № 2. С. 17–31.
13. Polat E., Bedir E., Perrone A., Piacente S., Alankus-Caliskan O. Phytochemistry. Triterpenoid saponins from *Astragalus wiedemannianus* Fischer. 2010. V. 71. № 5–6. P. 658–662.
14. Коровин Е.П. Флора Узбекистана. Ташкент: АН Узбек. ССР, 1955. Т. 3. 825 с.

15. Исаев М.И., Горовиц М.Б., Абубакиров Н.К. Три-терпеновые гликозиды *Astragalus* и их генины. XXVIII. Циклоартаны *Astragalus babatagi* // Химия природных соединений. 1988. № 6. С. 880–882.
16. Yasinov R.K., Yakovlev G.P. Flavonoids of *Astragalus babatagi* // Chemistry of Natural Compounds. 1986. V. 22. P. 349.
17. Janibekova A.A., Youssef F.S., Ashour M.L., Madalieveva N.Z. New flavonoid glycosides from two *Astragalus* species (*Fabaceae*) and validation of their antihyperglycaemic activity using molecular modelling and in vitro studies // Industrial Crops & Products. 2018. V. 118. P. 142–148.
18. Курбанова Э.Р., Закирова Р.П., Спиридонов С.Я., Халиков С.С., Чкаников Н.Д. Влияние регулятора роста Флораксан на рост, развитие и урожайность хлопчатника // Агрохимия. 2019. № 6. С. 27–33.
19. Закирова Р.П., Хидирова Н.Н., Курбанова Э.Р. Эффективность композиции биостимуляторов учкун плюс на культуре хлопчатника // Агрохимия. 2020. № 5. С. 26–30.
20. Сулаймонов Б.А., Очилов Р.О. Список химических и биологических средств борьбы с вредителями, болезнями растений и сорняками, дефолиантов и регуляторов роста растений, разрешенных для применения в сельском хозяйстве республики Узбекистан. Ташкент: Niso-Poligraf, 2016. 383 с.
21. Kurbanova E.R., Zakirova R.P. Influence on plant seeds similarity *Astragalus babatagi* and *A. sieversianus* different methods of pre-seeding treatment // 14th International Symposium on the Chemistry of Natural Compounds; Tashkent; 2021. P. 100.
22. Ракитин Ю.В. Методы определения регуляторов роста и гербицидов. Л.: Наука, 1966. 199 с.
23. Третьяков Н.Н. Практикум по физиологии растений. М.: Агропромиздат, 1990. 86–94 с.

Effectiveness of Pre-Sowing Treatment with Plant Growth Regulators to Improve the Productivity of *Astragalus babatagi* and *A. xanthomeloides*

E. R. Kurbanova^{a,#}, R. P. Zakirova^a, N. S. Umarova^b, S. S. Khalikov^{c,##}, N. D. Chkanikov^c

^a*Yunusov Institute of Chemistry of Plant Substances of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, M. Ulugbek str. 77, Tashkent 100170, Republic of Uzbekistan*

^b*Tashkent State Agrarian University, Department of Crop Production and Oilseeds, ul. University 2a, Tashkent-140 100140, Republic of Uzbekistan*

^c*Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds of the Russian Academy of Sciences, ul. Vavilova 28, Moscow 119991, Russia,*

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

^{##}*E-mail: salavatkhalikov@mail.ru*

In 2022, under the conditions of the growing experience of the IHR of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan on plants *Astragalus babatagi* and *Astragalus xanthomeloides*, optimal sowing dates and options for seed treatment with plant growth regulators and organo-mineral fertilizer were studied. The positive effect of pre-sowing seed treatment was revealed, which significantly affected the increase in seed productivity and plant phytomass. It was found that pre-sowing treatment of *Astragalus babatagi* seeds with Uchkun plus, Floroxan and potassium Humate Prompter preparations contributed to an increase in seed yield from one bed by 1.0, 0.98 and 0.8 g relative to scarified seeds and an increase in phytomass yield by 189, 197 and 186 g, respectively. The increase in the yield of *Astragalus xanthomeloides* seeds from one bed in experimental versions using Uchkun plus, Floroxan and potassium Humate Prompter increased by 0.92, 1.05 and 0.62 g, respectively, compared with the “scarification” option, and compared with the control by 1.82, 1.95 and 1.52 g, respectively. The yield of phytomass increased by 53.7, 61.2 and 30.7 g relative to the variant of scarified seeds, whereas in relation to the control these indicators increased by 103, 110 and 79.8 g, respectively.

Keywords: scarification, plant growth regulators, *Astragalus babatagi*, *Astragalus xanthomeloides*, sowing dates, germination, yield.

УДК 632.4:633.16“321”:632.118.39(470.333)

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МИКОЦЕНОЗОВ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО И СВОЙСТВА ГРИБОВ С ОТЧУЖДЕННЫХ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НОВОЗЫБКОВСКОГО РАЙОНА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. С. Н. Михалева^{1,*}, Л. Н. Ульяненко¹, Н. И. Будынков¹, А. П. Глинушкин¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050, Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

*E-mail: svetlanova-1985@mail.ru

Изучены особенности структуры микоценозов ячменя ярового сорта Гонар на отчужденных территориях Новозыбковского р-на Брянской обл., загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Исследование проводили в 1991–1998 гг. (плотность загрязнения ^{137}Cs ~ 1.8 МБк/м²) с использованием традиционных полевых методов наблюдения и лабораторных анализов по идентификации видов грибов и определения их активности. Через 7 лет после аварии эпифитная микробиота семян ячменя характеризовалась повышенной активностью грибов из рода *Fusarium* с доминированием возбудителя снежной плесени *F. nivale* Ces. (*Microdochium nivale*) и микотоксичного гриба *F. sporotrichiella* Bilai. (sin. *F. sporotrichioides*). Для сравнения, в то же время микробиота семян ячменя на полях Раменского р-на Московской обл. отличалась не только по видовому составу грибов, но и по их свойствам: отмечено отсутствие таких видов грибов как *Nigrospora oryzae* и *Ulocladium consortiala*, довольно многочисленных на брянских полях, и присутствие в консорциуме микроорганизмов гриба *F. sambucinum* Fuckel, не обнаруженного на загрязненных ^{137}Cs и выведенных из хозяйственного оборота полях. В структуре внутрисеменной инфекции ячменя также отмечено заметное присутствие грибов из рода *Fusarium*. Определены свойства метаболитов грибов из рода *Penicillium*: суспензии спор грибов *P. expansum* и *P. cyclopium*, используемые для обработки семян ячменя, вызывали депрессию – достоверное снижение всхожести семян и морфофизиологических характеристик развития проростков. Проведен скрининг изолятов 26 видов грибов по их влиянию на выживаемость парамеций и составлен их рейтинг. Показано, что в условиях отсутствия планового ведения растениеводства по региональным технологиям и применения средств защиты растений от болезней в течение 7 лет после аварии произошел сдвиг в структуре видов грибов, присутствующих на корнях и стеблях ячменя сорта Гонар в сторону увеличения доли фитопатогенных грибов. При близком числе видов микромитетов на растениях ячменя на загрязненных радионуклидами полях Брянской обл. и “чистых” угодьях Московской обл. (22 вида против 21 соответственно) на техногенных территориях было выделено 9 видов фитопатогенов (41% от общего числа видов) и 7 видов (33%). При этом суммарная активность фитопатогенов на отчужденных радиоактивно загрязненных территориях составила 18 баллов, на “чистых” – 13. Соотношение Фитопатогены/Сапрофиты, рассчитанное по суммарной активности этих групп грибов, в Брянской обл. было на 37.5% больше, чем в Московской обл., а по соотношению Фитопатогены/Антагонисты – в 2.2 раза больше. При этом тенденция преобладания фитопатогенов над другими видами грибов на радиоактивно загрязненных территориях была закономерной, что подтверждено результатами более ранних исследований.

Ключевые слова: микоценоз, ячмень яровой, радиоактивно загрязненные территории, активность, фитопатогены.

DOI: 10.31857/S0002188124020068

ВВЕДЕНИЕ

Масштабный и долговременный характер последствий аварии на Чернобыльской АЭС на каждом временном этапе имеет свои особенности. Спустя более 35 лет после аварии ретроспективный анализ ранее полученных данных позволяет оценить их значимость

с точки зрения экологических изменений и поиска инструментов выявления общебиологических закономерностей последствий загрязнения почв. Тем более, что устойчивость агроэкосистем имеет определяющее значение для техногенно загрязненных территорий [1, 2]. Исходя из постулата, что на радиоактивно загрязненных территориях роль вредных

организмов сохраняется [3, 4], возникает необходимость в более полной информации о реакциях компонентов агроценозов на это воздействие. И если для основного компонента — сельскохозяйственных растений — такая информация классифицирована и даже рассматривают аспекты использования ответных реакций растений в качестве критерия оценки состояния окружающей среды [5], то сведения о консорциуме возбудителей болезней растений, изменении их свойств либо рассматриваются в контексте нарушения агротехники возделывания культур на загрязненных территориях [6], либо как констатация развития болезней в различных биотопах [7, 8].

Принимая во внимание комплексный подход к отработке системы мероприятий, направленных на смягчение негативных последствий радиационных аварий, а в агросфере, прежде всего, на реализацию возможностей получения растениеводческой продукции с минимальным содержанием радионуклидов и возвращение в хозяйственный оборот отчужденных после аварии сельскохозяйственных угодий [6, 9], результаты полевых исследований в разные периоды после аварии могут иметь первостепенное значение.

Цель работы — изучение особенностей формирования структуры микробных консорциев ячменя ярового сорта Гонар, произраставшего на отчужденных радиоактивно загрязненных территориях Новозыбковского р-на Брянской обл., и определение свойств грибов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 1991–1998 гг. в зоне отчуждения на выведенных из севооборота после аварии на Чернобыльской АЭС полях колхоза “Комсомолец” Новозыбковского р-на Брянской обл. (ныне СХПК “Комсомолец”). Почвы этого региона — дерново-подзолистые песчаные и супесчаные, с низким плодородием. Содержание гумуса не превышает 2%, рН 5.4–6.4, содержание подвижного фосфора составляло 34–40 мг/100 г почвы, подвижного калия — 8–10 мг/100 г. Гамма-фон на бывших сельскохозяйственных угодьях СХПК “Комсомолец” в 1991–1998 гг. составлял от 50 до 100 мкР/ч (измерения проведены дозиметром ДРГ-01Т на высоте 100 см от поверхности почвы), плотность загрязнения ^{137}Cs доходила до 1800 кБк/м² [10]. По оценкам авторов [11], средневзвешенная плотность загрязнения ^{137}Cs в 1998 г. на сенокосах и пастбищах этого региона составила 1262 кБк/м².

Объектами исследования были различные виды микроскопических грибов, характерных для микоценозов ячменя ярового. Грибы выделяли в чистые культуры, изучали их морфолого-культуральные и патогенные свойства [12]. Идентификацию грибов проводили по культурально-морфологическим признакам

с использованием общепризнанных определителей, отражающих токсонимическую номенклатуру видов. Патогенные виды выделяли из семян, предварительно дезинфицированных спиртом или хлораминном, многократно промывали стерильной водой или фламбировали пламенем горелки. Микотоксикозную активность видов грибов определяли по влиянию их водных экстрактов на морфобиологические характеристики развивающихся проростков и выживаемость простейших одноклеточных организмов (парамеций) по принятым методикам [13].

Фитосанитарную экспертизу семян проводили в соответствии с существующими рекомендациями [14]. Показатели развития проростков в опытах *in vitro* и лабораторную всхожесть (ЛВ, %) семян ячменя ярового определяли согласно ГОСТ [15].

Статистическую обработку экспериментальных данных методом дисперсионного анализа проводили с применением пакета прикладных программ в составе Microsoft Excel 97.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании результатов изучения консорциума микробиоты злаковых культур в Новозыбковском р-не Брянской обл. с плотностью загрязнения ^{137}Cs 555–1480 кБк/м² и выше было установлено, что спектр видов микроскопических грибов зерновых культур в основном соответствовал типичному для данного региона [16]. Анализ активности колонизирующей микробиоты семян ячменя, собранных с отчужденных полей СХПК “Комсомолец” Новозыбковского р-на Брянской обл. через 7 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, свидетельствовал о высокоом распространении грибов, вызывающих корневые гнили (табл. 1).

Возбудители фузариозной (виды грибов из рода *Fusarium*) и гельминтоспориозной (возбудитель *Bipolaris sorokiniana*) корневых гнилей относятся к достаточно частым представителям комплекса патогенов на растениях ячменя. Во многих зерносеющих регионах РФ фузариевые грибы видов *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. culmorum* (Sm.) Sacc., *F. graminearum* Shwabe, *F. gibbosum* App. et Wr., *F. oxysporum* Sclht., *F. solani* (Mart) App. et Wr. отличаются высокой встречаемостью [17, 18]. В Новозыбковском р-не Брянской обл. наиболее распространенными оказались *F. nivale* Ces. и *F. sporotrichiella* Bilai. Им уступали по активности *F. culmorum* и *F. moniliforme* J. Sheld., распространение которых совпадало с *Microdochium bolleyi* (Sprag.) и *Nigrospora oryzae* (Berk. & Broome) Petch. Высокую встречаемость на семенах ячменя с отчужденных полей имели *Bipolaris sorokiniana* Shoem. и *Ulocladium consortiale* (Thum.) E.G. Simmons, способные, как и *Nigrospora oryzae*, снижать всхожесть семян.

Таблица 1. Активность колонизирующей микробиоты семян ячменя с отчужденных радиоактивно загрязненных полей Брянской и “чистых” полей Московской обл. (1993 г.)

Вид грибов	Активность патогенов*	
	Брянская обл.	Московская обл.
<i>Bipolaris sorokiniana</i> Shoem.	+++	+++
<i>Drechslera teres</i> Sacc.	+	+++
<i>Fusarium culmorum</i> (Sm.) Sacc.	++	+++
<i>Fusarium nivale</i> Ces.	+++	+
<i>Fusarium moniliforme</i> J. Sheld.	+	+
<i>Fusarium sambucinum</i> Fuckel	–	+
<i>Fusarium sporotrichiella</i> Bilai	+++	+++
<i>Fusarium oxysporum</i>	–	–
<i>Fusarium solani</i>	–	–
<i>Microdochium bolleyi</i> (Sprag.)	++	+
<i>Nigrospora oryzae</i> (Berk. & Broome) Petch.	++	–
<i>Rhizoctonia cerealis</i> van der Hoven	+	++
<i>Ulocladium consortiale</i> (Thum.) E. G. Simmons	+++	–
Суммарная активность (расчет по баллам)	21	18

* Активность: +++ – высокая (или 3 балла), ++ – средняя (или 2 балла), + – слабая (или 1 балл), – не обнаружена.

Для сравнения, микробиота семян ячменя с незагрязненных радионуклидами полей Раменского р-на Московской обл. отличалась высокой активностью *Bipolaris sorokiniana* Shoem., *Drechslera teres* Sacc., *F. culmorum* и *F. sporotrichiella*. Однако в этих экологических условиях отмечено отсутствие таких видов как *Nigrospora oryzae* и *Ulocladium consortiale* и наличие гриба *F. sambucinum* Fuckel, не обнаруженного на техногенно загрязненных ¹³⁷Cs территориях.

По частоте встречаемости грибов в эпифитной микрофлоре семян ячменя сорта Гонар доминирующее

положение занимали грибы из рода *Fusarium* (*F. nivale* и *F. avenaceum*), на долю которых суммарно приходилось 76.4% от общей колонизации поверхности семени. Однако частота встречаемости фитопатогенов (*Bipolaris sorokiniana*, *Drechslera teres*) была в этом случае невысокой (2%), но для фузариев составляла 13% (табл. 2).

Грибы *Bipolaris sorokiniana* и *Drechslera teres* были представлены в равных долях – 11.8% от величины общей колонизации. Среди сапрофитных грибов доминировал *Alternaria alternata* (66.7%). Кроме этого,

Таблица 2. Видовой состав микрофлоры и сопутствующих видов грибов семян ячменя ярового сорта Гонар

Вид грибов	Эпифитная микрофлора		Глубинная инфекция	
	частота встречаемости грибов	доля от общей колонизации	частота встречаемости грибов	доля от общей колонизации
%				
Фитопатогены				
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	2*	11.8	8	18.2
<i>Drechslera teres</i>	2	11.8	6	13.6
<i>Fusarium</i> sp. (<i>F. nivale</i> , <i>F. avenaceum</i>)	13	76.4	30	68.2
Сапрофиты				
<i>Alternaria alternata</i>	66	66.7	73	59.3
<i>Penicillium</i> sp.	13	13.1	20	16.3
<i>Mucor</i> sp.	20	20.2	26	21.1
<i>Epicoccum lignorum</i>	0	0	4	3.3
Антагонисты				
<i>Trichoderma lignorum</i>	2	100	10	100

* Представлены средние данные, ошибка среднего арифметического не превышала 7%.

встречались грибы из родов *Mucor* (20.2%) и *Penicillium* (13.1%). Грибы—антагонисты были представлены только видом *Trichoderma lignorum*, частота встречаемости которого составила 2%.

Следует отметить, что структура колонизирующих фитопатогенов внутри семян была близкой к структуре их распределения на поверхности с доминирующим положением грибов из рода *Fusarium*. Это в целом касалось и комплекса сапрофитных, и грибов-антагонистов, хотя по частоте встречаемости, например, для *Trichoderma lignorum* на поверхности и внутри семян различия оказались 5-кратными, а сапрофитный гриб *Epicoccum purpurascens* был выявлен только внутри семени.

На корнях и стеблях ячменя сорта Гонар на отчужденных полях с высокой плотностью загрязнения радионуклидами спустя 7 лет после аварии на Чернобыльской АЭС наиболее распространенной группой видов фитопатогенов были грибы из рода *Fusarium*, с преобладанием *F. nivale* и *F. sporotrichiella*, активность которых совпадала (по 3 балла) с активностью *Bipolaris sorokiniana* (табл. 3).

Возможно, преимущества распространения этого патогена связаны с его выраженной способностью передаваться с семенами, что возможно и для *F. nivale*. Повышение активности гриба *F. nivale*, вызывающего корневые гнили, трахиомикозы стеблей и поражение верхних листьев в период колошения, способно привести к быстрому “старению” растений

Таблица 3. Заселенность грибами корней и стеблей ячменя в различных регионах РФ спустя 7 лет после аварии на ЧАЭС (1993 г.)

Вид грибов	Активность грибов	
	Брянская обл.	Московская обл.
	Фитопатогены	
<i>Bipolaris sorokiniana</i> Shoem.	3	3
<i>Fusarium culmorum</i> (Sm.) Sacc.	2	3
<i>Fusarium nivale</i> Ces.	3	2
<i>Fusarium sporotrichiella</i> Bilai	3	2
<i>Fusarium oxysporum</i> (Schl.) Shyd.et Hans.	1	0
<i>Nigrospora oryzae</i> (Berk. & Broome) Petch.	2	0
<i>Microdochium bolleyi</i> (Sprag.)	2	1
<i>Rhizoctonia cerealis</i> van der Hoven	1	1
<i>Pythium</i> spp. Hesse	0	1
<i>Borytis cinerea</i> Fr.	1	0
	Сапрофиты	
<i>Alternaria alternata</i>	3	3
<i>Aspergillus mulharensis</i>	0	1
<i>Aureobasidium pullans</i>	1	2
<i>Bricoccus purpurances</i>	1	0
<i>Cladosporium herbarum</i>	3	3
<i>Penicillium</i> spp.	2	3
<i>Rhizopus nigricans</i>	3	2
<i>Mucor</i> sp.	2	2
<i>Ulocladium consortiala</i> J. Sac.	2	0
	Антагонисты	
<i>Acremontium alternatum</i>	1	1
<i>Penicillium chrysogenum</i>	1	1
<i>Gliocladium roseum</i>	1	2
<i>G. virens</i>	2	1
<i>G. album</i>	0	1
<i>Oospora pyalylnula</i>	0	1
<i>Trichoderma lignorum</i>	2	3

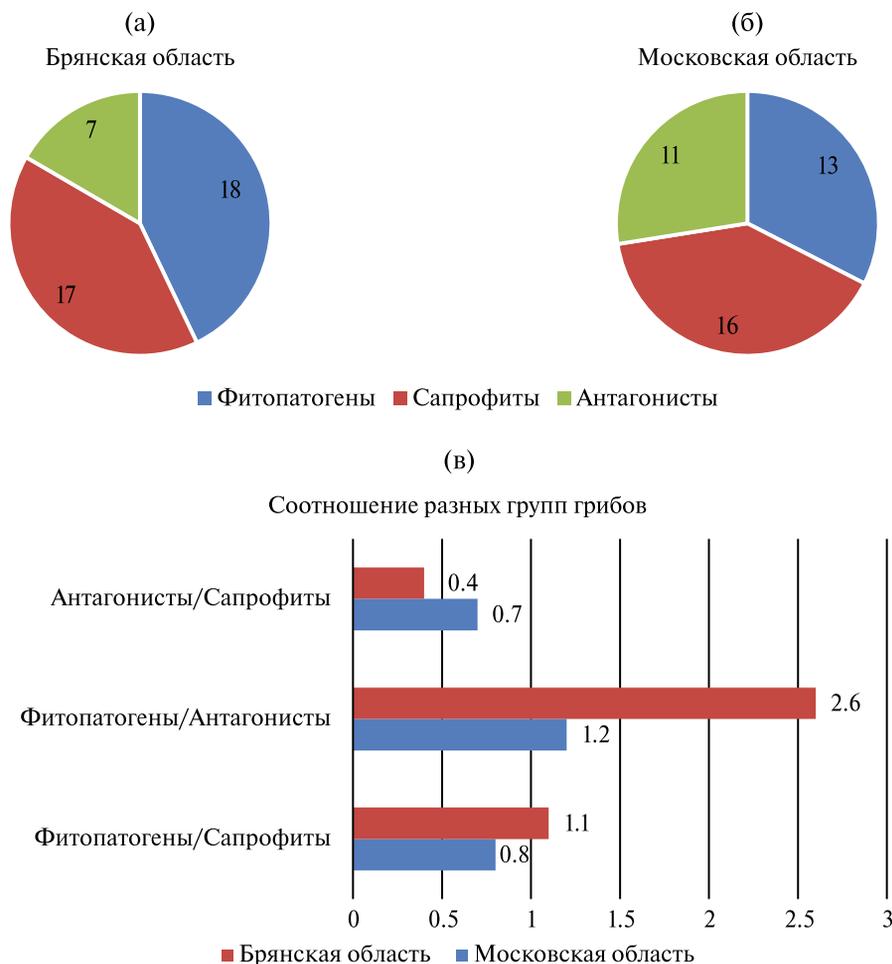


Рис. 1. Структура микоценоза на отчужденных полях Новозыбковского р-на Брянской обл. (а) и “чистых” полях Раменского р-на Московской обл. (б) и соотношение различных групп грибов (в).

и, как следствие, потере натуре зерна и особенно качества [19]. Кроме этого, среди сообщества грибов были обнаружены виды *Nigrospora oryzae* и *Ulocladium consortiale*. Фитопатогены, вызывающие прикорневые гнили ячменя (*Microdochium bollei* и *Rhizoctonia cerealis*), имели балл распространения, равный 2. Грибы *Fusarium sporotrichiella*, *F. nivale* и ряд других видов грибов из рода *Fusarium* относятся к общим патогенам для многих зерновых культур [20, 21], чем и объясняется в севооборотах с доминированием злаковых культур их широкое распространение на растениях ячменя, произрастающего в непосредственной близости с другими зерновыми культурами (озимой рожью, озимой пшеницей, овсом) на отчужденных территориях. Следует отметить, что на полях Московской обл. только для *Bipolaris sorokiniana* была отмечена сходная активность (3 балла) с отчужденными территориями Брянской обл. На “чистых” территориях Московской обл. вредоносная активность *F. nivale* и *F. sporotrichiella* была на 1 балл меньше, такая же тенденция отмечена для *Fusarium oxysporum*, *Microdochium*

bolleyi, *Borytis cinerea* и *Nigrospora oryzae*. Распространение грибов-антагонистов имело свои особенности в каждом из регионов наблюдения.

В целом в микоценозах на изученных постоянных площадках отчужденных территорий Новозыбковского р-на Брянской обл. было обнаружено 22 вида грибов, из них 9 – фитопатогенных, на долю которых приходилось 41%, тогда как на экспериментальных площадках Раменского р-на Московской обл. насчитывали 21 вид грибов с долей фитопатогенов 33% (7 видов фитопатогенов). Суммарная активность фитопатогенов на отчужденных радиоактивно загрязненных территориях Брянской обл. достигала 18 баллов, а на “чистых” территориях их активность была ниже – 13 баллов (рис. 1). Структура сапрофитных грибов оказалась очень близкой как по составу (8 и 7 видов в Брянской и Московской обл.), так и по суммарной активности (17 и 16 баллов соответственно), при этом в обеих областях обнаружены грибы с микотоксичными свойствами (*Cladosporium*

Таблица 4. Влияние метаболитов грибов из рода *Penicillium*, выделенных из стеблей ячменя, на показатели развития семян и проростков ячменя сорта Гонар

Вариант	Лабораторная всхожесть семян		Длина проростков	
	%	% к контролю	см	% к контролю
Контроль (семена замочены в воде)	82		12.7	
Семена замочены в суспензии спор грибов:				
<i>Penicillium expanseum</i>	40	48.8	4.0	31.5
<i>Penicillium cyclopium</i>	42	51.2	4.4	34.6
<i>Penicillium cyaneo-fulvum</i>	76	92.7	8.5	66.9
<i>Penicillium viridicatum</i>	82	100	10.6	83.5
<i>HCP</i> ₀₅	11		1.7	

Таблица 5. Влияние изолятов грибов микофлоры зерновых культур с отчужденных радиоактивно загрязненных территорий Новозыбковского р-на Брянской обл. на жизнеспособность одноклеточных организмов

Вид грибов	Время наступления гибели парameций, мин
<i>Fusarium graminearum</i>	4
<i>Gliocladium penicilloides</i>	4
<i>Acroconidiella tropaeoli</i>	5
<i>Fusarium oxysporum</i>	6
<i>Bipolaris specifera</i>	20
<i>Rhizoctonia solani</i>	20
<i>Epicoccum purpurascens</i>	27
<i>Mycellia sterilla</i>	30
<i>Pyrenophora teres</i>	30
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	60
<i>Acremonium charticola</i> , <i>Aureobasidium pullulans</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Coniothyrium zeae</i> , <i>Glocotinia tenulenta</i> , <i>Harria acremoides</i> , <i>Microdochium bolleyi</i> , <i>Nigrospora oryzae</i> , <i>Cospora hyalinula</i> , <i>Penicillium</i> sp., <i>Phoma</i> sp., <i>Rhynchosporium graminicola</i> , <i>Septoria nodorum</i> , <i>Trichoderma lignorum</i> , <i>Trichothecium roseum</i> , <i>Virgariella atra</i>	Парameции оставались живы в течение всего периода наблюдений (1 ч)

herbarum) с высокой активностью. Высокое распространение на ячмене на “чистых” полях Московской обл. имели формы видов сапрофитных грибов из рода *Penicillium*, которые заселяют растения бессимптомно и обладают отрицательным действием на прорастание семян. На загрязненных радионуклидами территориях Брянской обл. частота встречаемости пенициллов была меньше, что, вероятно, обусловлено приоритетной активностью фитопатогенных грибов (табл. 3, рис. 1а, б).

Напротив, в супесчаных почвах Новозыбковского р-на реже, чем в дерново-подзолистых, встречались грибы-антагонисты из родов *Trichoderma* и *Gliocladium*. Число видов грибов-антагонистов на техногенно загрязненных территориях было меньше на 40% (5 против 7), а общий балл активности снижен на 30%. Патогенные грибы проникают в растительные ткани, за ними – токсинообразующие сапрофитные грибы и антагонисты, что приводит к интенсивному патологическому процессу,

обусловленному активизацией агрессивных свойств эндогенно сохраняющихся грибов. Такой механизм характерен для возбудителей фузариозных и гелиминтоспориозных заболеваний, а также ризоктониоза и глеоспороза, которые обнаруживаются в проростках и симптомы заболеваний проявляются со второй половины вегетации растений.

Величина общей активности представителей всех групп микроскопических грибов в Брянской и Московской обл. была близкой и составляла 42 и 39 баллов соответственно (различия составили ≈8%). Соотношение Фитопатогены/Сапрофиты и, рассчитанное по вредоносной активности этих групп грибов, в Брянской обл. было на 37.5% больше, чем в Московской обл., а соотношение Фитопатогены/Антагонисты – в 2.2 раза больше (рис. 1в).

Выявлено, что метаболиты грибов из рода *Penicillium*, выделенные из стеблей ячменя, произрастающего на отчужденных территориях, при добавлении в среду для проращивания семян снижали их

всхожесть и показатели развития проростков. При замачивании семян ячменя в суспензии спор грибов *P. expansum* и *P. cyclopium* отмечено значимое (HSP_{05}) практически двукратное подавление лабораторной всхожести семян. В этих же вариантах снижение длины проростков составило 68.5 и 65.4% соответственно (HSP_{05}). Использование суспензии спор *P. cyanocephalum* вызывало подавление роста проростков на 33, *P. viridicatum* – всего на 16% (табл. 4).

Кроме того, скрининг изолятов 26 видов грибов, выделенных с зерновых культур, произрастающих на отчужденных радиоактивно загрязненных территориях, свидетельствовал о различном их влиянии на жизнеспособность одноклеточных организмов. Например, при добавлении в среду изолятов *Fusarium graminearum*, *Gliocladium penicilloides*, *Acroconidiella tropaeola* и *Fusarium oxysporum* гибель парameций (семейство парameции, род инфузории, вид инфузория-туфелька), наступала в течение 4–6 мин (табл. 5).

При добавлении в среду изолятов грибов видов *Bipolaris specifera*, *Rhizoctonia solani*, *Epicoccum purpurascens*, *Mycelia sterilia* и *Pyrenophora teres* наступление гибели парameций наступало в течение 20–30 мин, а при введении изолята *Sclerotinia sclerotiorum* – в течение 20–30 мин. При воздействии изолятов таких видов грибов как *Acremoniella charticola*, *Aureobasidium pullulans*, *Botrytis cinerea*, *Coniothyrium zeae*, *Glocotinia tenulenta*, *Harria acremoides*, *Microdochium bolleyi*, *Nigrospora oryzae*, *Cospora hyalinula*, *Penicillium* sp., *Phoma* sp., *Rhynchosporium graminicola*, *Septoria nodorum*, *Trichoderma lignorum*, *Trichothecium roseum*, *Virgariella atra* в течение 1 ч наблюдения гибели парameций не обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Известно, что наиболее динамичные агробиоценозы одними из первых реагируют на изменения экологической ситуации. Вместе с тем в зонах техногенного радиоактивного загрязнения оснований для элиминации видов и быстрой смены видового состава микробиоты агробиоценозов нет, что связано с высокой устойчивостью микроскопических грибов к воздействию ионизирующих излучений [22–25]. С другой стороны, на фоне повышенного содержания в почвах радионуклидов и последующего отчуждения полей, сопровождающегося полным или частичным отказом от мероприятий по защите растений от вредных организмов, на этих территориях происходит сдвиг в структуре микробиоценозов и, как следствие, ухудшение фитосанитарной ситуации. На процессы сукцессии действуют абиотические факторы, прежде всего, влажно-температурный режим, что в значительной степени оказывает влияние на распространение и численность популяций вредных организмов, в частности, возбудителей болезней растений. Этим,

в том числе, могут быть обусловлены изменения численности специализированных видов, их активность или приуроченность к определенным фазам развития растений изменения.

Видовой состав микробиоты на выведенных из оборота полях СХПК “Комсомолец” Новозыбковского р-на Брянской обл. через 5 лет после аварии на ЧАЭС, как показано в исследовании [10], был представлен в основном патогенами-полифагами (*Fusarium culmorum*, *F. graminearum*, *F. moniliforme*, *F. nivale*, *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. sporotrichiella*, *Pythium debarianum*, *Rhizoctonia cerealis*), патогенами ограниченной специализации (*Bipolaris sorokiniana*, *Gaeumannomyces graminis* (*Ophiobolus graminis*), *Typhula borealis*, *Microdochium bolleyi* (*Gloeosporium bolleyi*), *Drechslera teres* (*Helminthosporium teres*), *Rhynchosporium graminicola*, *Septoria avenae*, *Drechslera avenae*, *Claviceps purpurea*, *Erysiphe graminis* (*Blumeria graminis*), *Puccinia recondita*, *Puccinia anomala*, *Ustilago nuda*) и токсикогенными грибами, в основном из родов *Fusarium* и *Penicillium*. Фитопатогены из родов *Bipolaris*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Microdochium* при изменении экологических условий могут преодолевать буферные барьеры биоценозов, тем более что дерново-подзолистые (супесчаные, легкие песчаные) почвы, преобладающие в Новозыбковском р-не Брянской обл., слабо заселены микромицетами-антагонистами [26, 27].

В рамках представленного исследования показано, что через 7 лет после аварии на Чернобыльской АЭС (плотность загрязнения $^{137}\text{Cs} \sim 1,8 \text{ МБк/м}^2$) эпифитная микробиота семян ячменя сорта Гонар на отчужденных территориях характеризовалась повышенной активностью грибов из рода *Fusarium* с доминированием *F. nivale* Ces. и гриба *F. sporotrichiella* Bilai. Микробиота семян ячменя на полях Раменского р-на Московской обл. отличалась от полученных в зоне отчуждения результатов не только по видовому составу грибов, но и по их агрессивным свойствам: отмечено отсутствие таких видов грибов как *Nigrospora oryzae* и *Ulocladium consortiale* и присутствие в консорциуме *F. sambucinum* Fuckel, отсутствующего на загрязненных ^{137}Cs и выведенных из хозяйственного оборота полях. В структуре внутрисеменной инфекции семян ячменя из зоны отчуждения также преобладали грибы из рода *Fusarium*. Следует отметить, что через 5 лет после аварии микологический анализ семян ячменя, полученных со стационаров в зоне отчуждения, свидетельствовал об их значительной колонизации грибом *Alternaria alternata* (86%) [10].

Исследованиями ряда авторов [28, 29] на примере штаммов *Purpureocillium lilacinum*, выделенных из почв Чернобыльской зоны с высокой плотностью загрязнения радионуклидами (до $0,6 \text{ МБк/м}^2$) и фоновых почв, свидетельствовали о высокой устойчивости грибов из Чернобыльской зоны к окислительному

стрессу по сравнению с контрольными, что связывают как с повышенным содержанием меланинов, так и изменением дыхательной активности, сопровождавшейся расходом дополнительных источников энергии, что подтверждено физиологическими и биохимическими исследованиями.

В нашем исследовании отмечено, что суспензии спор грибов *Penicillium expansum* и *P. cyclopium* вызвали достоверное снижение всхожести семян ячменя и морфофизиологических характеристик развития проростков. Проведенный скрининг изолятов 26 видов грибов по воздействию на жизнеспособность параметрий позволил составить их рейтинг (по убыванию): *Fusarium graminearum*, *Gliocladium penicilloides*, *Acroconidiella tropaeola* и *Fusarium oxysporum*; наименьшей — *Acremoniella charticola*, *Aureobasidium pullulans*, *Botrytis cinerea*, *Coniothyrium zaeae*, *Glocotinia tenulenta*, *Harria acremoides*, *Microdochium bolleyi*, *Nigrospora oryzae*, *Cospora hyalinula*, *Penicillium* sp., *Phoma* sp., *Rhynchosporium graminicola*, *Septoria nodorum*, *Trichoderma lignorum*, *Trichothecium roseum*, *Virgariella atra*.

Показано, что в условиях отсутствия планового ведения растениеводства по региональным технологиям и применения средств защиты растений от болезней в течение 7 лет после аварии происходил сдвиг в структуре присутствующих на корнях и стеблях ячменя сорта Гонар видов колонизирующих грибов в сторону фитопатогенов. При близком числе видов грибов на загрязненных радионуклидами в Брянской обл. и “чистых” полях Московской обл. (22 вида против и 21-го соответственно), число видов фитопатогенов на загрязненных территориях составило 9 (41% от общего числа видов), в Московской — 7 (33%). В условиях, когда заброшенные сельскохозяйственные угодья частично вовлекали в хозяйственное использование (выращивание многолетних злаковых трав на сено, зерновых культур и картофеля по упрощенным технологиям, в том числе, с целью изучения перехода радионуклидов из почвы в урожай), поддерживалось видовое разнообразие консорциума микроорганизмов разных групп специализации при высокой вероятности смены доминант. Наличие в фитоценозах злаковой сорной растительности повышало возможность распространения болезней, вызываемых патогенами-полифагами.

Суммарная величина активности фитопатогенов на отчужденных радиоактивно загрязненных территориях через 7 лет после аварии составила 18 баллов, на “чистых” — 13 (различия составляли 38.5%). Очень близкие результаты получены при сравнении активности региональных популяций грибов микоценоза зерновых культур через 5 лет [30] после аварии, характеризующиеся более высокой величиной активности на отчужденных территориях — 42 балла против 34 в Московской обл. (различия составляли 23.5%) [10].

Соотношение Фитопатогены/Сапрофиты, рассчитанное по суммарной активности разных групп грибов, в Брянской обл. через 7 лет после аварии было на 37.5% больше, чем в Московской обл., а по соотношению Фитопатогены/Антагонисты — в 2.2 раза больше. Можно предположить, что фитотоксичные виды грибов в условиях техногенного радиоактивного загрязнения почв обладают более высокими потенциальными возможностями по освоению экологической ниши в сравнении с другими видами и способны нанести вред культурным растениям [26]. При этом тенденция преобладания фитопатогенов над другими видами грибов на радиоактивно загрязненных территориях носит закономерный характер. Так, по частоте встречаемости через 5 лет после аварии на ячмене из отчужденных территорий соотношение Фитопатогены/Сапрофиты составило 2.1.

Следовательно, в сложившейся в Новозыбковском регионе Брянской обл. ситуации после аварии на Чернобыльской АЭС, на биогеоценозы действует целый ряд факторов, среди которых вычленили влияние только радиационного фактора достаточно сложно. Несмотря на то, что биоценозы отчужденных территорий относительно стабилизировались, их влияние на агроэкосистемы сопредельных полей невозможно прогнозировать без постоянного и детального изучения структуры микоценозов, встречаемости доминирующих видов и фитосанитарной обстановки в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС и их преодоление: Двадцатилетний опыт МАГАТЭ, Вена: МАГАТЭ, 2008. STI/PUB1239. 199 с.
2. Дутов А.И., Пузанова Л.А. Формирование устойчивости сельскохозяйственного производства к радионуклидному загрязнению агроэкосистем (на примере аварии на Чернобыльской АЭС) // Инновации в АПК: пробл. и перспективы 2021. № 4. С. 129–135.
3. Соколов М.С., Дородных Ю.Л., Марченко А.И. Здоровая почва как необходимое условие жизни человека // Почвоведение. 2010. № 7. С. 858–866.
4. Филипас А.С., Ульяненко Л.Н. Действие ионизирующих излучений на агроценозы. Радиобиологические последствия острого и хронического облучения основных компонентов. Germany: Palmarium, Academic publishing, 2012. 65 с.
5. Ульяненко Л.Н., Удалова А.А. Оценка состояния окружающей среды по реакции сельскохозяйственных растений на действие ионизирующих излучений // Бюл. Нац. радиационно-эпидемиол. регистра “Радиация и риск”. 2015. Т. 24. № 1. С. 118–131.
6. Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Ульяненко Л.Н., Шубина О.А., Жигарева Т.Л. Рекомендации по организации земледелия на техногенно загрязненных сельскохозяйственных угодьях (загрязнение ра-

- дионуклидами и тяжелыми металлами). Обнинск: ВНИИСХРАЭ РАСХН, 2006. 66 с.
7. Симонов В.Ю., Ничипоров А.В. Фитосанитарный мониторинг состояния зерновых агробиоценозов Брянской обл. // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК. Брянск, 2012. С. 169–172.
 8. Лой Н.Н., Шишко В.И. Оценка фитосанитарного состояния на отчужденных сельскохозяйственных угодьях Брянской обл. // Сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. “Радиоэкологические последствия радиационных аварий”. К 35-й годовщине аварии на ЧАЭС. Обнинск, 2021. С. 199–202.
 9. Паренюк Е.Ю., Шаванова Е.Е., Ильенко В.В., Титова Л.В., Левчук С.Е., Гудков И.Н. Влияние почвенной микрофлоры на переход ¹³⁷Cs в растения // Радиационная биология. Радиоэкол. 2015. Т. 55. № 1. С. 51–56.
 10. Filipas A., Oulianenko L., Alexakhin R., Pimenov E., Rudakov O., Mikhailova S. Phytopathological state of cereal crop stands on agricultural lands contaminated by radioactive substances following the accident at the Chernobyl NPP // Arch. Phytopathol. Plant Protect. 1997. V. 31. P. 133–140.
 11. Кречетников В.В., Титов И.Е., Шубина О.А., Прудников П.В. Оценка текущей радиоэкологической обстановки на сельскохозяйственных угодьях Новозыбковского района Брянской обл. // Вестн. Брянск. ГСХА. 2017. № 4 (62). С. 25–30.
 12. Билай В.И. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 550 с.
 13. Билай В.И., Курбатская В.И. Определитель токсикообразующих микроорганизмов. Киев: Наукова думка, 1990. 236 с.
 14. Фитосанитарная экспертиза зерновых культур. (Болезни растений). Рекомендации. М.: Росинформгротех, 2002. 140 с.
 15. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Методы анализа: Сб. ГОСТов. М.: Изд-во стандартов, 2004.
 16. Михалева С.Н., Ульяненко Л.Н., Глинушкин А.П. Фитосанитарное состояние почв на территориях, загрязненных радионуклидами ЧАЭС, и подходы к решению проблем, возникающих при их возврате в сельскохозяйственный оборот // Достиж. науки и техн. АПК. 2022. Т. 36. № 2. С. 37–41. https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_2_37
 17. Бudyнков Н.И., Михалева С.Н., Проскурин А.В. Динамика доминирующих факультативных паразитов грибной природы в полевых агроценозах с минимальной обработкой почвы в западной части Волгоградской обл. // Агрохимия. 2021. № 1. С. 62–69.
 18. Бudyнков Н.И., Михалева С.Н. Прогрессирующее накопление опасных фузариев на зерне озимой пшеницы в хозяйствах юга России (2014–2020 гг.) // Агрохимия. 2022. № 1. С. 66–77.
 19. Санин С.С., Жохова Т.П. Влияние болезней и средств защиты растений на качество зерна пшеницы // Защита и карантин раст. 2012. № 11. С. 16–19.
 20. Санина А.А., Назарова Л.Н., Мотовилин А.А., Пахолкова Е.В., Ибрагимов Т.З., Никифоров Е.В., Стрежекозин Ю.А., Карлова Л.В., Корнева Л.Г., Жохова Т.П., Полякова Т.М., Абрамова Т.А., Рулева О.М. Фитосанитарная экспертиза зернового поля и принятие решений по опрыскиванию пшеницы фунгицидами. Теория и практические рекомендации // Прилож. к журн. “Защита и карантин растений”. 2016. № 5. С. 54–88.
 21. Санин С.С., Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Карлова Л.В., Корнева Л.Г., Рулева О.М. Интенсификация производства зерна пшеницы, фитосанитария и защита в Центральном районе России // Агрохимия. 2020. № 10. С. 36–44.
 22. Лой Н.Н., Ульяненко Л.Н., Филипас А.С., Степанчикова Н.С. Заражение пшеницы уредоспорами стеблевой ржавчины, подверженными воздействию ионизирующих излучений, и устойчивость растений к патогену // Докл. РАСХН. 2010. № 3. С. 30–33.
 23. Белозерская Т.А., Егорова А.С., Геслер Н.Н., Рязанова Л.П., Кулаковская Т.В. Метаболические механизмы адаптации грибов-экстремофилов Чернобыльской зоны // Усп. мед. микол. 2014. Т. 12. С. 88–90.
 24. Геслер Н.Н., Егорова А.С., Белозерская Т.А. Меланиновые пигменты грибов в экстремальных условиях существования (обзор) // Прикл. биохим. и микробиол. 2014. Т. 50. № 2. С. 125.
 25. Jung K.W., Yang D.H., Kim M.K., Seo H.S., Lim S., Bahn Y.-S. Unraveling fungal radiation resistance regulatory networks through the genome-wide transcriptome and genetic analyses of *Cryptococcus neoformans* // mBio. 2016. V. 11. N. 6. e01483–16. <https://doi.org/10.1128/mBio.01483-16>.
 26. Торопова Е.Ю., Соколов М.С., Глинушкин А.П. Индукция супрессивности почвы – важнейший фактор лимитирования вредоносности корневых гнилей // Агрохимия. 2016. № 8. С. 44–55.
 27. Соколова Г.Д., Глинушкин А.П. Антагонисты фитопатогенного гриба *Fusarium graminearum* // Микол. и фитопатол. 2017. Т. 51. Вып. 4. С. 191–201.
 28. Егорова А.С., Геслер Н.Н., Рязанова Л.П., Кулаковская Т.В., Белозерская Т.А. Исследование механизмов стрессоустойчивости грибов-индикаторов высоких уровней радиоактивного загрязнения чернобыльской зоны // Микробиология. 2015. Т. 84. № 2. С. 184–191.
 29. Белозерская Т.А., Егорова А.С., Геслер Н.Н., Рязанова Л.П., Кулаковская Т.В. Метаболические механизмы адаптации грибов-экстремофилов Чернобыльской зоны // Усп. мед. микол. 2014. Т. 12. С. 88–90.
 30. Филипас А.С., Ульяненко Л.Н., Пименов Е.П., Алексехин Р.М., Титова К.Д., Рудаков О.Л., Михалева С.Н., Моисеенко Ф.В. Развитие болезней злаковых культур на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях // Докл. РАСХН. 1996. № 2. С. 3–5.

Structure Particularity of Spring Barley Mycocenoses and Properties of Mushrooms from Alienated Radioactively Contaminated Territories of the Novozybkovsky District of the Bryansk Region

S. N. Mikhaleva^{a, #}, L. N. Ulyanenko^a, N. I. Budynkov^a, A. P. Glinushkin^a

^aAll-Russian Research Institute of Phytopathology,

ul. Institut, poss. 5, Moscow region, Odintsovsky district, r.p. Bolshiye Vyazemy 143050, Russia

[#]E-mail: svetlanova-1985@mail.ru

The features of the structure of mycocenoses of spring barley Gonar in the alienated territories of the Novozybkovsky district of the Bryansk region, contaminated with radionuclides as a result of the Chernobyl accident, have been studied. The study was carried out in 1991–1998 (pollution density ^{137}Cs ~1.8 MBq/m²) using traditional field methods of observation and laboratory analyses to identify fungal species and determine their activity. 7 years after the accident, the epiphytic microbiota of barley seeds was characterized by increased activity of fungi from the genus *Fusarium* with the dominance of the causative agent of snow mold *F. nivale* Ces. (*Microdochium nivale*) and the mycotoxic fungus *F. sporotrichiella* Bilai. (sin. *F. sporotrichioides*). For comparison, at the same time, the microbiota of barley seeds in the fields of the Ramenskoye district of the Moscow region differed not only in the species composition of fungi, but also in their properties: the absence of such species of fungi as *Nigrospora oryzae* and *Ulocladium con-sortiala*, quite numerous in the Bryansk fields, and the presence of micro-roorganisms of the fungus *F. sambucinum* Fuckel, not found on polluted ^{137}Cs and fields removed from economic turnover. There is also a noticeable presence of fungi from the genus *Fusarium* in the structure of the intra-seed infection of barley. The properties of metabolites of fungi from the genus *Penicillium* were determined: suspensions of fungal spores *P. expansum* and *P. cyclopium* used for processing barley seeds caused depression – a significant decrease in seed germination and morphophysiological characteristics of the development of seedlings. Isolates of 26 species of fungi were screened for their effect on the survival of paramecia and their rating was compiled. It is shown that in the absence of planned management of crop production by regional technologies and the use of plant protection products against diseases for 7 years after the accident, there was a shift in the structure of fungal species present on the roots and stems of barley of the Gonar variety towards an increase in the proportion of phytopathogenic fungi. With a large number of micromycete species on barley plants on radionuclide-contaminated fields of the Bryansk region and “clean” lands of the Moscow region (22 species versus 21, respectively), 9 species of phytopathogens (41% of the total number of species) and 7 species (33%) were isolated in technogenic territories. At the same time, the total activity of phytopathogens in the alienated radioactively contaminated territories was 18 points, in the “clean” ones – 13. Ratio of Phytopathogens/Saprophytes, calculated by the total activity of these groups of fungi, in the Bryansk region was 37.5% more than in the Moscow region, and by the ratio of Phytopath-genes/Antagonists – 2.2 times more. At the same time, the tendency of phytopathogens to prevail over other types of fungi in radioactively contaminated areas was natural, which was confirmed by the results of earlier studies.

Keywords: mycocenosis, spring barley, radioactively contaminated territories, activity, phytopathogens.

УДК 632.04.01/.08:633.11“321” (571.1)

Работа посвящена светлой памяти
основателя Сибирской научной школы
по защите растений профессора,
заслуженного деятеля науки РФ
Валентины Андреевны Чулкиной

ОСНОВНЫЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НИШИ ПОЧВЕННЫХ ФИТОПАТОГЕНОВ НА СОРТАХ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ[§]

© 2024 г. Е. Ю. Торопова^{1,2,*}, Г. Я. Стецов³, И. Г. Воробьева^{2,4}, Р. И. Трунов¹

¹ Новосибирский государственный аграрный университет
630039 Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы,
ул. Институт, влад. 5, Россия

³ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий
656910 Барнаул, Алтайский край, Научный городок, 35, Россия

⁴ Новосибирский государственный педагогический университет
630126 Новосибирск, ул. Вилюйская, 28, Россия

*E-mail: 89139148962@yandex.ru

Выяснение гидротермических и временных параметров реализации основных и дополнительных экологических ниш совместно паразитирующих распространенных почвенных фитопатогенных микромицетов имеет теоретическое и прикладное значение. Цель исследования состояла в выявлении параметров реализации основных и дополнительных экологических ниш доминирующими на яровой пшенице видами почвенных микромицетов (*Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., *Fusarium poae* (Peck.) Wollenw., *F. oxysporum* Schldl.) в системе подземных и генеративных органов сортов яровой пшеницы. Задачи исследования включали определение уровня реализации основных экологических ниш тремя доминирующими видами почвенных патогенных микромицетов в системе подземных органов сортов яровой пшеницы в разных фазах вегетации, а также выявление степени реализации микромицетами дополнительных экологических ниш в генеративных органах сортов яровой пшеницы, оценку силы влияния сортов и условий года на размеры экологических ниш в подземных и генеративных органах растений. Исследование провели на 20-ти сортах яровой пшеницы в 2020–2022 гг. в северной лесостепи Приобья по общепринятым и авторским методикам. Показано, что паразитирующие совместно на подземных и генеративных органах яровой пшеницы почвенные микромицеты *B. sorokiniana*, *Fusarium poae* и *F. oxysporum* имеют различные гидротермические и временные параметры реализации основных и дополнительных экологических ниш. *B. sorokiniana* является относительно теплолюбивым видом, его паразитическая активность наиболее успешна в подземных, особенно солоmistых органах, реализуется в условиях неустойчивого увлажнения, *F. poae* – влаголюбивый микромицет, предпочитающий подземные, особенно молодые органы растений яровой пшеницы, *F. oxysporum* – засухоустойчивый вид, тяготеющий к более зрелым органам растений. Что касается генеративных органов пшеницы, то *B. sorokiniana* колонизирует их воздушно-капельным путем во влажных условиях, сохраняя приуроченность к солоmistым тканям, коэффициент корреляции инфицирования *B. sorokiniana* стержней колосьев и ГТК августа был $r = 0.812 \pm 0.412$. *F. poae* мог достигать колосьев по сосудам, степень колонизации этим микромицетом была невелика и практически не зависела от погодных условий года и его представленности в подземных органах растений. *F. oxysporum* колонизировал колосья яровой пшеницы по сосудам, и степень его представленности в патоконкомплексах генеративных органов тесно коррелировала с его долей в патоконкомплексах первичных и вторичных корней $r = 0.923 \pm 0.146$.

Ключевые слова: яровая пшеница, экологическая ниша, сорт, корневая система, колос, зерновка, колонизация, *B. sorokiniana*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium poae*.

DOI: 10.31857/S0002188124020075

[§]Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-26-00066.

ВВЕДЕНИЕ

Сообщество вредных организмов в агроэкосистемах формируется вокруг растений-хозяев, которые выступают в качестве эдификаторов, определяющих их состав, взаимосвязи, динамику функционирования [1]. Например, сообщество вредных организмов яровой пшеницы в северной лесостепи Приобья Западной Сибири насчитывает более 40 распространенных и вредоносных видовых популяций [2, 3]. Вместе с энтомофагами, антагонистами, микроорганизмами ризосферы, эпифитами и другими видами они составляют своеобразную структуру – консорцию, присущую пшеничному полю [4, 5]. Перераспределение вещества и энергии организмов в сообществах позволяет им адаптироваться к новым условиям и поддерживать сообщество в состоянии подвижного равновесия, непрерывной смены связей. Вредные организмы, будучи тесно связанными с растениями-хозяевами, входят в состав относительно постоянного флористического и фаунистического комплексов, формирующихся вокруг растений-хозяев как эдификаторов. Тем самым зеленые растения в структуре экосистем обеспечивают существование множества экологических ниш: возбудителей болезней и их антагонистов, фитофагов и энтомофагов, нейтральных и полезных для растений видов: эпифитов, микоризообразователей, симбионтов и др. [1, 6, 7].

Возрастание суровости и изменчивости климата сопровождается уменьшением видового разнообразия, биомассы и упрощением строения сообществ. При этом относительная роль биотических факторов (враги, паразиты, конкуренты) уменьшается, и на первый план выступают абиотические условия, прямо или косвенно определяющие исход взаимоотношений в сообществах и реализацию экологических ниш консортов [8, 9].

Экологическая ниша для биологических видов не только “дом”, но и “профессия”, которая связана с функциональной активностью в сообществе агро- и естественных экосистем [1, 7]. Экологическая ниша обеспечивает реализацию тактик размножения (*P*), выживания (*B*) и трофических связей (*T*) вредных организмов в агро- и (или) естественных экосистемах [1]. Различают фундаментальные или потенциальные экологические ниши, реализованные в тех или иных условиях окружающей среды агро- и (или) естественных экосистем. Фундаментальные ниши всегда шире реализованных [7].

Сложные жизненные циклы вредных организмов позволяют им занимать более, чем одну экологическую нишу, что обусловлено у возбудителей болезней разными механизмами передачи возбудителей во времени и в пространстве. Основные экологические ниши обеспечивают размножение,

выживание и трофические связи видов в агро- и (или) естественных экосистемах, а дополнительные – реализуются ими только в определенных условиях окружающей среды.

Возбудители корневых или почвенных инфекций имеют в качестве основной экологической ниши подземные органы растений, а в качестве фактора передачи во времени – почву, где они могут в течение длительного времени выживать в форме покоящихся структур. Например, все грибы рода *Fusarium* Link. являются почвенными микромицетами и способны длительное время, до 15 лет сохраняться в почве в форме хламидоспор, склероциев и других покоящихся структур, формируя долговременные стационарные очаги [1, 10]. *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. сохраняется в почве в форме конидий, хламидоспор и мицелия 5–7 лет [1, 11]. Однако, кроме передачи через почву, возбудители корневых инфекций могут передаваться из года в год дополнительно через семена и посадочный материал, а в течение вегетации – воздушными течениями и каплями дождя [1, 12, 13]. Дополнительным механизмам передачи возбудителей соответствуют другие экологические ниши – листья, стебли, генеративные органы, а также проводящая система. Например, экологические ниши фитопатогенных грибов *B. sorokiniana* и рода *Fusarium* включают не только подземные органы растений, но и генеративные органы, которые они заражают при благоприятных гидротермических условиях. Фитопатогены могут сохраняться в зерновках до 7-ми лет, что расширяет почвенные очаги и способствует формированию новых при высеве инфицированных семян [1, 2, 14]. Заражение колоса может происходить по сосудам или воздушно-капельным путем [1, 15]. Интенсивность заражения колоса фитопатогенными микромицетами определяется рядом абиотических и биотических факторов, среди которых существенную роль играют сортовые особенности культуры, фитосанитарное состояние почвы, конкуренция с другими фитопатогенами, погодные условия [15–18].

Поскольку экологические ниши видов характеризуются многомерностью, то важно и с теоретической, и с практической точек зрения выявлять параметры их расхождения, чтобы прогнозировать состав сообществ при изменении погодных условий и технологий возделывания культур. Некоторые зональные закономерности дивергенции экологических ниш по гидротермическим и другим параметрам были выявлены В.А. Чулкиной у возбудителей корневых гнилей зерновых культур в Сибири [19]. Было показано, что *B. sorokiniana* адаптирован к относительно теплой и сухой экологической нише, с повышенной солнечной радиацией и близкой к нейтральной реакции среды, а грибы рода *Fusarium* (*F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. gramineum*

и др.) — к прохладной и увлажненной экологической нише с пониженной радиацией, достаточно высокой концентрацией углекислоты и низкой — кислорода, кислой реакцией среды. Это обусловило разную степень реализации видами потенциальных экологических ниш и их относительное доминирование в эколого-географических зонах, в различных по увлажнению годах и органах растений [15, 19]. Выявленные закономерности были в дальнейшем подтверждены при поиске факторов доминирования грибов рода *Fusarium* в патоккомплексах корневых гнилей при переходе к энергосберегающим технологиям возделывания сельскохозяйственных культур [20]. Были определены доминирующие виды патогенных микромицетов в подземных органах сортов яровой пшеницы в северной лесостепи Приобья — *B. sorokiniana*, *F. poae* (Peck.) Wollenw. и комплекс видов *F. oxysporum* Schltdl. [21], имевшие значительные степени перекрытия реализованных экологических ниш [22].

Дифференциация экологических ниш патогенных микромицетов была выявлена и на генеративных органах зерновых культур в Западной Сибири [19]. Инфицирование колоса носило комплексный характер, было вызвано несколькими видами фитопатогенов, вступающих в сложные отношения, как с растением-хозяином, так и друг с другом [19, 23].

На семенах яровой пшеницы постоянно присутствовал *B. sorokiniana* и достаточно широкий набор видов рода *Fusarium*, среди которых с разной частотой встречались *F. sporotrichioides*, *F. poae*, *F. oxysporum*, *F. culmorum*, *F. solani*, *F. equiseti*, *F. avenaceum* и др. [24]. Распространению и развитию фитопатогенов на колосьях яровой пшеницы способствовали высокие температуры в последней декаде июля и в августе, превышающие средние многолетние данные на 3–5°C, а также обильные осадки в августе. Коэффициенты корреляции степени инфицирования зерновок пшеницы грибами рода *Fusarium* и суммы осадков за август составили: $r = 0.721-0.869$, тот же показатель для *B. sorokiniana*: $r = 0.732-0.916$ [23].

Подземные и генеративные органы сортов яровой пшеницы инфицируются комплексом фитопатогенов, однако параметры дивергенции экологических ниш отдельных, часто встречающихся совместно видов изучены недостаточно.

Цель работы — выявление параметров реализации основных и дополнительных экологических ниш доминирующими на яровой пшенице видами почвенных микромицетов (*B. sorokiniana*, *F. poae*, *F. oxysporum*) в системе подземных и генеративных органов сортов яровой пшеницы.

Задачи исследования: определение уровня реализации основных экологических ниш 3-я доминирующими видами почвенных патогенных

микромицетов в системе подземных органов сортов яровой пшеницы в фазах вегетации, выявление степени реализации микромицетами дополнительных экологических ниш в генеративных органах сортов яровой пшеницы, оценка силы влияния сортов и условий года на размеры экологических ниш в подземных и генеративных органах растений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2020–2022 гг. в северной лесостепи Приобья. Были высеяны сорта из коллекции яровой пшеницы ФИЦ “Институт цитологии и генетики СО РАН” (лаборатория генофонда растений), изученные в рамках бюджетного проекта ИЦиГ СО РАН № 0259-2022-0018. Изучали сорта из различных регионов: Сибирская 17, Новосибирская 15, Обская 2 (Новосибирская обл.), ЛТ-3 (Ленинградская обл.), Воронежская 18 (Воронежская обл.), Тулайковская Надежда (Самарская обл.), Зауралочка (Курганская обл.), Jin Chun 2, Long Fu 13 (Китай), Степная 53 (Казахстан), К-65834 (Таджикистан), Remus (Германия), Manu (Финляндия), Quagna (Швейцария), Тома (Белоруссия), Evros (Греция), Calingiri (Австралия), NIL Thatcher Lr35 (Канада), M83-1541 (США), Karee (ЮАР). Площадь под каждым сортом — 2 м² в трехкратной повторности. Предшественник — пар. Почва — выщелоченный чернозем.

Гидротермические условия вегетации в годы исследования характеризовались неустойчивым увлажнением и влияли на развитие фузариозно-гельминтоспориозной инфекции яровой пшеницы как на подземных, так и на надземных органах. В 2020 г. особенно засушливым был июнь, в 2021 г. — май и июль, в 2022 г. — май и август. Влажные условия августа 2020 г. (ГТК = 1.44) и 2021 г. (ГТК = 1.20) способствовали воздушно-капельной передаче фитопатогенов на колосья [1]. Засушливые условия августа 2022 г. (ГТК = 0.45) ограничивали колонизацию микромицетами надземных органов яровой пшеницы воздушно-капельным путем.

Аналитические исследования проводили общепринятыми и авторскими методами, протоколы которых приведены в работе [25]. Для определения фитопатогенов использовали определители [26, 27].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В период исследования фитопатогенные почвенные микромицеты успешно реализовывали свои основные и дополнительные экологические ниши в системе органов сортов яровой пшеницы [21, 22]. Таксономический состав микромицетов на подземных генеративных органах сортов яровой

пшеницы был ежегодно представлен более 10-ю видами, среди которых доминировали *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., *F. poae* (Peck.) Wollenw. и комплекс видов *F. oxysporum* Schldt. [24]. Представленность и степень доминирования указанных микромицетов на подземных и надземных органах сортов существенно различались в фазах развития растений и по годам (табл. 1).

Показано, что *B. sorokiniana* стабильно присутствовал в патоккомплексах корневых гнилей подавляющего большинства сортов яровой пшеницы, однако его встречаемость в образцах подземных органов растений была более стабильной в засушливом 2022 г. (ГТК вегетации = 0.65). Это подтвердило ранее полученные данные об индукции гидротермическими стрессами восприимчивости яровой пшеницы к обыкновенной корневой гнили с одновременным увеличением агрессивности *B. sorokiniana* в условиях засухи [28]. Исследование позволило выявить сорта яровой пшеницы с дифференцированной восприимчивостью и устойчивостью к обсуждаемому микромицету. Например, с одной стороны, в течение 3-х лет на финском сорте Ману представленность *B. sorokiniana* в патоккомплексах всех подземных органов независимо от фазы вегетации составляла значительные величины, до 93.3, в среднем для всех образцов – 43.3%. С другой стороны, казахстанский сорт Степная 53 часто был инфицирован *B. sorokiniana* на уровне или меньше порога вредоносности, в среднем для всех образцов – на 12.3%.

Дисперсионный анализ показал, что сила влияния фактора “сорт” на представленность *B. sorokiniana* в патоккомплексах корневых гнилей составила 12.6, фактора “год” – 33.1%. При другой схеме

анализа сила влияния фактора “фаза вегетации” на долю *B. sorokiniana* в патоккомплексах составила 27.3, фактора “год” – 28.6%. Была выявлена умеренная отрицательная связь инфицированности подземных органов *B. sorokiniana* и ГТК соответствующего периода вегетации. Коэффициент корреляции составил $r = -0.627 \pm 0.352$ ($p > 1$). Можно заключить, что реализация основной экологической ниши возбудителем обыкновенной корневой гнили в подземных органах сортов яровой пшеницы достоверно зависела от восприимчивости сорта, фазы вегетации и условий года. Была подтверждена также относительная органотропная приуроченность *B. sorokiniana*, его распространенность на основаниях стеблей растений была у большинства сортов в 1.5–3.0 раза больше, чем на первичных и вторичных корнях [19]. Например, в конце вегетации 2022 г. доля *B. sorokiniana* в патогенных комплексах оснований стеблей растений достигала 93.3% (финский сорт Ману), а в среднем для сортов составила 76.9%, то есть вид показал абсолютное доминирование, вытеснив из оснований стеблей грибы рода *Fusarium*.

Колонизация *B. sorokiniana* генеративных органов растений яровой пшеницы и реализация дополнительной экологической ниши происходила преимущественно воздушно-капельным путем, хотя не был исключен и рост микромицета по сосудам и поверхности стеблей (табл. 2).

Данные свидетельствовали, что *B. sorokiniana* успешно колонизировал генеративные органы всех без исключения исследованных сортов в течение 3-х лет, о чем свидетельствовала его встречаемость в зерновках и стержнях колосьев. Во влажных условиях августа 2020 и 2021 гг. микромицет

Таблица 1. Доля *B. sorokiniana* в патогенных комплексах корневых гнилей 20-ти сортов яровой пшеницы в фазах развития и по годам, %

Фаза развития	Пределы изменений в зависимости от органов растений сортов	Среднее для сортов	Встречаемость
2020 г.			
Всходы	0–50.0	24.1	94.5
Цветение	0–52.0	21.7	96.7
Зрелость	0–55.0	26.5	96.7
2021 г.			
Всходы	6.9–50.0	26.2	92.5
Цветение	0–53.3	15.0	93.3
Зрелость	10.0–93.3	42.9	100
2022 г.			
Всходы	10–100	56.7	100
Цветение	9.5–50.0	25.3	100
Зрелость	10–93.3	44.9	100

Таблица 2. Доля *B. sorokiniana* в патогенных комплексах генеративных органов 20-ти сортов яровой пшеницы по годам, %

Орган	Пределы изменений в зависимости от органов растений сортов	Среднее для сортов	Встречаемость
2020 г.			
Зерновка	3.3–56.7	38.0	100
Стержень колоса	6.7–66.7	50.6	100
2021 г.			
Зерновка	10.0–83.3	25.8	100
Стержень колоса	36.7–72.6	59.3	100
2022 г.			
Зерновка	13.4–38.4	17.3	100
Стержень колоса	20.0–41.3	34.4	100

колонизировал генеративные органы даже более успешно, чем подземные, откуда он был частично вытеснен фитопатогенами-конкурентами из рода *Fusarium*. Следует отметить явную приуроченность *B. sorokiniana* к стержням колосьев, они были инфицированы в среднем для сортов в 1.3–2.3 раза больше зерновок. Возможно, что инфицирование стержней колосьев может происходить и по сосудам растений, поскольку анализ показал, что *B. sorokiniana* присутствовал в стержнях зачатков колосьев сорта Зауралочка из Курганской обл. и канадского сорта Nil Thatcher Lr-35 до выхода колосьев из трубки (IV–VII этапы органогенеза). Это могло свидетельствовать о способности этого микромицета к росту по сосудам растений яровой пшеницы, чего ранее не отмечали в литературе.

Дисперсионный анализ колонизации колосьев *B. sorokiniana* показал, что сила влияния фактора “орган” составила 60.0, фактора “год” – 21.9%, что доказывало приуроченность *B. sorokiniana* к стержням колосьев и более успешную реализацию им дополнительной экологической ниши в увлажненных условиях в период созревания зерна [24].

Таким образом, исследования параметров реализации основной (корни) и дополнительной (колос) экологических ниш возбудителем обыкновенной корневой гнили *B. sorokiniana* на 20-ти сортах яровой пшеницы свидетельствовали, что микромицет более успешно реализовал основную экологическую нишу при наличии гидротермических стрессов у растений, а дополнительную – в условиях достаточного увлажнения. То есть проявилась некоторая разнонаправленность у микромицета в реализации основной и дополнительной экологических ниш в зависимости от условий увлажнения. Кроме того, была выявлена приуроченность *B. sorokiniana* к солоmistым органам яровой пшеницы как в основной (основание стебля), так

и в дополнительной (стержень колоса) экологической нише.

Данные по реализации основной и дополнительной экологических ниш фитопатогеном *F. roae* свидетельствовали о более успешной реализации основной экологической ниши микромицетом *F. roae* во влажные годы (2020 и 2021 г.) по сравнению с засушливым (2022 г.) (табл. 3).

Максимальная представленность *F. roae* в патогенных комплексах корневых гнилей была в самом влажном 2020 г. (ГТК = 1.06), фитопатоген доминировал в патогенных комплексах сортов в течение всей вегетации. В этих наиболее благоприятных для паразитической активности *F. roae* условиях был выявлен сорт, на подземных органах которого фитопатоген был представлен относительно слабо, а в ряде случаев отсутствовал – это местный сорт Сибирская 17. Напротив, на сорте ЛТ-3 из Ленинградской обл. и канадском сорте Nil Thatcher Lr35 *F. roae*, как правило, составлял более половины патогенных комплексов, достигая на Nil Thatcher Lr35 73.8, на ЛТ-3–95%. В 2021 г. к концу вегетации реализованная экологическая ниша *F. roae* в подземных органах сократилась в среднем для сортов более чем в 2 раза, он был вытеснен *B. sorokiniana*, агрессивность которого возросла после гидротермического стресса [28]. Засушливый 2022 г. (ГТК = 0.65) был наименее благоприятным для *F. roae*, его представленность в патогенных комплексах корневых гнилей сортов яровой пшеницы была небольшой и сокращалась в ходе вегетации, причем микромицет был вытеснен из подземных органов не только *B. sorokiniana*, но и *F. oxysporum*, как следует из представленных данных. Дисперсионный анализ показал, что сила влияния фактора “год” на размер реализованной экологической ниши в подземных органах *F. roae* составила 79.3% и была достоверна на 1%-ном уровне значимости.

Таблица 3. Доля *F. roae* в патогенных комплексах корневых гнилей 20-ти сортов яровой пшеницы в фазах развития и по годам, %

Фаза развития	Пределы изменений в зависимости от сорта	Среднее для сортов	Встречаемость
2020 г.			
Всходы	0–95.0	46.4	95.0
Цветение	0–66.6	32.6	96.7
Зрелость	10.0–83.0	34.5	100
2021 г.			
Всходы	6.2–81.2	42.3	100
Цветение	16.9–60.0	35.6	100
Зрелость	0–62.3	19.7	93.3
2022 г.			
Всходы	0–90	12.7	50.0
Цветение	0–18.4	2.1	21.7
Зрелость	0–9.6	1.4	23.3

Таблица 4. Доля *F. roae* в патогенных комплексах генеративных органов 20-ти сортов яровой пшеницы по годам, %

Орган	Пределы изменений в зависимости от сорта	Среднее для сортов	Встречаемость
2020 г.			
Зерновка	0–16.7	8.0	80.0
Стержень колоса	0–19.3	11.1	90.0
2021 г.			
Зерновка	0–30.0	5.5	80.0
Стержень колоса	0–23.3	14.0	80.0
2022 г.			
Зерновка	0–17.5	6.8	90.0
Стержень колоса	0–12.5	4.5	60.0

Данные по реализации *F. roae* дополнительной экологической ниши в генеративных органах сортов яровой пшеницы представлены в табл. 4.

Данные свидетельствовали, что *F. roae* даже в благоприятные для него годы был представлен в генеративных органах сортов яровой пшеницы в меньшей степени, чем *B. sorokiniana*. Не было отмечено также приуроченности обсуждаемого микромицета к отдельным органам колоса. Детальные исследования динамики и сроков колонизации колосьев показали, что уже на IV этапе органогенеза, в конце фазы кушения *F. roae* был выделен из стержней зачатков колосьев 2-х сортов Jin Chun 2 (Китай) и Karee (ЮАР), а в фазе начала выхода в трубку (VII этап органогенеза) — из стержней колосьев уже 7-ми сортов и из зачатков зерен 3-х сортов. Это подтверждало данные о способности *F. roae* к продвижению по сосудам растений [29]. Однако к концу вегетации доля

микромицета в патогенных комплексах генеративных органов сокращалась независимо от погодных условий года. Это связано, по-видимому, с предпочтением *F. roae* паразитирования в подземных органах растений по сравнению с генеративными и конкурентными преимуществами *B. sorokiniana* и других микромицетов в колонизации колосьев. Дисперсионный анализ не выявил достоверного влияния условий года на реализацию *F. roae* дополнительной экологической ниши в генеративных органах сортов яровой пшеницы.

Таким образом, *F. roae* приурочен в большей мере к паразитированию в подземных органах растений во влажные годы, особенно в первой половине вегетации. Генеративные органы яровой пшеницы он колонизирует преимущественно по сосудам растений также в первой половине вегетационного периода, но уступает со временем эту экологическую нишу более конкурентоспособным

Таблица 5. Доля *F. oxysporum* в патогенных комплексах корневых гнилей 20-ти сортов яровой пшеницы в фазы развития и по годам, %

Фаза развития	Пределы изменений в зависимости от сорта	Среднее для сортов	Встречаемость
2020 г.			
Всходы	0–25.0	8.4	95.0
Цветение	0–46.7	19.7	91.7
Зрелость	2.5–50.0	22.5	100
2021 г.			
Всходы	0–56.0	23.5	92.5
Цветение	13.0–66.9	36.8	100
Зрелость	0–71.4	24.7	98.3
2022 г.			
Всходы	0–78.2	27.6	87.5
Цветение	26.7–90.5	66.1	100
Зрелость	6.7–73.3	44.7	100

Таблица 6. Доля *F. oxysporum* в патогенных комплексах генеративных органов 20-ти сортов яровой пшеницы по годам, %

Орган	Пределы изменений в зависимости от сорта	Среднее для сортов	Встречаемость
2020 г.			
Зерновка	0–19.7	1.2	40.0
Стержень колоса	0–23.3	3.4	70.0
2021 г.			
Зерновка	0–40.0	7.3	70.0
Стержень колоса	0–50.0	8.1	80.0
2022 г.			
Зерновка	7.5–25.0	16.0	100
Стержень колоса	7.5–40.0	20.7	100

микромикетам. Связи между уровнем реализации основной и дополнительной ниш у *F. roae* выявлено не было, т.е. доминирование в основной нише не давало преимуществ виду в освоении генеративных органов растений пшеницы.

Паразитическая активность *F. oxysporum* в подземных органах сортов яровой пшеницы показана в табл. 5.

Показано, что *F. oxysporum* реализовывал свою основную экологическую нишу более успешно в засушливых условиях (2022 г.) или в условиях неустойчивого увлажнения (2021 г.). В благоприятном по увлажнению 2020 г. его доля в патогенных комплексах корневых гнилей на фазе всходов была незначительной, но постепенно увеличивалась в ходе вегетации. Он был кодоминантом *F. roae*, уступая ему по распространенности и представленности в патогенных комплексах подземных органов сортов. В 2021 г. после июльской засухи

(ГТК июля = 0.37) микромикет упрочил свое положение в патогенных комплексах корневых гнилей всех сортов, сохранив его до конца вегетации. Следует отметить, что в 2021 г. *F. oxysporum* обеспечил себе доминирование в подземных органах, вытеснив к концу вегетации в ряде случаев *F. roae* из основной экологической ниши. В засушливом 2022 г. *F. oxysporum* стал абсолютным доминантом, его доля в патогенных комплексах корневых гнилей яровой пшеницы была существенно больше, чем у других грибов рода *Fusarium*, а на ряде сортов – и *B. sorokiniana*. Особенно значительное доминирование *F. oxysporum* в 2022 г. было выявлено на сортах Тома (Белоруссия), Karee (ЮАР), Quarpa (Швейцария) и сорта Степная 53 из Казахстана во второй половине вегетации. На этих сортах *F. oxysporum* составлял более половины патогенных комплексов корневых гнилей, достигая 90% на корнях.

Дисперсионный анализ показал, что сила влияния фактора “фаза вегетации” составила 24.3, фактора “год” – 54.5%, что свидетельствовало о приуроченности *F. oxysporum* к засушливым условиям, начиная с середины вегетации.

Реализация *F. oxysporum* дополнительной экологической ниши представлена в табл. 6.

Показано, что в отличие от *B. sorokiniana* и *F. poae*, основная и дополнительная экологические ниши *F. oxysporum* были тесно взаимосвязаны. В увлажненном 2020 г. обе ниши микромицет реализовывал наименее успешно, а в засушливом 2022 г., когда *F. oxysporum* безусловно доминировал в подземных органах растений, его доля в патогенных комплексах колосьев сортов яровой пшеницы возросла в среднем в 8 раз по сравнению с 2020 г., а распространенность достигла 100%. Дисперсионный анализ показал, что сила влияния фактора “год” на колонизацию *F. oxysporum* колосьев яровой пшеницы достигла 93.2% и была достоверна на 1%-ном уровне значимости. *F. oxysporum* показал способность передвигаться по сосудам растения, инфицируя зачатки колосьев пшеницы уже в фазе конца кущения. С этим связана некоторая приуроченность *F. oxysporum* к колонизации стержней колосьев по сравнению с зерновками.

Таким образом, *F. oxysporum* более успешно реализовывал как основную, так и дополнительную экологические ниши в засушливых условиях, обладая засухоустойчивостью и способностью инфицировать колос, передвигаясь по сосудам растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что паразитирующие совместно на подземных и генеративных органах яровой пшеницы почвенные микромицеты *B. sorokiniana*, *F. poae* и *F. oxysporum* имеют различные гидротермические и временные параметры реализации основных и дополнительных экологических ниш, т.е. их фундаментальные ниши перекрываются, но имеют различия, подтверждая закон дивергенции экологических ниш Г.Ф. Гаузе [1]. Например, *B. sorokiniana* является относительно теплолюбивым видом, его паразитическая активность наиболее успешна в подземных, особенно солоmistых органах и реализуется в условиях неустойчивого увлажнения, *F. poae* – влаголюбивый микромицет, предпочитающий подземные, особенно молодые органы растений яровой пшеницы, *F. oxysporum* – засухоустойчивый вид, тяготеющий к более зрелым органам растений. Что касается генеративных органов пшеницы, то *B. sorokiniana* колонизирует их воздушно-капельным путем во влажных (ГТК >1) условиях, сохраняя приуроченность к солоmistым тканям, коэффициент

корреляции инфицирования *B. sorokiniana* стержней колосьев и ГТК августа был $r = 0.812 \pm 0.412$ ($p > 1$). *F. poae* может достигать колосьев по сосудам, степень их колонизации этим микромицетом невелика и практически не зависела от условий года и его представленности в подземных органах растений. *F. oxysporum* колонизирует колосья яровой пшеницы по сосудам, и степень его представленности в патоконкомплексх генеративных органов тесно коррелирует с его представленностью в патоконкомплексх первичных и вторичных корней: $r = 0.923 \pm 0.146$ ($p > 1$).

Полученные результаты имеют как фундаментальное, так и практическое значение, поскольку позволяют прогнозировать состав сообществ и разрабатывать эффективные приемы управления ими [30].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Чулкина В.А. Эпифитотология / Под ред. Соколова М.С., Чулкиной В.А. Новосибирск, 2011. 711 с.
2. Торопова Е.Ю., Кириченко А.А., Стецов Г.Я. Защита всходов яровой пшеницы в Сибири // Защита и карантин раст. 2023. № 2. С. 20–28. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2023_2_20
3. Торопова Е.Ю., Кириченко А.А., Стецов Г.Я. Как повысить озерненность колоса и массу 1000 зерен яровой пшеницы // Защита и карантин раст. 2023. № 3. С. 16–25. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2023_3_16
4. Негрбов В.В., Хмелев К.Ф. Современные концепции консорциологии // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. 2000. С. 118–121.
5. Пономарева Ю.В. Основные микоконсорты озимой пшеницы в степной зоне Краснодарского края // Экол. вестн. Север. Кавказа. 2005. Т. 1. № 1. С. 97–99.
6. Dixon G.R., Tilston E.L. Soil-borne pathogens and their interactions with the soil environment // Soil Microbiol. Sustain. Crop Prod. 2010. P. 197–271.
7. Vorobyeva I.G., Toropova E. Yu. On the issue of ecological niches of plant pathogens in Western Siberia // Contem. Probl. Ecol. 2019. V. 12. № 6. P. 667–674. <https://doi.org/10.1134/S1995425519060155>
8. Левитин М.М. Микроорганизмы в условиях глобального изменения климата // Сел.-хоз. биол. 2015. Т. 50. № 5. С. 641–647.
9. Magan N., Medina A., Aldred D. Possible climate-change effects on mycotoxin contamination of food crops pre and postharvest // Plant Pathol. 2011. V. 60(1). P. 150–163.

10. Vorob'eva I., Toropova E. Fungi ecological niches of the genus *Fusarium* Link. // Inter. Conf. "Plant Diversity: Status, Trends, Conservation Concept" 2020. BIO Web of Conferences 24. 00095 (2020). <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202400095>
11. Toropova E. Yu., Glinushkin A. P., Insebaeva M. K., Stetsov G. Ya. The conidia *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. distribution in the soil of Altai and Kazakhstan arid regions // J. Phys.: Conf. Ser. 1942 (2021) 012078. 5 p. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1942/1/012078>
12. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Биоразнообразии и ареалы основных токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium* // Биосфера. 2014. Т. 6. № 1. С. 36–45.
13. Doohan F.M., Brennan J., Cooke B.M. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals // Europ. J. Plant Pathol. 2003. V. 109. № 7. P. 755–768.
14. Burlakoti R.R., Shrestha S.M., Sharma R.C. Effect of natural seed-borne inoculum of *Bipolaris sorokiniana* on the seedling emergence and vigour, and early establishment of foliar blight in spring wheat // Arch. Phytopathol. Plant Protect. 2014. V. 47. № 7. P. 812–820.
15. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П., Левитин М.М. Фузариоз зерновых культур // Прилож. к журн. "Защита и карантин растений". 2011. № 5. С. 70–112.
16. Bernhoft A., Torp M., Clasen P.-E., Loes A.-K., Kristoffersen A.B. Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway // Food Additiv. Contam. 2012. Part A. P. 1–12.
17. Манукян И.Р., Басиева М.А. Селекция озимой пшеницы на устойчивость к фузариозу колоса для условий предгорной зоны Северного Кавказа // Вестн. АПК Ставрополя. 2016. № 3(23). С. 194–196.
18. Казакова О.А., Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г. Взаимоотношения фитопатогенов семян ячменя в Западной Сибири // АПК России. 2016. Т. 23. № 5. С. 931–934.
19. Чулкина В.А. Биологические основы эпифитотологии. М.: Агропромиздат, 1991. 287 с.
20. Торопова Е.Ю., Селюк М.П., Казакова О.А. Факторы доминирования грибов рода *Fusarium* в патоккомплексе корневых гнилей зерновых культур // Агрохимия. 2018. № 5. С. 73–82.
21. Toropova E. Yu., Vorob'ova I. G., Kirichenko A. A., Trunov R. I. Parasitic activity of plant pathogens at the underground organs of spring wheat in the West Siberia // J. Phys.: Conf. Ser. 1942 012079 1942 (2021) 012079 IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1942/1/012079>
22. Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Пискарев В.В., Трунов Р.И. Экологические ниши грибов рода *Fusarium* Link. на растениях разных сортов яровой пшеницы в Западной Сибири // Агрохимия. 2021. № 10. С. 53–61. <https://doi.org/10.31857/S0002188121100161>
23. Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Мустафина М.А., Селюк М.П. Мониторинг грибов рода *Fusarium* Link. и их микотоксинов на зерне пшеницы в Западной Сибири // Агрохимия. 2019. № 5. С. 76–82.
24. Торопова Е.Ю., Воробьева И.Г., Казакова О.А., Гришин В.М., Пискарев В.В. Инфицированность органов зерновок сортов яровой пшеницы почвенными фитопатогенами // Тр. Кубан. ГАУ. 2022. № 7(100). С. 185–192. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-100-185-192>
25. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Кириченко А.А., Мармулева Е.Ю., Гришин В.М., Казакова О.А., Селюк М.П. Фитосанитарная диагностика агроэкосистем / Под ред. Е. Ю. Тороповой. Барнаул, 2017. 210 с.
26. Gerlach W., Nirenberg H. The genus *Fusarium* – a pictorial atlas // Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstw., Berlin – Dahlem, 1982. 406 p.
27. Шупилова Н.П., Иващенко В.Г. Систематика и диагностика грибов рода *Fusarium* на зерновых культурах. СПб., 2008. 84 с.
28. Toropova E. Yu., Glinushkin A. P., Selyuk M. P., Kazakova O. A., Ovsyankina A. V. Development of soil-borne infections in spring wheat and barley as influenced by hydrothermal stress in the forest-steppe conditions of Western Siberia and the Urals // Rus. Agricult. Sci. 2018. № 44(3). P. 241–244. <https://doi.org/10.3103/S1068367418030163>
29. Vorob'eva I. G., Toropova E. Yu. Ecological niches of *Fusarium poae* (Peck) Wollenw. in Western Siberia // Contempor. Probl. Ecol. 2022. V. 15. № 4. P. 393–399. <https://doi.org/10.1134/S1995425522040114>
30. Figueroa M., Hammond-Kosack K.E., Solomon P.S. A review of wheat diseases – a field perspective // Mol. Plant Pathol. 2018. V. 19. № 6. P. 1523–1536.

Basic and Additional Ecological Niches of Soil Phytopatogenes on Spring Wheat Varieties in West Siberia

E. Yu. Toropova^{a,b,#}, G. Ya. Stetsov^c, I. G. Vorob'eva^{b,d}, R. I. Trunov^a

^aNovosibirsk State Agrarian University,
ul. Dobrolyubova 160, Novosibirsk 630039, Russia

^bAll-Russian Research Institute of Phytopathology,
ul. Institut, poss. 5, Moscow region, Odintsovsky district, r.p. Bolshiye Vyazemy 143050, Russia

^cFederal Altai Scientific Center for Agrobiotechnologies,
Nauchny Gorodok 35, Altai Territory, Barnaul 656910, Russia

^dNovosibirsk State Pedagogical University,
ul. Vilyuiskaya 28, Novosibirsk 630126, Russia

[#]E-mail: 89139148962@yandex.ru

The elucidation of hydrothermal and temporal parameters of the realization of the main and additional ecological niches of jointly parasitizing widespread soil phytopathogenic micromycetes has theoretical and applied significance. The aim of the study was to identify the parameters of the implementation of the main and additional ecological niches by the dominant species of soil micromycetes on spring wheat (*Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., *Fusarium poae* (Peck.) Wollenw., *F. oxysporum* Schltdl.) in the system of underground and generative organs of spring wheat varieties. The objectives of the study included determining the level of realization of the main ecological niches by three dominant species of soil pathogenic micromycetes in the system of underground organs of spring wheat varieties in different phases of vegetation, as well as identifying the degree of realization by micromycetes of additional ecological niches in generative organs of spring wheat varieties and assessing the strength of the influence of varieties and conditions of the year on the size of ecological niches in underground and generative organs of plants. The study was conducted on 20 varieties of spring wheat in 2020–2022, in the northern forest-steppe of the Ob region according to generally accepted and author's methods. It is shown that the soil micromycetes *B. sorokiniana*, *Fusarium poae* and *F. oxysporum*, parasitizing together on the underground and generative organs of spring wheat, have different hydrothermal and temporal parameters of the realization of the main and additional ecological niches. *B. sorokiniana* is a relatively thermophilic species, its parasitic activity is most successful in underground, especially straw organs, is realized in conditions of unstable humidification, *F. poae* is a moisture-loving micromycete that prefers underground, especially young organs of spring wheat plants, *F. oxysporum* is a drought-resistant species that tends to more mature plant organs. As for the generative organs of wheat, *B. sorokiniana* colonizes them by airborne droplets in humid conditions, keeping them confined to straw-like tissues, the correlation coefficient of *B. sorokiniana* infection of the ear rods and the SCC of August was equal to $r = 0.812 \pm 0.412$. *F. poae* could reach ears by vessels, the degree of their colonization by this micromycete was small and practically did not depend on the weather conditions of the year and its representation in underground plant organs. *F. oxysporum* colonized ears of spring wheat by vessels, and the degree of its representation in pathocomplexes of generative organs closely correlated with its share in pathocomplexes of primary and secondary roots: $r = 0.923 \pm 0.146$.

Keywords: spring wheat, ecological niche, variety, root system, ear, grain, colonization, *B. sorokiniana*, *Fusarium oxysporum*, *Fusarium poae*.

УДК 631.46:632.122.1

ИЗМЕНЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И МИКРОБНОГО ДЫХАНИЯ ПОЧВ РАЗНЫХ ТИПОВ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ИХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

© 2024 г. О. А. Золотарева¹, И. О. Плеханова^{1,*}

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения
119992 Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12, Россия

*E-mail: irinaoplekhanova@mail.ru

Поступила в редакцию 10.06.2023 г.

После доработки 11.07.2023 г.

Принята к публикации 15.11.2023 г.

Экспериментально установлено, что при загрязнении почв тяжелыми металлами граничные концентрации металлов, выше которых выявляются признаки экотоксичности, являются разными для микробного сообщества. Ингибирование дыхания исследованных почв наблюдало при более низких дозах Pb, Zn и Cd, чем ферментативной целлюлазной активности. Наиболее токсичными для микроорганизмов являются соединения Cd и условия полиэлементного загрязнения. Выявлены концентрации тяжелых металлов, способные оказывать достоверное негативное воздействие на почвенное микробное сообщество при разных уровнях загрязнения дерново-подзолистой, серой лесной, чернозема выщелоченного и каштановой почв. По убыванию устойчивости к ТМ исследованные почвы можно расположить в следующий ряд: чернозем выщелоченный (Luvic Chernozem) > серая лесная (Eutric Retisol (Ochric)) > каштановая (Haplic Kastanozem) ≥ дерново-подзолистая (Eutric Albic Retisol (Ochric)).

Ключевые слова: загрязнение, целлюлазная активность, экотоксичность, нормирование, дыхание почв, Retisols, Luvisols, Chernozems, Kastanozems.

DOI: 10.31857/S0002188124020086

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим компонентом, регулирующим состояние окружающей среды, является почвенный покров. Под экологическим состоянием почв понимают ее способность обеспечивать устойчивое функционирование всех компонентов естественных и антропогенных экосистем. Следовательно, нормирование экологического состояния окружающей среды в целом должно основываться на оценке выполнения почвами основных биогеохимических функций [1, 2].

Существующая система гигиенической регламентации является единственной законодательно утвержденной базой данных для оценки и нормирования концентраций загрязняющих веществ в почвах. Недостатком этих нормативов является отсутствие учета почвенно-экологических и геохимических условий образования и функционирования почв [3–5].

Многие исследователи считают, что нормативы содержания тяжелых металлов (ТМ)

должны разрабатываться согласно конкретной почвенно-экологической обстановке [3, 6, 7]. Эти соображения учтены, отчасти, при разработке ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК) ТМ для 3-х групп почв: песчаных и супесчаных, суглинистых и глинистых, близких к нейтральным и нейтральным суглинистым и глинистым почвам [8]. Отсутствие дифференциации нормативов по природно-климатическим зонам и видам хозяйственного использования ограничивает возможности объективной оценки уровней загрязнения почв. Целью экологического нормирования является разработка научно обоснованных критериев и норм предельно допустимых концентраций (ПДК), охватывающих все виды вредных воздействий на окружающую среду и почвы различного хозяйственного назначения. Токсическое действие загрязняющих веществ зависит от конкретной биогеохимической обстановки, поскольку существует перенос этих веществ между всеми компонентами окружающей среды, включая почву, растения, почвенных животных, микроорганизмы, воду и воздух.

Система ПДК, основанная на дифференцированном изучении аналитическими методами отдельных веществ, не всегда отвечает современным принципам системности в экологии и не может в полной мере обеспечить сохранение приемлемого уровня экологической безопасности. Очень часто в окружающую среду поступает целый набор загрязняющих веществ, идентифицировать каждое из них весьма затруднительно, т.к. может наблюдаться эффект синергического действия загрязняющих веществ. В этом случае необходимо изучать отклик биологических систем на нагрузку с помощью выявления и анализа зависимости “доза–эффект” [9–11].

Пределом допустимой концентрации загрязняющих веществ в почвах является тот уровень, при котором начинает изменяться количество и качество живого вещества, т.е. биологическая продукция [4]. Этот уровень загрязнения почвы прямо или косвенно влияет на контактирующие соседние среды, что необходимо учитывать при разработке показателей экологического нормирования для реальных почв.

В настоящее время не существует общепринятой и хорошо разработанной теории экологического нормирования. Вместе с тем в последние десятилетия трудами многих отечественных и зарубежных ученых сделан существенный вклад в разработку этой концепции: предложены различные критерии для оценки качества водных и наземных экосистем, которые базируются на биотической концепции контроля качества природной среды [4, 6, 9–13]. Следует отметить, что выбор критериев для оценки экологического состояния почв является ключевым, поскольку определяет качество среды обитания, оцениваемое по показателям жизнедеятельности биологических систем. Если выбранные показатели удовлетворяют установленным критериям, то уровень антропогенной нагрузки можно считать приемлемым (допустимым). Почвенные критерии должны рассматриваться в качестве основных оценочных критериев состояния экосистемы, поскольку они определяют состояние и функционирование растений, комплекса почвенных микроорганизмов и животных, а также качество природных вод. Эти критерии должны включать характеристику химических, физических и биологических свойств почв, определение форм соединений металлов в почвах, что необходимо для оценки их влияния на окружающую среду, а также устойчивость почв к загрязнению ТМ. Основным показателем устойчивости почв к различным химическим воздействиям должно быть ее эколого-геохимическое состояние, обеспечивающее нормальное функционирование присущих данной биогеоценотической системе совокупностей живых организмов и качество создаваемой

биологической продукции [4]. Это уникальное свойство почв зависит от их буферности, которая определяется такими химическими, физическими и биологическими свойствами, как кислотность, гранулометрический и минералогический состав, содержание гумуса, состав обменных катионов и пр., которые определяют реакцию почв на загрязнение и возможность осуществления экологических функций [4, 5, 11].

Органическое вещество является источником энергии для почвенных микроорганизмов, в связи с этим актуальным является изучение динамики процесса разложения органических остатков. Одни из важных показателей биологической активности почвы – ее целлюлозолитическая активность и микробное дыхание.

Цель работы – оценка экологического состояния зональных почв: дерново-подзолистой, серой лесной, чернозема выщелоченного и каштановой – при искусственном загрязнении соединениями Zn, Pb, Cd в случаях раздельного и совместного поступления их в почву по показателю ферментативной целлюлазной активности и микробного дыхания почв.

Поставленная цель определила следующие задачи:

- 1 – изучить основные физико-химические свойства исследуемых почв;
- 2 – определить, что является основой для разработки критериев качества почв;
- 3 – определить уровни загрязнения почв, угнетающие биологическую активность почв по показателям интенсивности эмиссии CO₂ и целлюлозолитической активности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Были исследованы пробы из пахотных горизонтов почв дерново-подзолистой (Eutric Albic Retisol (Loamic, Aric, Cutanic, Differentic, Ochric)) (Московская обл.), серой лесной (Eutric Retisol (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)) (Тульская обл.), чернозема выщелоченного (Luvic Chernozem (Laomic, Aric, Pachic)) (Липецкая обл.) и каштановой (Haplic Kastanozem (Loamic, Aric)) (Волгоградская обл.). Основные химические свойства исследованных почв показаны в табл. 1.

Гидролитическую кислотность, обменные соединения Ca и Mg определяли путем вытеснения их 1 н. раствором CH₃COONH₄ [14]. Содержание органического вещества в образцах почв определяли по методу Тюрина в модификации Никитина со спектрофотометрическим окончанием, рН водной и солевой вытяжек – потенциометрическим методом, гидролитическую кислотность – путем вытеснения 1 н. раствором CH₃COONa [14].

Таблица 1. Показатели химических свойств почв

Почва	Содержание гумуса, %	pH _{KCl}	pH _{H₂O}	Сумма обменных оснований	Гидролитическая кислотность
				ммоль · экв/100 г почвы	
Дерново-подзолистая	2.2	5.2	6.4	16	1.9
Серая лесная	5.0	5.7	6.7	15	3.2
Чернозем выщелоченный	6.8	5.9	6.8	28	3.0
Каштановая	2.5	6.8	7.7	17	1.3

Таблица 2. Уровни ОДК и дозы тяжелых металлов (мг/кг), внесенные в почвы

Почва	Серая лесная почва, каштановая и чернозем выщелоченный				
	1	2	3	5	10
Кратность ОДК					
Pb	130	260	390	650	1300
Zn	220	440	660	1100	2200
Cd	2	4	6	10	20
	Дерново-подзолистая почва				
Кратность ОДК	1	2	3	5	10
Pb	65	130	195	325	650
Zn	110	220	330	550	1100
Cd	1	2	3	5	10

Серая лесная почва и чернозем характеризовались нейтральной реакцией среды, а для каштановой почвы величина pH находилась в щелочном интервале, что, возможно, связано с некоторым засолением этой почвы. В градациях ОДК не учитывают содержание гумуса, однако следует отметить, что в каштановой почве содержание органического вещества было в 2 раза меньше, чем в серой лесной и почти в 2.7 раза меньше, чем в черноземе выщелоченном.

Валовое содержание ТМ в почвах определяли после разложения их царской водкой (HCl + HNO₃ в соотношении 3 : 1) [15]. Содержание ТМ определяли в 1 н. азотнокислой и ацетатно-аммонийной вытяжках pH 4.8. Водную вытяжку готовили в соотношении почва : вода = 1 : 10. Определение содержания ТМ в вытяжках проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-3 в пламени ацетилен–воздух с использованием дейтериевого корректора фона и методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе “Agilent ICP-MS7100a”.

В соответствии с градациями ОДК исследованные почвы относятся к группе почв с нейтральной реакцией среды и суглинистым гранулометрическим составом, что определяет их близкую устойчивость к ТМ и одинаковые величины ОДК [4, 16–18] (табл. 2).

В почвы вносили водный раствор уксуснокислых солей ТМ из расчета следующих доз: 1 ОДК,

2 ОДК, 3 ОДК, 5 ОДК, 10 ОДК для Pb, Zn, Cd. Для варианта с комплексным загрязнением вносили одновременно раствор смеси всех 3-х металлов в дозах от 1 до 10 ОДК. Соли уксусной кислоты были выбраны для опыта в связи с их хорошей растворимостью, что способствует быстрому взаимодействию с почвенными компонентами, гидролиз этих солей не сопровождается резким сдвигом pH в область кислой реакции среды. Ацетат-ионы являются естественным продуктом метаболизма растений и незначительно изменяют питательный режим почв. Почву инкубировали в течение 14 сут после внесения загрязняющего вещества при влажности 60% ПВ.

Целлюлозолитическую активность почвы определяли по интенсивности разложения льняного полотна [18]. Скорость разложения клетчатки в почве зависит от наличия в ней легкодоступного азота, поэтому данный метод позволяет судить об энергии мобилизации почвенных процессов в целом.

Ход работы при определении интенсивности разложения целлюлозы:

1. Стерильную тонкую льняную ткань площадью примерно 5 × 5 см взвешивали на весах. После взвешивания ткань пришили к стерильной полимерной пленке.

2. В горшочках с почвой делали углубление и к его вертикальной стенке плотно прижимали ткань. С обратной стороны полиэтилен

Таблица 3. Оценочная шкала интенсивности разрушения клетчатки

Убыль массы, %	Интенсивность разрушения клетчатки
<10	Очень слабая
10–30	Слабая
30–50	Средняя
50–80	Сильная
>80	Очень сильная

придавливали почвой, углубление засыпали. Ткань оставляли в почве на 1 мес.

Предварительно почвы инкубировали в течение 14 сут при влажности, равной 60% предельной влагоемкости (ПВ). Данную влажность поддерживали в почве на протяжении всего модельного эксперимента. Опыты проводили в двукратной повторности.

3. Через месяц полотно осторожно извлекали, освобождали от полиэтилена, отмывали от почвы и продуктов полураспада, подсушивали и взвешивали. Рассчитывали убыль массы ткани за 1 мес. (в %) и по этому показателю судили

об интенсивности процесса разрушения клетчатки, используя оценочную шкалу (табл. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Валовое содержание элементов в незагрязненных почвах находилось в пределах типичных изменений содержания микроэлементов [7, 19] (табл. 4).

Валовое содержание ТМ определяют для оценки уровней загрязнения почв с целью сравнения с фоновым, эталонным содержанием или с ПДК [4, 7, 20]. Несмотря на то, что показатели химического состояния почв чутко реагируют на загрязнение, основным критерием для экологического нормирования является реакция биологических систем на загрязнение. Определение концентраций загрязняющих веществ, которые не нарушают основные экологические функции почв, является основой для разработки критериев качества почв [9, 10, 12, 21]. Таким образом, для разработки критериев качества почв необходим системный подход, обеспечивающий уровень безопасного воздействия на живые организмы и качество сопредельных сред.

Оценка биологической активности незагрязненных почв по показателю базального дыхания

Таблица 4. Валовое содержание ТМ в почвах опыта (мг/кг) и коэффициент концентрации ТМ (Кс) относительно контроля

Серая лесная почва						
Вариант	Zn	Кс _{Zn}	Pb	Кс _{Pb}	Cd	Кс _{Cd}
Контроль	47.5	1	10.5	1	0.2	1
1 ОДК	267.5	5.6	140.5	13.4	2.2	11
2 ОДК	487.5	10.3	270.5	25.8	4.2	21
3 ОДК	707.5	14.9	400.5	38.1	6.2	31
5 ОДК	1147.5	24.2	660.5	62.9	10.2	51
10 ОДК	2247.5	47.3	1310.5	124.8	20.2	101
Чернозем выщелоченный						
Контроль	71	1	25.7	1	0.28	1
1 ОДК	291	4.1	155.7	6	2.28	8.1
2 ОДК	511	7.2	285.7	11.1	4.28	15.3
3 ОДК	731	10.3	415.7	16.2	6.28	22.4
5 ОДК	1171	16.5	675.7	26.3	10.28	36.7
10 ОДК	2271	32	2225.7	86.6	20.28	72.4
Каштановая почва						
Контроль	48.8	1	15.5	1	0.13	1
1 ОДК	266.8	5.5	145.5	9.4	2.13	16.4
2 ОДК	486.8	9.9	275.5	17.8	4.13	31.8
3 ОДК	706.8	14.5	405.5	26.2	6.13	47.1
5 ОДК	1146.8	23.5	665.5	42.9	10.13	77.9
10 ОДК	2246.8	46	1315.5	84.9	20.13	154.8

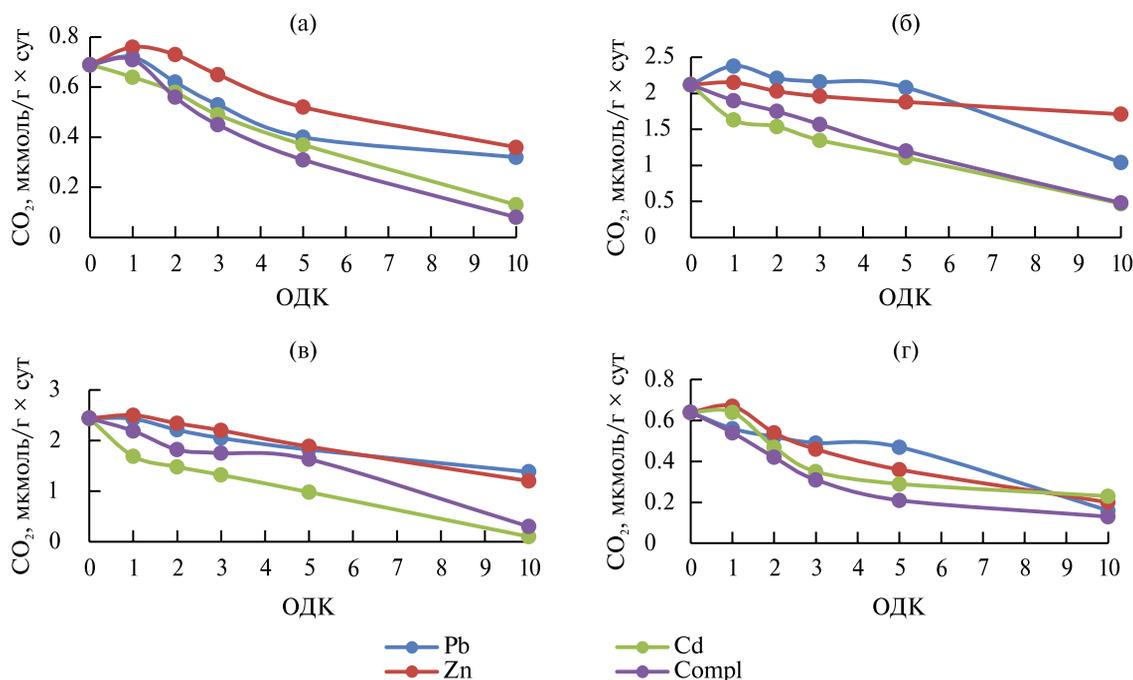


Рис. 1. Интенсивность эмиссии CO₂ при различном содержании тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве (а) серой лесной (б), черноземе выщелоченном (в) и каштановой (г) почвах.

показала, что для дерново-подзолистой почвы эмиссия CO₂ составила 0.69, серой лесной почвы – 2.12, чернозема выщелоченного – 2.44 и каштановой почвы – 0.64 мкмоль/г/сут. Такая величина, вероятно, объясняется невысоким содержанием органического вещества и менее благоприятными физико-химическими свойствами каштановой почвы.

Внесение в почвы ТМ в дозе 1 ОДК вызвало небольшое увеличение интенсивности дыхания при загрязнении почв Zn, при загрязнении Cd и смесью металлов наблюдали тенденцию к снижению активности дыхания. При увеличении уровней загрязнения было отмечено постепенное снижение интенсивности дыхания почв, которое было выражено сильнее при загрязнении почв соединениями Cd и при полиэлементном загрязнении.

При внесении ТМ в дозе 5 ОДК произошло заметное снижение интенсивности дыхания во всех вариантах опыта. Интенсивность дыхания дерново-подзолистой почвы снизилась на 30–40% при загрязнении Zn и Pb, на 50–60% – при загрязнении Cd и полиэлементном загрязнении. Для серой лесной почвы, загрязненной соединениями Zn и Pb, интенсивность дыхания снизилась на 25%, а при таком же уровне загрязнения этой почвы Cd и смесью металлов – на 50% (рис. 1).

Следует отметить более высокую токсичность соединений Cd и смеси металлов для всех типов

почв. Таким образом, при уровне загрязнения, равном 5 ОДК, отмечено значительное угнетение микробиологической активности почв. При концентрации загрязняющих веществ, равной 10 ОДК, интенсивность почвенного дыхания была минимальной. Наибольшее снижение (до 80%) наблюдали при загрязнении почв соединениями Cd и комплексном загрязнении. Большей устойчивостью к загрязнению ТМ обладали чернозем выщелоченный и серая лесная почва, наименьшей – дерново-подзолистая и каштановая почвы. Почвенное дыхание является чувствительным и информативным показателем функционального состояния почв, что показано во многих публикациях [22–25].

Один из важных показателей биологической активности почвы – ее целлюлозолитическая активность, которая является чувствительным комплексным показателем нарушения деятельности микробиоценоза почв в результате ее загрязнения и в целом отражает экологическую ситуацию.

Изучение интенсивности разложения целлюлозы дает возможность судить о скорости распада растительных остатков, в состав которых всегда входит значительное количество клетчатки, а также до некоторой степени об обеспеченности почвы азотом, т.к. интенсивность этого процесса невозможна без достаточного количества связанных форм азота [26, 27].

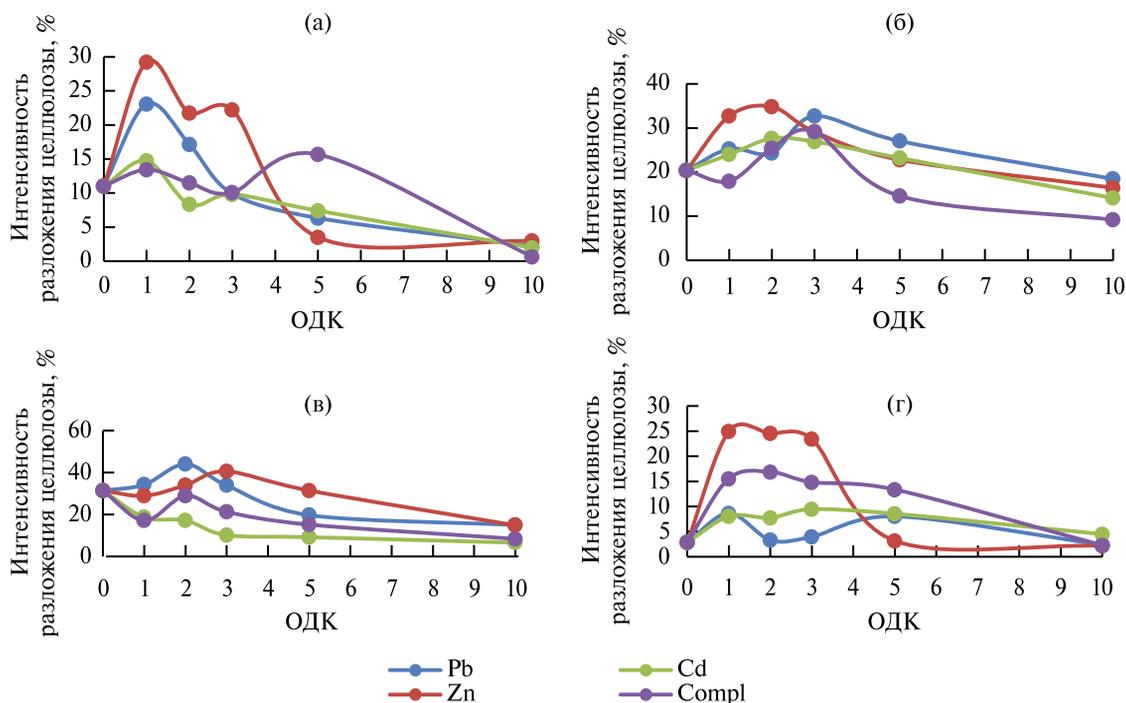


Рис. 2. Интенсивность разрушения целлюлозы при различном содержании тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве (а) серой лесной (б), черноземе выщелоченном (в) и каштановой (г) почвах.

В настоящее время достаточно хорошо изучено влияние ТМ на целлюлозолитическую активность почв [28]. В литературе отмечено увеличение целлюлозолитической активности почвы при загрязнении ТМ, т.к. в данном случае ТМ выступают в качестве микроэлементов, стимулирующих разложение целлюлозы [29].

Результаты вегетационных опытов показали, что концентрации ТМ, оказывающие достоверное негативное воздействие на микробное сообщество, выявлены при разных уровнях загрязнения для дерново-подзолистой, серой лесной, чернозема выщелоченного и каштановой почв. Максимальная интенсивность разрушения клетчатки была отмечена в черноземе, немного меньше – в серой лесной почве, еще меньше – в дерново-подзолистой и каштановой почвах. Этот ряд, видимо, отражает естественное плодородие изученных почв (рис. 2).

При загрязнении образцов дерново-подзолистой почвы Zn в дозах 1 ОДК, 2 ОДК и 3 ОДК, при загрязнении Pb в дозах 1 ОДК, 2 ОДК, при загрязнении Cd в дозах 1 ОДК, а также при комплексном загрязнении в дозах от 1 ОДК до 5 ОДК интенсивность разложения целлюлозы была слабой (от 10 до 29%), а при загрязнении Zn в дозах 5 ОДК, 10 ОДК, при загрязнении Pb в дозе 3 ОДК, 5 ОДК и 10 ОДК, при загрязнении Cd в дозах 2 ОДК, 3 ОДК, 5 ОДК и при комплексном

загрязнении в дозе 10 ОДК интенсивность разрушения клетчатки была очень слабой (от 1 до 28%).

В вегетационном опыте с серой лесной почвой убыль массы ткани за 1 мес. была более интенсивной. Наблюдали стимулирование целлюлозолитической активности при загрязнении почвы в дозах 1, 2 ОДК Zn, при загрязнении Pb в дозе 3 ОДК интенсивность разрушения целлюлозы оценивали как среднюю (33, 35, 33% соответственно). В контрольном образце и при загрязнении почвы, равном 3, 5 и 10 ОДК Zn, 1, 2, 5 и 10 ОДК Pb и 1–10 ОДК Cd и 1–5 ОДК при комплексном загрязнении интенсивность разрушения целлюлозы оценивали как слабую, при уровне загрязнения 10 ОДК смесью металлов – очень слабую (средняя интенсивность разрушения целлюлозы была равна 9%).

В образцах чернозема выщелоченного интенсивность разложения клетчатки оценивали как среднюю в контроле при уровне загрязнения Zn в дозах 2–5 ОДК и Pb в дозах 1–3 ОДК (от 31 до 44% соответственно). При уровнях загрязнения Zn в дозах 1 и 10 ОДК, а также при загрязнении Pb в дозах 5 ОДК и 10 ОДК, при загрязнении Cd в дозах 1–3 ОДК и при комплексном загрязнении в дозе 1–5 ОДК интенсивность разрушения целлюлозы была слабой (от 10 до 29%), при загрязнении почв Cd в дозах 5 и 10 ОДК и комплексном загрязнении в дозе 10 ОДК интенсивность

Таблица 5. Биологические показатели экотоксичности почв, загрязненных ТМ

Показатели	Микробиологический показатель											
	Интенсивность разрушения целлюлозы				Оценка интенсивности разрушения целлюлозы				Эмиссия CO ₂			
Критерии	25% от контроля, пороговая концентрация «доза–эффект»											
Элементы	Pb	Zn	Cd	ΣMe	Pb	Zn	Cd	ΣMe	Pb	Zn	Cd	ΣMe
Почвы	дозы ТМ (кратность ОДК)				оценка				дозы ТМ (кратность ОДК)			
Дерново-подзолистая	2.5	4.2	2	7	Очень слабая	Слабая	Очень слабая	Слабая	4	3	2	2
Серая-лесная	10	9	9	4	Слабая				4	4	3	3
Чернозем выщелоченный	4	7	1.5	1					4	4	3	3
Каштановая	2	3.5	8	8	Очень слабая				3	3	3	3

загрязнения была очень слабой (от 7 до 9%). Благодаря высокой буферности чернозема токсическое действие ТМ на микробное сообщество проявлялось только при высоких уровнях их содержания.

В каштановой почве интенсивность разрушения целлюлозы была меньше, чем в других почвах. Ее оценивали как очень слабую в контроле, при загрязнении Zn в дозах 5–10 ОДК, Pb и Cd при всех уровнях загрязнения (в дозах 1–10 ОДК) и комплексном загрязнении в дозе 10 ОДК (от 2 до 10%). При всех остальных уровнях загрязнения Zn в дозе 1–3 ОДК и смесью ТМ в дозе 1–5 ОДК интенсивность разложения целлюлозы оценили как слабую (от 13 до 25%). Каштановая почва обладает меньшим природным плодородием и меньшей устойчивостью к загрязнению ТМ.

В нашем опыте небольшой положительный эффект малых доз загрязнения Pb, Cd и смесью металлов был выявлен во всех вариантах почв. Вероятно, это могло быть связано с тем, что небioфильные элементы, связываясь компонентами почвы, вытесняют из органо-минеральных комплексов биофильные элементы, улучшая тем самым питание растений.

Таким образом, для исследованных почв были определены критические уровни загрязнения, оказывающие негативное воздействие на микробиологическое сообщество. Максимальная биологическая активность была замечена в черноземе выщелоченном. Наименее устойчивой к загрязнению ТМ была каштановая почва, но следует отметить, что уровни загрязнения дерново-подзолистой почвы были в 2 раза ниже, остальных почв. Вероятно, для каштановой почвы нормативный уровень содержания ТМ должен быть меньше, чем для чернозема и серой лесной почвы. Черноземы наиболее устойчивы к загрязнению, вследствие высокой буферности, обусловленной большим содержанием органического вещества, тяжелосуглинистым

гранулометрическим составом и нейтральной реакции среды. Полученные данные позволяют расположить почвы по убыванию устойчивости к ТМ в следующий ряд: чернозем выщелоченный, серая лесная, каштановая, дерново-подзолистая почва.

Показатели функционирования почвенных микроорганизмов дали различные границы экотоксичности почв, загрязненных ТМ. Угнетение целлюлозной активности отмечено при более высоком уровне загрязнения почв, чем уменьшение показателя почвенного дыхания (табл. 5).

Следует отметить, что биологические показатели часто дают более высокие критические уровни содержания ТМ, чем разработанные санитарно-гигиенические ПДК, что зависит от устойчивости микробиоценоза и почв к загрязнению. Показали, что уровень фитотоксичности почв, определяемый разными авторами, также обычно выше, чем ПДК для сельскохозяйственных растений [5, 7, 22, 23, 30–35], поэтому свойства почв и устойчивость различных групп микроорганизмов необходимо учитывать при разработке нормативных показателей для почв различного функционального назначения и природопользования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным критерием для экологического нормирования является реакция биологических систем на загрязнение. Определение концентраций загрязняющих веществ, которые не нарушают основные экологические функции почв, является основой для разработки критериев качества почв. Исследованные почвы различались по гранулометрическому составу, кислотности и содержанию гумуса, наиболее высокое содержание гумуса и нейтральная реакция среды были характерны для серой лесной почвы и чернозема, поэтому концентрации ТМ, способные оказывать достоверное негативное воздействие

на почвенную микробиоту, выявлены при разных уровнях загрязнения дерново-подзолистой, серой лесной, чернозема выщелоченного и каштановой почв. По убыванию устойчивости к ТМ исследованные почвы можно расположить в ряд: чернозем выщелоченный, серая лесная, каштановая, дерново-подзолистая почва.

Результаты исследования показали, что токсичность соединений ТМ в значительной степени зависела от свойств почвы, что необходимо учитывать при разработке нормативных показателей почв различного функционального назначения и природопользования. Показатели функционирования почвенных микроорганизмов также дали различные границы экотоксичности почв, загрязненных ТМ. Угнетение целлюлозной активности отмечено при большем уровне загрязнения исследованных почв, чем ингибирование их дыхания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова // Почвоведение. 1999. № 3. С. 639–645.
2. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв. М.: Изд-во МГУ, 2012. 364 с.
3. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368–375.
4. Глазовская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям: Метод. пособ. М.: Изд-во МГУ, 1997. 102 с.
5. Ильин В.Б. О нормировании тяжелых металлов в почве // Почвоведение. № 9, 1986. С. 90–98.
6. Ильин В.Б. Буферные свойства почвы и допустимый уровень ее загрязнения тяжелыми металлами // Агрохимия. 1997. № 11. С. 65–70.
7. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах растений. М.: Мир, 1989. 439 с.
8. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042–06. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. 2006.
9. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды. Обзор существующих подходов // Усп. соврем. биол. 2002. Т. 122. № 2. С. 115–135.
10. Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г. Экологическое нормирование техногенных загрязнений. Екатеринбург: Наука, 1994. 280 с.
11. Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Экологическое нормирование качества почв и управление их качеством // Почвоведение. 2011. № 5. С. 582–596.
12. Coleman D.C. From peds to paradoxes: linkages between soil biota and their influences on ecological processes // Soil Biol. Biochem. 2008. V. 40. P. 271–289.
13. Wang M., Markert B., Shen W., Peng C., Ouyang Z. Microbiol biomass carbon and enzyme activities of urban soils in Beijing // Environm. Sci. Pollut. Res. 2011. V. 18(6). P. 958–967
14. Соколова А.В. Агрохимические методы исследования почв. М., 1975. 436 с.
15. Плеханова И.О., Бамбушева В.А. Экстракционные методы изучения состояния тяжелых металлов в почвах и их сравнительная оценка // Почвоведение. 2010. № 9. С. 1081–1088. <https://doi.org/10.1134/S1064229310090073>
16. ГОСТ Р ИСО 22030–2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. 2011.
17. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
18. Волкова И.Н., Кондакова Г.В. Экологическое почвоведение: Лабораторные занятия для студентов-экологов (бакалавров): Метод. указ. Ярославль, ЯрГУ, 2002. 35 с.
19. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 238 с.
20. Сан ПиН 4266–87. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами.
21. Adriano D.C. Trace elements in the terrestrial environment. N.Y.: Springer-Verlag, 1986. 533 p.
22. Плеханова И.О., Золотарева О.А. Экологическое нормирование состояния почв, загрязненных тяжелыми металлами // Агрохимия. 2020. № 10. С. 79–88.
23. Плеханова И.О., Золотарева О.А. Оценка и нормирование экологического состояния почв, загрязненных тяжелыми металлами // Агрохимия. 2021. № 7. С. 83–94.
24. Иващенко К.В., Ананьева Н.Д., Васенев В.И., Кудяров В.Н., Валентини Р. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-измененных экосистемах (Московская область) // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1077–1088.
25. Schlesinger W.H., Andrews J.A. Soil respiration and global carbon cycle // Bioge-ochemistry. 2000. V. 48. P. 7–20.
26. Пряженникова О.Е. Целлюлозолитическая активность почв в условиях городской среды. Кемерово: Сибир. изд. группа, 2011. 141 с.
27. <https://murzim.ru/nauka/biologiya/mikrobiologija/25518-analiz-fiziologicheskikh-grupp-bakteriy.html>
28. Кузина А.А. Целлюлозолитическая активность почв Черноморского побережья Кавказа в усло-

- виях химического загрязнения // Изв. Самар. НЦ РАН. 2016. Т. 18. № 2(2). С. 422–425.
29. Рылова Н.Г., Степучь Н.Ф. Изменение целлюлазной активности почв в результате загрязнения тяжёлыми металлами // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. 6: Биология. Науки о Земле. 2005. № 10. С. 65–70.
30. Плеханова И.О., Золотарева О.А., Тарасенко И.Д. Применение методов биотестирования при оценке экологического состояния почв // Вестн. МГУ. Сер. 17: Почвоведение. 2018. № 4. С. 36–46.
31. Plekhanova I.O., Zolotareva O.A., Tarasenko I.D. Application of biotesting methods at assessment of ecological state of soils // Moscow Univ. Soil Sci. 2018. V. 73. № 4. P. 163–173.
32. Плеханова И.О., Золотарева О.А., Тарасенко И.Д., Яковлев А.С. Оценка экотоксичности почв в условиях загрязнения тяжёлыми металлами // Почвоведение. 2019. № 10. С. 1243–1258.
33. Plekhanova I.O., Zolotareva O.A., Tarasenko I.D., Yakovlev A.S. Assessment of the ecotoxicity of soils contaminated with heavy metals // Euras. Soil Sci. 2019. V. 52. № 10. P. 1274–1288. <https://doi.org/10.1134/S1064229319100089>
34. Яковлев А.С., Макаров О.А., Рыбальский Н.Г., Барсегян А.Г., Вавилова В.М., Гендугов В.М., Гладкова М.М., Глазунов Г.П., Долгинова В.А., Евдокимова М.В., Медведева О.Е., Муравьева Е.В., Плеханова И.О., Попечиц О.А., Рыбальский Н.Н., Самотесов Е.Д., Сизов А.П., Сладкопевцев С.А., Соколин А.С., Терехова В.А., Титарев Р.П., Шестакова М.В. Охрана почв и земель: коллект. монограф. М.: НИИ-Природа, 2015. 556 с.

Changes in the Cellulolytic Activity and Microbial Respiration of Soils of Different Types under Conditions of Contamination with Heavy Metals

O. A. Zolotareva^a, I. O. Plekhanov^{a,#}

^aLomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science,
Leninskie Gory 1, p. 12, Moscow 119992, Russia

[#]E-mail: irinaoplekhanova@mail.ru

It has been experimentally established that when soils are polluted with heavy metals, the boundary concentrations of metals above which signs of ecotoxicity are detected are different for the microbial community. Inhibition of respiration of the studied soils was observed at lower doses of Pb, Zn and Cd than enzymatic cellulase activity. Cd compounds and polyelement contamination conditions are the most toxic for microorganisms. Concentrations of heavy metals have been identified that can have a significant negative impact on the soil microbial community at different levels of contamination of sod-podzolic, gray forest, leached chernozem and chestnut soils. In descending order of resistance to TM, the studied soils can be arranged in the following row: leached chernozem (Luvic Chernozem) > grey forest (Eutric Retisol (Ochric)) > chestnut (Haplic Kastanozem) ≥ sod-podzolic (Eutric Albic Retisol (Ochric)).

Keywords: pollution, cellulase activity, ecotoxicity, rationing, soil respiration, Retisols, Luvisols. Chernozems, Kastanozems.

УДК 631.87:632.122.1

ЗООКОМПОСТ – РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ И МАТЕРИАЛ ДЛЯ РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ[§]

© 2024 г. Е. А. Пендюрин^{1,*}, Л. М. Смоленская¹, Ж. А. Сапронова¹, И. В. Бомба¹¹Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова
308012 Белгород, ул. Костюкова, 46, Россия

*E-mail: pendyrin@yandex.ru

Способ получения органического удобрения из органических отходов с использованием личинок мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) является достаточно новым в агропромышленной сфере и позволяет решать проблемы получения белка и переработки органических отходов. Важной задачей также является изучение возможности использования зоокомпоста для восстановления техногенно-нарушенных почв. Установлено, что зоокомпост сохраняет свою стабильность и физико-химические характеристики в течение длительного времени, добавление его в количестве 1.25 мас. % к почвенным образцам снижает содержание подвижной формы кадмия на 41%. Таким образом, можно рекомендовать использование зоокомпоста в качестве биоудобрения, а также для ремедиации грунтов, подвергшихся загрязнению тяжелыми металлами.

Ключевые слова: органические отходы, зоокомпост, муха Черная львинка, тяжелые металлы, ремедиация почв.

DOI: 10.31857/S0002188124020095

ВВЕДЕНИЕ

Утилизация органических отходов – это острая проблема городов с большой плотностью населения. Это связано с тем, что продукты питания имеют ограниченный срок годности, а т.к. органические отходы содержат ценные компоненты, это их делает потенциальным энергетическим источником. Употребление органических отходов в сельскохозяйственном производстве позволит не только снизить антропогенную нагрузку, но и извлекать из них необходимые для растений питательные вещества.

В последнее время наиболее перспективными являются инновационные технологии биопереработки органических остатков с помощью насекомых. Изучаемая биотехнология построена на трансформации личинкой насекомого Черная львинка любых органических веществ. Метод переработки органических отходов сопровождается образованием зообелковой биомассы, включая процессы сокращения объема субстрата, вторичное использование отхода культивирования личинок в качестве биокомпоста [1]. Перерабатывающие компании не способны справиться с объемом органических отходов. При этом

неправильная утилизация наносит серьезный ущерб окружающей среде. Из литературных источников известно, что личинки мухи Черная львинка способны трансформировать практически все органические остатки растениеводства и животноводства, иловые осадки сточных вод, отходы рыбы и мяса, испорченные фрукты и овощи, кухонные и ресторанные отходы [2]. Следует отметить, что одна особь в сутки утилизирует 25 мг органических отходов [3].

Исследованный способ получения органического удобрения является достаточно новым в агропромышленной сфере и позволяет решать проблемы получения белка и переработки органических отходов. Главным преимуществом этого подхода является то, что в процессе поедания органической продукции личинками насекомого данные остатки измельчаются и уменьшаются в объеме на 70–80%. Да и сами органические отходы после трансформации личинками мухи Черная львинка отходами уже не являются, т.к. представляют собой высокоценное и экологически чистое органическое удобрение для растений – зоогумус [4].

Главное достоинство изученной технологии – ее экологическая безопасность для окружающей среды и человека. Результаты исследований подтвердили, что данный вид насекомых не является переносчиком инфекций. Кроме того, он не способен к выживанию

[§] Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов “Приоритет 2030” с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

в отсутствие необходимых условий — при попадании во внешнюю среду происходит гибель насекомого [3].

Проведя оценку литературных источников, можно сделать вывод, что для переработки органических отходов можно применять личинку мухи Черная львинка, которая способна использовать в качестве питания практически все субстраты органического происхождения. Из переработанных личинок получают зообелковую биомассу, которой можно кормить животных. В отличие от зарубежных государств в России данная проблема мало изучена, технология биопереработки на данный момент практически не распространена и поэтому весьма актуальна.

Одной из приоритетных проблем Российской Федерации является сохранение и оздоровление окружающей среды [5], поэтому важной задачей также является изучение возможности использования зоокомпоста для восстановления техногенно-нарушенных почв.

Известно, что компост из смешанных твердых бытовых отходов можно успешно использовать для восстановления сильноокислых, загрязненных металлами шахтных почв, для корректировки кислотности почвы и увеличения содержания в почве органического вещества, общего азота и доступных фосфора и калия [6].

Компост ограничивает доступность Zn в загрязненных почвах, а гуминовые вещества могут образовывать комплексы с ионами металлов или непосредственно реагировать с тяжелыми металлами (ТМ) из-за обилия различных функциональных групп, таких как карбоксильные, карбонильные и фенольные. Кроме того, некоторые микроорганизмы в компосте могут напрямую иммобилизовать ТМ. Внесение компоста может влиять на численность, состав сообщества и активность почвенных микроорганизмов и способствовать прямой деградации или косвенной трансформации загрязнителей в той или иной степени [7].

При длительном хранении зоокомпоста его физико-химические характеристики могут претерпевать изменения, поэтому при его использовании в сельском хозяйстве нужно обладать информацией о его стабильности. Цель работы — исследование свойств зоокомпоста на основе органических субстратов и личинок мухи Черная львинка для его использования в качестве органического удобрения и ремедиатора почв при их загрязнении ТМ.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования использовали образцы зоокомпоста личинок мухи Черная львинка — свежие и после хранения в течение одного года в закрытом полипропиленовом мешке в складском помещении с температурой окружающей среды 12–17°C. В качестве питательного субстрата для выращивания личинок и получения зоокомпоста

использовали опилки, некондиционное зерно, просроченные пищевые продукты.

Для исследования образцов зоокомпоста использовали стандартные методы: воздушно-тепловой, титриметрический, спектрофотометрический, потенциометрический и кондуктометрический.

Наличие и разнообразие микробоценоза исследованного зоокомпоста оценивали методом посева водных вытяжек материала со степенью разведения 10^{-4} и 10^{-7} на твердые питательные среды, с последующим культивированием в оптимальных условиях роста и подсчетом колоний образующих единиц (КОЕ) в 1 г компоста.

Максимальное количество аэробных бактерий учитывали на питательной среде МПА (мясопептонном агаре), для подсчета количества грибной и дрожжевой микрофлоры использовали питательные среды (агар) Чапека и Сабуро. Количество колоний пересчитывали на 1 г зоокомпоста с учетом влажности, определенной весовым методом.

Важным этапом исследований было определение влияния добавки зоокомпоста на почвы в случае загрязнения ТМ. В качестве металла был выбран кадмий, являющийся распространенным экотоксикантом.

Для проведения эксперимента пробы почв были искусственно загрязнены ионами кадмия в расчете 10 мг/кг почвы. Растворы, содержащие ионы Cd^{2+} в необходимых концентрациях, готовили путем растворения $Cd(NO_3)_2 \times 4H_2O$ в дистиллированной воде. Обработанные растворами пробы почв выдерживали во влажном состоянии в течение 72 ч для равномерного распределения соли металла в объеме всего образца. Затем к почвенным пробам был добавлен зоокомпост в различных соотношениях. Контролем выступала почва, также загрязненная кадмием. После добавления зоокомпоста пробы снова выдерживали 72 ч для взаимодействия компонентов зоокомпоста с кадмием. Определение содержания металла проводили в соответствии с РД 52.18.289-90 “Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показано, что зоокомпост личинок мухи Черная львинка был рыхлым рассыпчатым органическим веществом с преобладающим размером частиц 0.5–3.0 мм. Установлено, что зоокомпост личинок мухи Черная львинка обладал высокой влагоемкостью и влагостойкостью. Причем, это характерно как для свежих, так и для образцов, хранившихся в течение 1-го года. Установлено, что зоокомпост личинок мухи Черная львинка в процессе хранения не спрессовывался и не уплотнялся — следовательно, его можно

использовать как разрыхлитель почвы. Основные питательные вещества в нем находились в виде различных легкодоступных органико-минеральных соединений. Зоокомпост личинок мухи Черная львинка содержал Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe_2O_3 , а также был богат полезной для почвы и растений микробной флорой – до 70×10^7 бактериальных КОЕ, свыше 21×10^7 КОЕ дрожжевых и грибных культур [8].

Задачами исследования зоокомпоста личинок мухи Черная львинка были оценка содержания водорастворимой части, биогенных элементов и оценка обобщенных показателей. Показано, что образцы зоокомпоста имели повышенное солесодержание – 4.94–5.31%. Среди анионов преобладали сульфаты (0.739–1.009%) и гидрокарбонаты (0.566–1.879%). Установлено, что хранение образцов зоокомпоста в течение 1-го года не оказывало влияния на его солесодержание (табл. 1).

Наличие в зоокомпосте личинок мухи Черная львинка определяло содержание биологически значимых химических элементов, обеспечивающих интенсивное развитие сельскохозяйственных культур. Было установлено, что в образцах происходили процессы нитрификации. Среди продуктов азотистого обмена преобладал аммонийный азот, причем по истечении 1-го года хранения доли содержания нитратного

и нитритного азота значительно увеличивались – в среднем в 8–10 раз (табл. 2).

С целью установления возможности использования зоокомпоста личинок мухи Черная львинка в качестве органического удобрения были определены его некоторые дополнительные показатели (табл. 3).

Для комплексной характеристики биологической активности почвы, позволяющей оценить интенсивность и направленность процессов, обусловленных жизнедеятельностью почвенной биоты, используют микробиологические (численность, состав различных групп микро- и мезоорганизмов, биомасса микроорганизмов и т.п.) и биохимические (уровень ферментативной активности, “дыхание” почвы и т.п.) показатели.

Биологическая активность зоокомпостов определяется в основном жизнедеятельностью микроорганизмов. Потенциальную биологическую активность характеризует пул микроорганизмов, традиционно определяемый методом посева на твердые (агаризованные) питательные среды методом разведений.

На основании визуальной оценки интенсивности роста микроскопических культур на питательных средах и проведенных соответствующих расчетов показано наличие в составе микробценоза представителей всех видов микроорганизмов, количество

Таблица 1. Исследование водной вытяжки зоокомпоста личинок мухи Черная львинка

Образец	Характеристика солевого режима	Сухой остаток	Анионы				Катионы	
			%					
			CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
1	Солончаки	5.31 ± 0.36	0.150 ± 0.02	0.566 ± 0.01	0.138 ± 0.02	1.009 ± 0.09	0.071 ± 0.02	0.020 ± 0.04
После хранения в течение 1-го года								
2	Солончаки	4.94 ± 0.04	–	1.88 ± 0.01	0.825 ± 0.02	0.729 ± 0.05	0.133 ± 0.02	0.040 ± 0.03

Таблица 2. Содержание основных биогенных компонентов в зоокомпосте

Образец	Нитраты, (NO_3^-)	Нитриты (NO_2^-)	Ион аммония (NH_4^+)	Общий азот (N)	$C_{орг}$	Гумус	P_2O_5	Fe_2O_3
	мг/кг				%		мг/100 г	
	1	619 ± 28	2.54 ± 0.2	8030 ± 1110	8650 ± 990	17.8 ± 0.3	30.6 ± 0.2	227 ± 20
После хранения в течение 1-го года								
2	4960 ± 25	97.8 ± 0.2	5440 ± 1010	10500 ± 1000	16.1 ± 0.2	27.7 ± 0.3	315 ± 21	26.5 ± 1.3

Таблица 3. Дополнительные показатели зоокомпоста личинок мухи Черная львинка

Образец	Влажность $W, \%$	pH_{H_2O}	pH_{KCl}	В водной вытяжке 1 : 10		Общее солесодержание, %	Общая щелочность, мг-экв/100 г
				УЭП*, мСм/см	минерализация по NaCl, г/л		
				1	60.5 ± 0.7		
После хранения в течение 1-го года							
2	55.0 ± 0.9	7.62 ± 0.14	7.48 ± 0.2	2.07	1.2	6.7 ± 0.1	30.8 ± 0.4

*УЭП – удельная электропроводность.

Таблица 4. Характеристики образцов зоокомпоста культивирования личинок мухи Черная львинка

Наименование показателей по ГОСТ 33830-2016 и ГОСТ 34102-2017	Образцы зоокомпоста		
	исходный	после хранения в течение 1-го года	
Массовая доля сухого вещества, %	≥25	39.6 45.0	
Содержание балластных инородных механических включений (камни, щебень, металл и т.п.) размером <40 мм, %	1.5	Отсутствует	
Показатель активности водородных ионов, ед. рН	6.0–8.5	8.0	7.6
Массовая доля органического вещества, % на сухое вещество, не менее	50	43	36
Массовая доля питательных веществ в удобрении с исходной влажностью, %, не менее			
азота общего	0.7	0.9	1.0
фосфора общего, в пересчете на P ₂ O ₅	0.5	0.2	0.3
Наличие патогенных и болезнетворных микроорганизмов, в том числе энтеробактерий (патогенных серовариантов кишечной палочки, сальмонелл, протеи), энтерококков, стафилококков, клостридий, бацилл, энтеровирусов, КОЕ/г	Не допускается	Отсутствует	
Наличие жизнеспособных яиц и личинок гельминтов, в том числе нематод (аскаридат, трихоцефалов, стронгилят, стронгилоидов), трематод, цестод, экз./кг	Не допускается	Отсутствует	

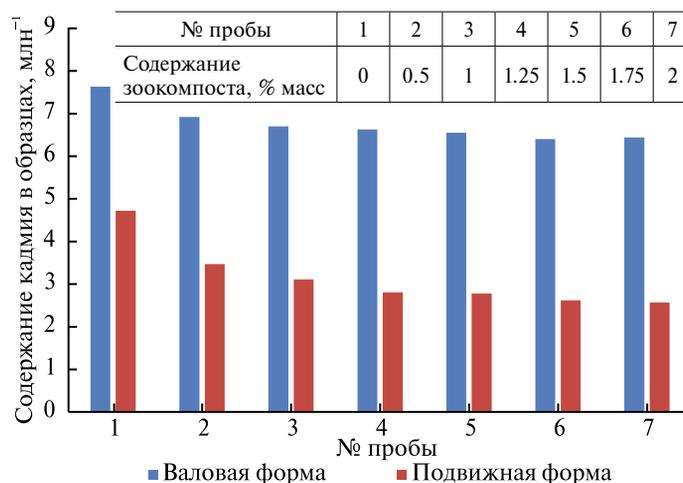
которых в 1 г сухого компоста составило: бактериальных КОЕ – до 70×10^7 , дрожжевых и грибных культур – свыше 21×10^7 КОЕ. Было установлено, что после 1-го года хранения количество микроорганизмов в 1 г сухого компоста незначительно уменьшилось и составило: бактериальных КОЕ – до 52×10^7 , дрожжевых и грибных культур – свыше 19×10^7 КОЕ.

С целью установления пригодности зоокомпоста личинок мухи Черная львинка для использования в качестве органических удобрений в сельском и приусадебном хозяйстве сравнили полученные физико-химические, механические и агрохимические показатели с требованиями ГОСТ 33830–2016 и ГОСТ 34102-2017 (табл. 4).

После анализа данных табл. 4 можно сделать вывод, что зоокомпост личинок мухи Черная львинка соответствует требованиям ГОСТ 33830-2016, ГОСТ 34102-2017, и его можно применять в качестве органического удобрения в сельском и приусадебном хозяйствах.

На рис. 1 приведены результаты исследования возможности использования зоокомпоста для уменьшения подвижности ионов кадмия в почвенных образцах.

При добавлении зоокомпоста в количестве 1.25 мас. % наблюдали значительное снижение подвижности ионов кадмия (на 41%), при добавлении зоокомпоста в количестве 2.0 мас. % подвижность элемента снижалась на 46%. Таким образом, можно

**Рис. 1.** Содержание валовой и подвижной форм кадмия в исследованных почвенных образцах с разным содержанием зоокомпоста.

рекомендовать использование зоокомпоста в грунтах, подвергшихся загрязнению тяжелыми металлами для снижения биодоступности последних для растений.

ВЫВОДЫ

1. Зоокомпост, полученный переработкой пищевых и сельскохозяйственных отходов личинками мухи Черная львинка, сохранял свою стабильность и физико-химические характеристики в течение длительного времени. Образцы зоокомпоста сохраняли показатели влажности 55–60% и не слеживались по истечении 1-го года хранения.

2. Образцы свежего зоокомпоста личинок мухи Черная львинка и образцы после хранения в течение 1-го года в закрытом полипропиленовом мешке в складском помещении с температурой окружающей среды 12–17°C содержали продукты азотистого обмена с преобладанием аммонийного азота, причем через 1 год доля нитратного и нитритного азота увеличилась.

3. На основании визуальной оценки интенсивности роста микроскопических культур на питательных средах и проведенных соответствующих расчетов показано наличие в составе микробоценоза зоокомпоста личинок мухи Черная львинка представителей всех видов микроорганизмов, количество которых в 1 г сухого компоста составило: бактериальных КОЕ – до $52-70 \times 10^7$, дрожжевых и грибных культур – свыше $19-21 \times 10^7$ КОЕ.

4. При добавлении к грунту зоокомпоста в количестве 1.25 мас. % наблюдали значительное снижение подвижности ионов кадмия. Зоокомпост личинок мухи Черная львинка может оказаться эффективным ремедиатором почвы при ее загрязнении тяжелыми металлами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пендюрин Е.А., Рыбина С.Ю., Смоленская Л.М. Использование зоокомпоста Черной львинки в качестве органического удобрения // Аграрн. наука. 2020. № 7–8. С. 106–110.
2. Bosch G., van Zanten H.H.E., Zamprogn A., Veenenbos M. Conversion of organic resources by black soldier fly larvae: Legislation, efficiency and environmental impact // J. Clean. Product. 2019. V. 222. P. 355–363.
3. Бастраков А.И., Загоринский А.А., Козлова А.А., Ушакова Н.А. Высокоэффективная биоконверсия органических субстратов личинками Черной Львинки (*Hermetia illucens*) // Биотехнология и качество жизни: Международ. научн.-практ. конф. Москва, 18–20 марта 2014 г. М., 2014. С. 418–419.
4. Удалова Ж.В., Бастраков А.И., Зиновьева С.В., Ушакова Н.А. Применение личинок Черной львинки, *Hermetia illucens*, для утилизации картофеля, зараженного фитонематодами // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями. 2019. № 20. С. 627–632.
5. Глаголева Н.Н., Матвеева О.П. Экологическая безопасность как фактор экономического развития страны // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В. Г. Шухова. 2015. № 5. С. 286–289.
6. Sajeevee S.S., Rengel Z., Solaiman Z.M. Remediation of heavy metal-contaminated iron ore tailings by applying compost and growing perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) // Chemosphere. 2022. V. 288. 132573. 10 p.
7. Qian Sh., Zhou X., Fu Y. Biochar-compost as a new option for soil improvement: Application in various problem soils // Sci. Total Environ. 2023. V. 870 162024. 18 p.
8. Пендюрин Е.А., Смоленская Л.М., Святченко А.В. Использование зоокомпоста культивирования личинок мухи черная львинка (*Hermetia illucens*) при выращивании огурцов // Вестн. аграрн. науки. 2021. № 1(88). С. 56–62.

Zoocompost – a Solution to the Organic Waste Problem and a Material for Soils Polluted with Heavy Metals Remediation

E. A. Pendyurin^{a, #}, L. M. Smolenskaya^a, J. A. Saprionova^a, I. V. Bomba^a

^aShukhov Belgorod State Technological University,
ul. Kostyukova 46, Belgorod 308012, Russia

[#]E-mail: pendyurin@yandex.ru

Recycling of organic waste is an acute environmental problem. Recently, the most promising are innovative technologies for bio-processing of organic residues with the help of insects. The method of obtaining organic fertilizer from organic waste using larvae of the Black Lion fly is quite new in the agro-industrial sphere and allows solving the problems of protein production and processing of organic waste. An important task is also to study the possibility of using a zoo compost for the restoration of technogenically disturbed soils. It was found that the zoo compost retains its stability and physico-chemical characteristics for a long time, adding it in an amount of 1.25 wt.% to soil samples reduces the content of the mobile form of cadmium by 41%. Thus, it is possible to recommend the use of zoocompost as a biofertilizer, as well as for remediation of soils contaminated with heavy metals.

Keywords: organic waste, zoo compost, Black Lion fly, heavy metals, soil remediation.

УДК 631.452:526.32:631.559:633.1

РОЛЬ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И СОРТА В ПОВЫШЕНИИ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

© 2024 г. С. А. Шафран¹*, Е. С. Козеичева¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

*E-mail: shafran38@mail.ru

Представлен обзор публикаций, посвященных изучению влияния минеральных удобрений на урожайность различных сортов зерновых культур на различных почвах. При этом особое внимание уделено оценке долевого участия различных факторов на формирование их урожайности. Установлено, что наибольший вклад в формирование урожайности приходится на почвенное плодородие, который на дерново-подзолистых высококультурных почвах составил в зависимости от доз азота и сорта 68–90%, а долевое участие азотных удобрений менялось от 10 до 32%. Коэффициент вариации между сортами по величине урожайности находился в пределах 16–20%. Прирост урожайности озимой пшеницы от внесения азота в сравнении со стандартным сортом Заря варьировал от 64 до 146%. В опыте ВНИПТИХИМ, где было испытано 33 сорта озимой пшеницы и 17 сортов ярового ячменя, долевое участие фактора плодородия почвы в формировании урожая озимой пшеницы составило 81–82, ярового ячменя – 83–89%, вклад сорта соответственно – 6, 13 и 6%. На черноземе обыкновенном его участие в формировании урожайности озимой пшеницы несколько превышало показатели дерново-подзолистых почв, а также вклад удобрений, несмотря на внесение более высоких доз минеральных удобрений. Варьирование урожайности в зависимости от сорта составило 5–6%. В опыте на черноземе выщелоченном, который характеризовался средней агрохимической окультуренностью, наиболее продуктивный сорт озимой пшеницы показал урожайность в 2 раза меньше, чем у ранее рассмотренных сортов.

Ключевые слова: плодородие почв, сорт, урожайность, вклад факторов.

DOI: 10.31857/S0002188124020105

ВВЕДЕНИЕ

Мировая статистика свидетельствует о том, что в последние годы на долю минеральных удобрений приходится 40% прироста производства продовольствия. По данным ФАО [1] потребление минеральных удобрений в мире достигло почти 200 млн т. Это не случайно, поскольку среди основных факторов повышения урожайности (сорт, средства защиты растений и др.) главным остается применение удобрений и химических мелиорантов. Об этом убедительно свидетельствует опыт мирового земледелия. Вместе с тем имеются и иные соображения. Ряд отечественных ученых считает, что в современной земледелии сорт выступает как самостоятельный фактор повышения урожайности наряду с технологией выращивания, имеет большое значение для получения высоких и устойчивых урожаев [2–4]. Более того, они полагают, что если раньше вклад технологии и сорта в реализацию урожая составляли равные величины, то в настоящее время сорт выходит на первый план [5]. В то же время они не отрицают положительного влияния на урожайность удобрений, отводя основное значение азотным, полагая, что азотное питание зерновых культур является главным

фактором, определяющим величину их урожайности. Недостаток азота для злаковых культур приводит к угнетению фотосинтетической деятельности растений [6, 7], ослаблению кущения и образованию меньшего количества зерен в колосе [8]. С учетом биологических особенностей культуры применение оптимальных доз азотных удобрений позволяет наиболее эффективно использовать питательные вещества и получать урожаи зерна, близкие к запланированным [9–11]. При этом доза азота будет иметь первостепенное значение [13].

Запас азота в почве оказывает существенное влияние на ростовые процессы и эффективность азотных удобрений [14, 15]. Чем больше концентрация азота в почве, тем больше поступает его в растения и включается в обмен азотистых веществ, усиливая тем самым интенсивность процессов, связанных формированием урожая и синтезом запасных белков. С увеличением содержания минерального азота в почве урожайность пшеницы повышается, а действие азотных удобрений снижается [16, 17]. Исследованиями М.П. Чуб [18] показано, что в благоприятных гидротермических условиях на почвах с достаточным содержанием азота яровая пшеница способна обеспечить урожайность зерна

на высоком уровне без внесения удобрений. Однако на почвах с низким естественным плодородием, в зонах умеренно холодного климата или при недостаточном увлажнении важнейшим рычагом интенсификации земледелия выступают именно удобрения [19].

За период научной селекции в Центральном регионе Нечерноземной зоны произошло несколько этапов сортосмены, что позволило сделать мощный скачок в повышении урожайности зерновых культур. Например, одним из достижений в селекции озимой пшеницы было в Центральной части Нечерноземья доведение потенциальной урожайности озимой пшеницы, районированной в 1930-е гг., с 36 до 76 ц/га к началу тысячелетия [5] (табл. 1).

Безусловно, это большое достижение института, и его работа в данном направлении продолжается. Вместе с тем необходимо отметить, что авторы ничего не говорят об условиях, при которых получены приведенные результаты. Речь идет в первую очередь о внесении удобрений, и каков был уровень почвенного плодородия, т.е. какими агрохимическими свойствами характеризовались поля, где испытывали данные сорта. Об этом ничего не сказано, и это затрудняет сделать достоверную оценку полученным результатам.

В связи с тем, что в конце прошлого столетия усилились работы по выведению новых сортов зерновых культур, появился интерес к изучению отзывчивости

вновь выведенных сортов на применение минеральных удобрений. По мере включения в сортоиспытание новых, более перспективных сортов расширились исследования по выявлению их отзывчивости на минеральные удобрения. В этот же период в нашей стране резко снизилось применение удобрений и для того, чтобы не уменьшить производство зерновой продукции, селекционеры стали усиленно пропагандировать внедрение в производство новых сортов зерновых культур, мотивируя это возможностью получения высоких урожаев. Однако практика показала, что потенциал этих сортов реализуется только на 30–40% в условиях производства, что вызвано нарушениями технологии их возделывания [20]. Вполне возможно, что подобные факты имеют место, но основная причина заключается в том, что поля, на которых были выведены и испытаны высокоурожайные сорта, и поля сельскохозяйственных предприятий сильно различаются по уровню плодородия.

Возьмем, например, сорта озимой пшеницы МосНИИСХ, которые характеризуются урожайностью 10 т/га и больше. Испытание этих сортов было проведено на дерново-подзолистых почвах, в которых содержание подвижного фосфора составляло 220–497 мг/кг, т.е. было высоким и очень высоким, и подвижного калия – 113–196 мг/кг. На такой почве урожайность сорта Московская 39 составила в среднем за 10 лет 5.1 т/га,

Таблица 1. Достижения селекции озимой пшеницы в Центральном районе Нечерноземной зоны [5]

Годы районирования	Сорт	Урожайность, ц/га	
		сорт	в среднем за период
1930-е	Московская 2453	35.4	36.0
	Эритроспермум 917	36.3	
1950-е	ППГ-599	44.2	45.0
	ППГ-186	44.9	
	Мироновская 808	55.8	
1970-е	Заря	53.1	55.0
	Янтарная 50	55.4	
	Памяти Федина	65.0	
1990-е	Немчиновская 25	65.1	65.0
	Немчиновская 95	65.8	
	Инна	64.8	
	Лютесценс 110/98	77.8	
	Лютесценс 248/97	74.1	
2000–2001	Лютесценс 786/99	74.1	76.0
	Эритроспермум 228/00	74.4	
	Эритроспермум 356/00	78.6	
	Эритроспермум 245/00	77.5	

Таблица 2. Урожайность сортов озимой пшеницы и вклад факторов в ее формирование (среднее за 1998–2007 гг.), т/га

Сорт	Вариант			Вклад в урожайность, %		
				почва	сорт	
	N0	N60	N120	N120	N60	N120
Эритроспермум 917	3.1	3.8	3.6	86	78	64
ППГ 599	3.5	3.8	3.8	92	78	68
Мироновская 808	4.0	4.9	5.4	74	100	79
Заря	4.3	4.9	5.6	77	100	100
Инна	5.1	5.7	6.8	75	116	121
Памяти Федина	5.4	6.1	7.2	75	124	129
Московская 39	5.1	5.9	6.7	76	120	120
Галина	5.5	6.6	7.5	73	135	134
Немчиновская 24	5.6	7.1	8.2	68	145	146
Московская 56	5.7	6.5	7.0	81	133	125
Немчиновская 57	5.6	6.3	7.0	80	129	125
Лютесценс 33	4.9	6.3	7.2	68	129	129
Эритроспермум 377	5.2	5.8	6.7	78	118	120
Эритроспермум 281	4.7	5.4	6.6	71	110	118
Коэффициент вариации, %	16	17	20			

Таблица 3. Группировка почв по степени агрохимической окультуренности

Степень окультуренности	рН _{KCl}	Содержание в почве, мг/кг					
		N _{мин}		P ₂ O ₅		K ₂ O	
		1	2	1	2	1	2
Низкая	≤4.5	≤5	≤10	≤50	≤15	≤80	≤200
Средняя	4.6–5.5	5.1–10.0	11–20	51–100	16–30	81–120	201–300
Повышенная	> 5.5	> 10	> 20	> 100	> 30	> 120	> 300

Примечание. В графе 1 – некарбонатные, 2 – карбонатные почвы.

сортов Галина – 5.5, Немчиновка 24–5.6 и Московская 56–5.7 т/га в варианте без внесения удобрений [21]. Внесение азотных удобрений позволило увеличить сбор зерна в зависимости от дозы и сорта до 7.0 т/га (табл. 2).

При анализе представленных данных возникает вопрос, за счет чего получена довольно высокая урожайность и какой из представленных факторов внес наиболее существенный вклад в формирование урожайности озимой пшеницы. Известно, что на урожайность сельскохозяйственных культур оказывает влияние множество факторов. Среди них тип почвы, реакция почвенной среды, содержание минерального азота, подвижных форм фосфора и калия в почвах и дозы удобрений. Все перечисленные факторы находятся во взаимодействии и могут оказывать как положительные, так и в отдельных случаях отрицательное действие. Обобщение большого количества экспериментальных данных позволило разработать соответствующие модели и подготовить их табличную интерпретацию, что дает

возможность оценить влияние плодородия различных почв по комплексу агрохимических свойств на урожайность сельскохозяйственных культур.

Для лучшего восприятия материала данные агрохимической характеристики почв по отдельным показателям были объединены в группы в зависимости от степени окультуренности [22] (табл. 3).

Используя обобщенные данные [23], были разработаны нормативы влияния агрохимической окультуренности почв на их вклад в формирование урожайности озимой пшеницы на основных типах почв России (табл. 4).

Способ установления вклада почвы в формирование урожайности была получена путем сопоставления величины урожайности, полученной в контрольном варианте (без удобрений), с вариантами, где удобрения вносили. Урожайность, полученная в контрольном варианте, принимали за 100%. Следовательно, в вариантах

Таблица 4. Влияние окультуренности почв на их вклад в формирование урожайности озимой пшеницы, %

Почвы	Окультуренность почв								
	низкая			средняя			средняя		
	Дозы азота, кг/га								
	30	60	90	30	60	90	30	60	90
Центральный федеральный округ									
Дерново-подзолистые	58	55	54	65	62	61	82	80	79
Серые лесные	69	65	65	78	76	75	87	14	85
Черноземы выщелоченные	77	73	73	85	82	82	91	89	89
Черноземы типичные	69	66	66	80	79	78	92	91	91
Черноземы обыкновенные	79	77	76	85	83	83	94	94	93
Южный и Северо-Кавказский федеральные округа									
Черноземы обыкновенные и южные	77	74	74	87	86	85	89	88	87
Черноземы карбонатные	85	83	83	89	88	87	94	93	92
Каштановые	85	82	82	92	91	91	96	96	95
Приволжский федеральный округ									
Серые лесные	71	66	66	83	80	80	91	90	89
Черноземы выщелоченные	81	77	77	88	88	86	93	92	91

с внесением удобрений вклад почвенного плодородия должен был составлять <100%, т.к. определенное количество урожая будет получено за счет удобрений. Поступив таким образом, были получены данные о вкладе плодородия почв и удобрений в получении определенной величины урожайности озимой пшеницы.

Для оценки влияния сорта на урожайность сравнивали данные, полученные для сорта, который был принят за стандарт. В случаях отсутствия такового сравнение делали относительно сорта с наименьшей продуктивностью.

Кроме того, для сравнения сортовых особенностей в формировании урожайности был использован такой показатель как коэффициент вариации, полагая, что чем больше этот коэффициент, тем большее влияние оказывает фактор сорта на урожайность.

Разумеется, такой метод не является идеальным, но все-таки позволяет осуществить оценку действия азота на урожайность в тех случаях, когда это не представляется возможным выполнить на основании экспериментальных данных, т.к. в подавляющем большинстве опытов испытание сортов проводят на почвах с одинаковыми агрохимическими свойствами. Вполне понятно, что при этом возможность оценить одновременно вклад почвенного плодородия и сорта отсутствует, и поэтому приходится прибегать к косвенным методам. Такой подход был использован впервые ЦИНАО при оценке экономической эффективности примененных удобрений в условиях производства и был обоснован в дальнейшем на более современной научной основе [22].

Согласно полученным данным, установлено, что с увеличением степени окультуренности почв по агрохимическим показателям возрастает вклад плодородия почв в формирование урожайности озимой пшеницы на всех изученных типах почвенных разновидностей, при более высокой дозе азота незначительно понижается долевое участие почвы в продукционном процессе.

Таким образом, возвращаясь к данным табл. 2, видим, что основной вклад в формирование урожайности озимой пшеницы вносило почвенное плодородие. Без внесения удобрений он составил 77–92%. При внесении удобрений долевое участие плодородия несколько снизилось, но все-таки оставалось высоким и было близким к нормативу, представленному в табл. 4. Поскольку в тот период за стандарт был принят сорт Заря, то его приняли за основу при установлении вклада в формирование урожайности озимой пшеницы. Расчеты показали, что вклад сорта был достаточно существенным, но не превышал доли плодородия и высокой дозы азотных удобрений.

Серия подобных опытов была проведена ВНИИПТИХИМ с большим набором сортов озимой пшеницы и ярового ячменя. Исследования проводили на дерново-подзолистой почве Московской обл. государственной сортоиспытательной станции, расположенной в Одинцовском р-не Московской обл. Почва опытного участка характеризовалась очень высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия. Всего было испытано 33 сорта озимой пшеницы и 17 сортов ярового ячменя в течение 2001–2004 гг. [24].

Для того, чтобы не загромождать описание, сорта были сгруппированы по величине полученной урожайности. К первой группе отнесены сорта озимой

Таблица 5. Влияние сорта и азотного удобрения на урожайность зерновых культур, возделываемых на дерново-подзолистой почве (среднее за 2001–2004 гг.), ц/га

Вариант	Урожайность		Прибавка урожайности		Вклад фактора плодородия почвы в урожай, %	Вклад фактора сорт в урожай, %
	ц/га					
	без удобрений	N35	от азота	от К		
Озимая пшеница						
Стандарт (сорт Заря)	44.0	54.2	10.2	–	81	–
I группа	50.2	62.3	12.1	1.9	81	13
II группа	46.4	57.2	10.8	0.6	81	6
III группа	41.3	50.6	9.3	–0.9	82	–6
Коэффициент вариации, %	9	9				
Ячмень яровой						
Стандарт (сорт Раушан)	33.8	39.5	5.7	–	89	–
I группа	33.0	39.7	6.7	1	83	–2
II группа	32.5	36.9	7.1	1.4	88	–4
Коэффициент вариации, %	5	6				

пшеницы, урожайность которой без внесения удобрений составила 49–52 ц/га и превышали стандарт (сорт Заря) на 4.8–7.7 ц/га, во вторую включены сорта с урожайностью 45–48 ц/га, в третью – сорта с урожайностью <45 ц/га. Данные урожайности ярового ячменя были распределены между 2-мя группами. Под все сорта были внесены азотные удобрения в дозе 35 кг/га (табл. 5).

Результаты исследования показали, что азотные удобрения оказались эффективными для всех сортов, и это позволило получить средний урожай в первой группе >60, во второй – 57.3, в третьей – 50.9 ц/га. Сорта ярового ячменя также хорошо отзывались на внесение азота, но при этом урожайность и прибавка урожая составляли меньшую величину. Долевое участие плодородия почвы в формировании урожайности озимой пшеницы составило 81–82%, ярового ячменя – 83–89%, из этого следует, что пшеница лучше использовала питательные вещества почвы и удобрений по сравнению с ячменем. Если учесть урожай, полученный при возделывании сорта Заря, принятого за стандарт, то вклад фактора сорт в формирование урожайности озимой пшеницы для первой и второй групп составит соответственно 6 и 13, третьей группы – 6%.

При аналогичном подходе к оценке вклада фактора сорт ярового ячменя в формировании урожайности видно, что испытанные сорта не оказали влияния на продуктивность этой культуры. Низкие коэффициенты вариации свидетельствовали о том, что в данных опытах вклад сорта в формирование урожайности был невысоким.

Несколько позднее были испытаны новые сорта селекции НИИСХ ЦРИЗ (ныне ФИЦ “Немчиновка”), но на полях не этого НИИ, а на полях опытного хозяйства ВНИИА. Исследования проводили совместно обоими учреждениями на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах, которые по уровню плодородия несколько отличались. Они характеризовались средним содержанием подвижного фосфора и повышенным – калия. Дозы удобрений устанавливали по методике ВНИИА в расчете на различные уровни урожайности. В связи с тем, что почва опытного участка была хуже обеспечена подвижным фосфором, особое внимание было уделено внесению фосфорных удобрений. В меньшей степени это касалось калийных удобрений, а дозы азота устанавливали и контролировали на основе диагностического обследования посевов [25].

Результаты исследования выявили высокую эффективность применения минеральных удобрений практически для всех изученных сортов и селекционных линий озимой пшеницы. Наибольший сбор зерна получен от селекционной линии Отбор из Лютеценс 982/08 и составил 85.4 ц/га при наиболее высокой дозе минеральных удобрений. Прибавка урожая от удобрений была очень высокой (табл. 6).

Вклад почвенного плодородия в формирование урожайности озимой пшеницы в зависимости от сорта при наименьшей дозе удобрений менялся от 66 до 72%. По мере увеличения доз удобрений снижалось долевое участие плодородия почв в урожае и возрастала роль удобрений в этом производственном процессе. Прирост урожая от внесения N210P110K74 почти приблизился

Таблица 6. Отзывчивость сортов озимой пшеницы селекции ФИЦ “Немчиновка” на минеральные удобрения (среднее за 2018–2019 гг.)

Сорт	Дозы удобрений			
	N0P0K0	N90P46K31	N150P76K54	N210P110K74
Урожайность, ц/га				
Московская 39	40.1	56.0	66.4	68.3
Московская 40	39.4	55.2	57.0	61.7
Московская 56	37.8	53.3	71.1	71.2
Немчиновская 85	38.0	56.9	66.3	71.1
Лютесценс 216/17	38.2	56.8	61.7	64.0
Лютесценс 982/28	37.9	57.0	66.5	69.7
Отбор из Лютесценс 982/08	42.6	64.0	75.8	85.4
Прибавка урожайности, ц/га				
Московская 39	—	15.9	26.3	28.2
Московская 40	—	15.8	17.6	22.3
Московская 56	—	15.5	33.3	33.4
Немчиновская 85	—	18.9	28.3	33.1
Лютесценс 216/17	—	18.6	23.5	25.8
Лютесценс 982/28	—	19.1	28.6	31.8
Отбор из Лютесценс 982/08	—	21.4	33.3	42.8
Вклад почвенного плодородия в урожай, %				
Московская 39	100	72	60	59
Московская 40	100	71	69	64
Московская 56	100	71	53	53
Немчиновская 85	100	67	57	53
Лютесценс 216/17	100	67	62	60
Лютесценс 982/28	100	66	57	54
Отбор из Лютесценс 982/08	100	67	56	50

Примечание. Содержание в почве: P₂O₅—96, K₂O — 172 мг/кг.

к величине урожайности, полученной в контроле, а для селекционной линии Отбор Лютесценс 982/08 был равным.

Сравнение этих данных с теми, которые представлены в табл. 4, говорит о том, что при внесении под озимую пшеницу N90 на дерново-подзолистой средне-окультуренной почве ее вклад в формирование урожайности составлял 61%, т.е. был близким к нормативам.

Подобные исследования проведены на черноземе обыкновенным в Донском зональном НИИСХ в 2003–2005 гг. на почве с низким содержанием подвижного фосфора [26]. В этом опыте впервые была изучена отзывчивость 15-ти сортов озимой пшеницы на азотные и фосфорные удобрения. В этом опыте представлялась возможность изучить действие различных доз NP на урожайность озимой пшеницы, размещенной после парового предшественника, и оценить долевое участие факторов в формировании ее урожайности. Представленные данные свидетельствуют о том, что сорта положительно отзывались на внесение удобрений.

Для всех сортов отмечено увеличение урожайности от внесения удобрений в более высокой дозе (табл. 6). Вместе с тем уместно отметить, что прирост урожая на черноземе обыкновенном был значительно меньше того, что получен на дерново-подзолистых почвах. Урожайность составила в среднем при дозе N90P50 91, при дозе N180P160 — 86%. Приняв данные урожайности сорта Тарасовская остистая за стандарт, видим, что вклад фактора сорт в величину урожая составил в варианте без внесения удобрений от 1 до 27, при дозе N90P50 — от 5 до 12 и при дозе N_{180P100} — от 2 до 17%. Коэффициент вариации составил 5–6%.

Подобные исследования проведены в многолетнем стационарном опыте Брянского государственного аграрного университета, а также на государственных сортоиспытательных участках Стародубского и Дубровского р-ов Брянской обл. с сортами Московская 56 и Немчиновская 57 [27].

Эти исследования выполнены в течение 2013–2016 гг. на серой лесной среднесуглинистой почве,

сформированной на лессовидных карбонатных суглинках. Почва опытного участка хорошо окультуренная, с содержанием гумуса 3.7% (по Тюрину), характеризуется очень высокой обеспеченностью подвижными формами фосфора (P_2O_5) – 300 мг/кг (по Кирсанову) и высоким содержанием подвижного калия (K_2O) – 261 мг/кг почвы (по Кирсанову), реакция почвенного раствора слабокислая (pH_{KCl} 5.6).

За годы исследований во всех вариантах технологий средняя урожайность зерна сорта Немчиновская 57 была больше, чем сорта Московская 56. В вариантах с биологизированной технологией урожайность зерна сорта Немчиновская 57 составила 3.35, сорта Московская 56 – 2.99 т/га. Наибольшую разницу между сортами наблюдали в вариантах с биологизированной технологией.

Изучена также сортовая отзывчивость яровой пшеницы на минеральное питание на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве [28]. Исследования проводили в 2009–2011 гг. на опытном поле “Тушково” учебного хозяйства БГСХА с яровой пшеницей сортов Тома и Сабина. Почва опытного участка по годам исследований имела слабокислую и близкую к нейтральной реакцию почвенной среды (pH_{KCl} 5.9–6.2), низкое и недостаточное содержание гумуса (1.41–1.58%), повышенное содержание подвижного фосфора (172–242 мг/кг), среднюю и повышенную обеспеченность подвижным калием (176–212 мг/кг).

Результаты исследований показали, что за счет естественного плодородия в контрольном варианте без внесения удобрений урожайность зерна яровой пшеницы сорта Сабина в среднем за 3 года исследований была на 2.0 ц/га больше, чем сорта Тома, которая составила 29.4 ц/га.

Приведенные выше данные по изучению эффективности различных сортов озимой пшеницы получены на полях научно-исследовательских институтов, и поэтому почвы экспериментальных полей характеризовались высокой окультуренностью и содержанием питательных веществ в доступной для растений формах. В связи с этим вызывает определенный интерес результаты исследований, полученные на полях менее окультуренных. Такие опыты проведены в работе [29] в СПК “Красная звезда” Исакинского р-на Самарской обл. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднemosный с содержанием гумуса 4.6%, pH 6.7, содержание нитратного азота, определенное перед внесением удобрений, составляло 2.5–13.8 мг/кг, подвижных форм фосфора и калия – соответственно 53–96 и 61–123 мг/кг. Исследования проведены в течение 2002–2005 гг. с 4-мя сортами озимой пшеницы селекции Самарского НИИСХ им. Н. М. Тулайкова: Безенчукская 380, Малахит, Лютесценс 661 и Поволжского НИИСХ им. П. Н. Константинова: Лютесценс 2860.

Из испытанных сортов озимой пшеницы лучше всех проявил себя сорт Безенчукская 380, показавший самую

высокую урожайность, а также значительный прирост урожая от азотных удобрений (табл. 7).

Окупаемость азота удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы также существенно варьировала между сортами и во многих случаях превышала 10 кг/кг, тогда как норматив, разработанный для лесостепной зоны Поволжья, составляет только 4.8 кг/кг [30].

По годам исследований урожайность сортов озимой пшеницы также была подвержена большим изменениям. В 2002 г. лучшие результаты были получены для сортов Безенчукская 380 и Лютесценс 661, в неблагоприятном по погодным условиям 2003 г. – для Безенчукской 380, в 2004 г. выделялись сорта Малахит и Безенчукская 380, в 2005 г. – Безенчукская 380 и Лютесценс 661 (табл. 8).

Вынос питательных веществ надземной частью озимой пшеницы заметно отличался в зависимости от сорта и варианта, величина которого определялась урожайностью озимой пшеницы и содержанием элементов питания в зерне и соломе.

Одной из важных характеристик сорта является величина выноса питательных веществ 1 т основной продукции с учетом побочной, т.к. эти показатели служат основной расчёта доз удобрений. Проведенные исследования показали, что удельный вынос азота и калия также заметно варьировал между сортами. Если у сорта Малахит в контроле вынос азота составил 19.8 кг/т, то у Лютесценс 2860 – 26.0 кг/т, у сорта Безенчукская 380 – 30 кг/т. За счет внесения карбамида существенно возрос вынос азота практически у всех испытанных сортов. Сильнее других реагировали на применение азота сорта Малахит и Безенчукская 380.

Для калия выявлены большие различия между сортами. Наименьший вынос этого элемента отмечен у сортов Малахит и Безенчукская 380, наибольший – у Лютесценс 2860, отличающимся более широким соотношением зерно: солома. В целом вынос калия оказался значительно меньше нормативного. Это можно объяснить тем, что нормативы были разработаны более 20 лет назад, т.е. для других сортов и, следовательно, с другим соотношением зерно: солома. В последние годы ведется селекция с целью получения низкостебельных сортов зерновых культур и, видимо, это отразилось на выносе калия, т.к. основное количество этого элемента концентрируется в соломе. В испытанных сортах соотношение побочной и основной продукции менялось от 0.68 до 0.98, тогда как при разработке нормативов оно составляло 1.4 [30].

В работе [31] изучено влияние различных доз и сроков внесения азотных удобрений на урожайность и качество различных районированных сортов озимой пшеницы на типичном черноземе Тамбовской обл. Исследования проводили в Тамбовском НИИСХ.

Почва опытного участка – чернозем типичный, мощный с содержанием: гумуса – 6.2–7.8%,

Таблица 7. Урожайность озимой пшеницы и долевое участие факторов в ее формирование на черноземе обыкновенном (среднее за 2003–2005 гг.)

Сорт	Урожайность, ц/га			Вклад в формирование урожая, %				
	Без удобрений	N90P50	N180P100	плодородие		сорт		
				N90P50	N180P100	Без удобрений	N90P50	N180P100
Тарасовская остистая	36.8	39.6	42.9	93	86	100	100	100
Престиж	38.1	41.4	43.9	92	87	104	105	102
Родник тарасовский	40.8	43.4	47.5	94	86	111	110	111
Северодонецкая юбилейная	38.8	43.0	45.7	90	85	105	109	107
Донская безостая	41.6	45.2	46.9	92	89	113	114	109
Ермак	43.7	48.5	49.6	90	88	119	122	116
Дон-95	39.6	46.5	48.9	85	81	108	117	114
Лира	46.7	48.0	49.5	97	94	127	121	115
Дея	40.8	43.9	45.0	93	91	111	111	105
Августа	37.1	41.2	44.4	90	84	101	104	103
Росинка тарасовская	40.7	44.1	48.0	92	85	111	111	112
Зерноградка-9	39.3	41.8	46.5	94	85	107	106	108
Донская юбилейная	40.4	46.5	49.8	87	82	110	117	116
Победа-50	37.0	42.3	46.1	87	80	101	107	107
Крошка	42.2	48.0	50.4	88	83	115	121	117
Коэффициенты вариации, %	6	6	5					

Таблица 8. Эффективность азотной подкормки озимой пшеницы на черноземе выщелоченном (среднее за 2002–2004 гг.)

Дозы азота, кг/га	Сорта			
	Малахит	Безенчукская-380	Лютесценс-2860	Лютесценс-661
	Урожайность, ц/га			
0	15.2	19.4	12.0	13.6
30	20.5	24.3	11.9	17.7
60	21.6	27.7	15.1	18.4
90	23.1	—	14.2	19.1
	Прибавка урожая, ц/га			
30	5.3	4.9	—	4.1
60	6.4	8.3	3.1	4.8
90	7.9	—	3.2	5.5
	Вклад плодородия почвы на формирование урожайности, %			
0	100	100	100	100
30	74	80	100	77
60	70	70	79	74
90	66	—	58	71
	Вклад удобрений в формирование урожайности, %			
30	26	20	0	23
60	30	30	21	26
90	34	—	15	29

Таблица 9. Влияние азотных удобрений на урожайность озимой пшеницы, возделанной на черноземе типичном (среднее за 2010–2012 гг.)

Вариант	Урожайность, ц/га		Прибавка урожая, ц/га	
	Московская 39	Губернатор Дона	Московская 39	Губернатор Дона
Без удобрений	18.1	28.2	–	–
P40K40 (фон)	19.2	29.8	1.1	1.6
Ф + N45 в	22.8	32.9	4.7	4.7
Ф + N90 ос	25.6	36.0	7.5	7.8
Ф + N135	23.1	32.7	5.0	4.5
Ф + N180	21.4	30.9	3.3	2.7

Примечание. Содержание в почве: P₂O₅–8.3, K₂O – 14.9 мг/кг.

Таблица 10. Вынос питательных веществ 1 т урожая зерна с учетом соломы (среднее за 2010–2012 гг.), кг

Вариант	Московская 39			Губернатор Дона		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Без удобрений	33.8	12.2	20.7	28.5	10.5	20.3
P ₄₀ K ₄₀ (фон)	32.9	12.4	21.4	28.7	11.0	19.5
Ф + N45 в	35.3	12.2	22.0	29.3	10.7	21.4
Ф + N90 ос	36.3	12.8	22.5	30.6	11.3	21.1
Ф + N135	37.2	12.8	23.6	31.1	11.1	21.4
Ф + N180	38.4	13.3	24.2	31.5	11.2	23.7

Примечание. Норматив для лесостепной зоны Центрально-Черноземного района: N – 22.6.

pH_{KCl} 5.4–6.1, содержание нитратного азота, определенное перед внесением удобрений, составляло 3.3–5.5, аммонийного – 2.1–3.9 мг/кг почвы, подвижных форм фосфора и калия – соответственно 121–201 и 113–252 мг/кг почвы, сумма поглощенных оснований – 38.7–70.3, гидролитическая кислотность – 3.1–5.0 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности почв основаниями – 86.6–96.5%.

Результаты опыта показали, что изученные сорта озимой пшеницы по разному реагировали на почвенное плодородие, тогда как их отзывчивость на внесение азотных удобрений оказалось практически одинаковой. Несмотря на крайне неблагоприятные условия 2-х лет исследования в среднем за 3 года наиболее высокая урожайность была получена при внесении N90, составившая у сорта Московская 39 – 25.6, у сорта Губернатор Дона – 36 ц/га (табл. 9).

В среднем за 3 года исследований минимальный вынос азота сортом Московская 39 составил 32.9 кг в варианте с внесением P40K40, максимальный – 38.4 кг в варианте с внесением N180 (N90 осенью + N90 весной), сортом Губернатор Дона – от 28.5 кг в варианте без удобрений до 31,5 кг в варианте с внесением N180. Вынос фосфора составил 12.2–13.3 кг/т сортом Московская 39, 10.5–11.3 кг – сортом Губернатор Дона, калия – соответственно 20.7–24.2 и 19.5–23.7 (табл. 10).

Таким образом, на черноземах типичных с высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия

удельный вынос питательных веществ изученными сортами озимой пшеницы значительно превышал нормативные показатели. Сорт Московская 39 выносил больше азота на 10.3–15.8, фосфора – на 3.9–5.0 и калия – на 5.8–9.3 кг, сорт Губернатор Дона выносил больше азота на 5.9–8.9, фосфора – на 2.2–3.0 и калия – на 4.6–8.8 кг с 1 т зерна с учетом соломы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ представленного материала свидетельствует о том, что на величину урожайности зерновых культур в основном оказывает влияние уровень почвенного плодородия. Это связано с тем, что в рассмотренных опытах исследования проводили на полях научно-исследовательских учреждений, которые характеризовались высоким уровнем плодородия, что не соответствует условиям производства. По данным агрохимического обследования пахотных почв (36% от всей площади), в России насчитывалось пашни с высоким содержанием подвижного фосфора 19%, в Нечерноземной зоне – соответственно 60 и 34%. Следовательно, представленные экспериментальные данные можно использовать только на незначительной территории. Этим можно объяснить тот факт, что потенциал высокопродуктивных сортов зерновых культур реализуется в производственных условиях лишь на 30–40% [20]. Например, сорта озимой пшеницы селекции МосНИИСХ, которые характеризуются урожайностью до 100 ц/га и больше, получены

и испытаны на высококультурных почвах. Кроме того, под эти сорта были внесены удобрения в высоких дозах. При внесении N120 урожайность озимой пшеницы превысила 7 т/га.

Наибольший вклад в формирование урожайности вносит фактор почвенного плодородия, его доля составляет в зависимости от доз азота и сорта 68–90%. Долевое участие азотных удобрений менялось от 10 до 32%, коэффициенты вариации находились в пределах 16–20%. Сравнение прироста урожая стандартного сорта Заря от внесения удобрений варьировало от 64 до 146%.

Аналогичные результаты получены в полевом опыте ВНИИПТИХИМ, где было испытано 33 сорта озимой пшеницы 17 – ярового ячменя. Долевое участие удобрений в формировании урожайности озимой пшеницы составило 81–82, ярового ячменя – 83–89%, вклад сорта – соответственно 6, 13 и 6%.

На черноземе обыкновенном доля участия фактора плодородия несколько превышала показатели дерново-подзолистых почв, а вклад удобрений, несмотря на внесение высоких доз, был меньше по сравнению с данными, полученными на дерново-подзолистых почвах. Варьирование урожайности в зависимости от сорта составило 5–6%.

В опыте, проведенном в условиях производства на черноземе выщелоченном, который характеризовался средним содержанием подвижного фосфора, урожайность озимой пшеницы наиболее продуктивного сорта оказалась в 2 раза меньше, чем у рассмотренных выше сортов, что можно объяснить более низким уровнем почвенного плодородия.

Для того, чтобы получить обоснованные научные данные о вкладе различных факторов в формирование урожайности зерновых культур, считаем целесообразным объединить усилия селекционеров и агрохимиков в проведении испытательных полевых опытов. Испытание новых сортов следует проводить не только на высококультурных, но и на почвах разного уровня плодородия. Об этом сказал еще 30 лет назад известный ученый Э. Л. Климашевский: “Для выделения агрохимически эффективных сортов следует вести сортоиспытание в условиях широкого спектра минерального обеспечения, не только на “высоком агрофоне”, но и в “спартанских условиях” [21].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудеяров В.Н. Баланс углерода и азота в современном земледелии Российской Федерации // Фундаментальные проблемы управления циклом азота в современном земледелии. Владимир: ВНИИПТИОУ–филиал Верхневолжского ФАНЦ, 2019. С. 3–23.
2. Ремесло В.Н. Селекция, семеноводство и сортовая агротехника пшеницы: избр. тр. М., 1977. 351 с.
3. Лукьяненко П.П. О роли удобрений и сортов в повышении урожая. Избр. тр. М.: Колос, 1973. С. 219–221.
4. Войтович Н.В., Сандухадзе Б.И., Чумаченко И.Н., Капранов В.Н. Плодородие, удобрение, сорт и качество продукции зерновых культур в Нечерноземной зоне России М.: ЦИНАО, 2002. 196 с.
5. Сандухадзе Б.И., Журавлева Е.В., Кочетыгов Г.В. Озимая пшеница Нечерноземья в решении продовольственной безопасности Российской Федерации, М.: ООО “НИПКЦ Восход – А”, 2011. 156 с.
6. Фотосинтез и вопросы продуктивности растений: Сб. научн. тр. / Отв. ред. А. А. Ничипорович. М.: АН СССР, 1963. 159 с.
7. Никитишен В.И., Терехова Л.М., Личко В.И. Формирование ассимиляционного аппарата и продуктивность фотосинтеза растений в различных условиях минерального питания // Агрохимия. 2007. № 8. С. 35–43.
8. Мосолов И.В. О влиянии минеральных удобрений на обмен веществ в растениях, урожай и его качество М.: ТСХА, 1965. 519 с.
9. Бабицкий А.Ф. Урожай и урожайные качества семян пшеницы // Аграрн. наука. 2012. № 7. С. 20–22.
10. Лавриенко А.Н., Огородников Л.П. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от предшественников и уровней минерального питания // Земледелие. 2012. № 3. С. 38–39.
11. Петров А.Ф., Мармулев А.Н., Митракова А.Г., Галузий Н.В. Влияние азотных удобрений на урожайность и качество яровой пшеницы // Инновации и прод. безопасность. 2017. № 4. С. 14–19.
12. Сиротина Е.А. Рациональные дозы минеральных удобрений в повышении урожайности яровой пшеницы // Аграрная наука – сельскому хозяйству: Сб. мат-лов Международ. научн.-практ. конф. Барнаул: Изд-во АлтайГАУ. 2018. С. 410–412.
13. Павленкова Т.В. Изменение количества нитратного, аммиачного азота, биологической активности при использовании удобрений // Аграрн. вестн. Урала. 2008. № 1. С. 27–28.
14. Сычев В.Г., Шафран С.А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2012. 200 с.
15. Кореньков Д.А. Продуктивное использование минеральных удобрений. М.: Россельхозиздат, 1985. 221 с.
16. Шафран С.А., Духанина Т.М. Значение комплексного агрохимического окультуривания почв в повышении эффективности применения азотных удобрений под пшеницу // Агрохимия. 2017. № 11. С. 21–30.
17. Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю., Никонорова Н.И. Продуктивность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при систематическом удобрении в условиях длительного

- стационарного опыта в Поволжье // Пробл. агрохим. и экол. 2014. № 4. С. 3–8.
18. *Berecz K., Debreceni K., Presing M.* Studies on nitrogen cycle in field and model experiments with winter wheat // *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1998. V. 29. № 1114. P. 85–93.
 19. *Mudahar M.S., Hignett T.P.* Hignett energy efficiency in nitrogen fertilizer production // *Energy Agric.* 1980. № 4. P. 159–177.
 20. *Неттевич Э.Д.* Итоги селекции основных зерновых культур к началу третьего тысячелетия (аналитический обзор). М.: РИЦ МГИУ, 2002. 45 с.
 21. *Журавлева Е.В.* Научное обоснование повышения продуктивности и качества зерна интенсивных сортов озимой пшеницы в земледелии Центрального Нечерноземья: Автореф. ... д-ра биол. наук. М., 2011. 41 с.
 22. *Сычев В.Г., Шафран С.А., Духанина Т.М.* Научные основы и методика определения доз питательных веществ и прогнозирования экономической эффективности минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2020. 152 с.
 23. *Шафран С.А.* Методика определения агрономической и экологической эффективности примененных минеральных удобрений в условиях производства. М.: ВНИИА, 2023. 154 с.
 24. *Шафран С.А., Хачидзе А.С., Мамедов М.Г., Васильев А.Н.* Эффективность азотного удобрения зерновых культур различных сортов // *Агрохимия.* 2006. № 7. С. 13–19.
 25. *Сандухадзе Б.И.* Факторы урожайности озимой пшеницы в условиях Нечерноземья // *Плодородие.* 2021. № 3. С. 66–70.
 26. *Пасько С.В.* Отзывчивость сортов озимой пшеницы на уровень минерального питания: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. п. Рассвет, 2007. 23 с.
 27. *Осипов А.А.* Влияние элементов технологий возделывания на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на юго-западе Центрального региона России: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Брянск, 2018. 24 с.
 28. *Вильдфлуш И.Р., Козышко Е.И.* Сортовая отзывчивость яровой пшеницы на условия минерального питания на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // *Почвовед. и агрохим.* 2012. № 1(48). С. 82–89.
 29. *Васильев А.И.* Эффективность азотной подкормки сортов озимой пшеницы на черноземе выщелоченном в лесостепной зоне Поволжья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2006. 24 с.
 30. *Иванова О.М.* Оптимизация азотного питания различных сортов озимой пшеницы в ЦЧЗ: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2013. 26 с.
 31. *Ваулина Г.И.* Эффективность минеральных удобрений и других средств химизации при возделывании разных сортов зерновых культур на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в условиях Центрального района Нечерноземной зоны: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 2007. 46 с.
 32. *Нормативы выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами.* М.: ЦИНАО, 1991. 65 с.

Role of Soil Fertility and Varieties in Increasing the Yield of Grain Crops

S. A. Shafran^{a, #}, E. S. Kozeicheva^a

^aAll-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov,
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia

[#]E-mail: shafran38@mail.ru

A review of publications devoted to the study of the effect of mineral fertilizers on the yield of various varieties of grain crops on various soils is presented. At the same time, special attention is paid to the assessment of the equity participation of various factors in the formation of their productivity. It was found that the greatest contribution to the formation of yield falls on soil fertility, which on sod-podzolic highly cultivated soils amounted to 68–90%, depending on nitrogen doses and varieties, and the share of nitrogen fertilizers varied from 10 to 32%. The coefficient of variation between varieties in terms of yield was in the range of 16–20%. The increase in winter wheat yield from nitrogen application in comparison with the standard Zarya variety ranged from 64 to 146%. In the experiment of VNIPTIHIM, where 33 varieties of winter wheat and 17 varieties of spring barley were tested, the share of the soil fertility factor in the formation of the winter wheat harvest was 81–82, spring barley – 83–89%, the contribution of the variety, respectively, was 6, 13 and 6%.

On ordinary chernozem, its participation in the formation of winter wheat yields slightly exceeded the indicators of sod-podzolic soils, as well as the contribution of fertilizers, despite the introduction of higher doses of mineral fertilizers. The variation in yield depending on the variety was 5–6%. In the experiment on leached chernozem, which was characterized by average agrochemical cultivation, the most productive variety of winter wheat showed a yield 2 times less than that of the previously considered varieties.

Keywords: soil fertility, variety, yield, contribution of factors.

УДК 631.559:633.1

АНАЛИЗ ПРИЕМОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ДЛЯ СНИЖЕНИЯ МЕЖГОДОВОЙ ВАРИАЦИИ ИХ УРОЖАЙНОСТИ

© 2024 г. А. А. Конищев^{1,*}, И. И. Гарифуллин¹, Е. Н. Конищева²¹Ивановский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Верхневолжского ФАНЦ 153506 с. Богородское, Ивановская обл., Ивановский р-н, ул. Центральная, 2, Россия²Верхневолжский агробиотехнологический университет 153012 Иваново, ул. Советская, 45, Россия

*E-mail: aleksei.konishev2010@yandex.ru

Научные наблюдения за ростом и продуктивностью зерновых культур проводят в мире уже более 100 лет. Установлено, что продуктивность растений в первую очередь зависит от количества питательных веществ в почве, эффективность использования которых зависит от применяемых сортов, агротехники их возделывания и погодных условий. Постоянно увеличивающаяся потребность в продуктах питания привела к форсированному применению питательных элементов и созданию более требовательных к условиям развития сортов растений. Одновременно индустриальное развитие планеты привело к изменениям климата, снижающим своим воздействием на урожайность многие предшествующие достижения сельскохозяйственной науки и практики. Влияние элементов питания на урожайность с 50–60% в годовом масштабе снижается до 20–30% при многолетнем рассмотрении. Зависимость урожайности современных сортов от погодных условий составляет 30–80%. Снизить ее зависимость от погодных условий путем повышения плодородия почвы можно, понимая при этом под плодородием не столько насыщение почвы питательными элементами, сколько комплекс мероприятий, в том числе и агрофизических, направленных на управляемое воздействие на почву с целью создания оптимального водно-воздушного режима, т.к. одним из основных направлений влияния погоды на продуктивность растений является изменение влагообеспеченности растений. В отдельности каждый из традиционных факторов повышения урожайности для снижения зависимости от погодных условий оказывается малоэффективным.

Ключевые слова: плодородие почвы, минеральные и органические удобрения, сорта растений, урожайность, зависимость урожайности от погодных условий.

DOI: 10.31857/S0002188124020118

ВВЕДЕНИЕ

Опыт развития земледелия в мире показывает, что в начале XX века Европа пошла по пути расширенного применения минеральных удобрений, а в США основное внимание уделили развитию механизации. В результате в Германии и Голландии в 1920-х гг. вносили минеральных удобрений на 1 га в 6 раз больше, чем в США, где уровень обеспеченности тракторами был в 10 раз выше, чем в Германии и Голландии. При этом урожайность в США составляла 8–10 ц/га, в Германии и Голландии – в 2.5–3.0 раза больше [1].

В ответ на обращение американских агрономов к немецким коллегам с вопросом, чем они объясняют регулярный рост урожаев в Германии в период 1885–1913 гг., последовал ответ, что 50% роста

урожаев должно быть отнесено на применение минеральных удобрений, 30% – на улучшение качества посевного материала и 20% – на счет улучшения обработки почвы [1].

Это соотношение практически предопределило внимание сельскохозяйственной науки к отраслям, определяющим урожайность зерновых культур, почти до конца XX века. Более того, по мере того как происходило углубление знаний в указанных направлениях, все большее предпочтение отдавали агрохимическим факторам увеличения урожайности, в первую очередь за счет снижения влияния обработки почвы. К 1980-м гг. в научных публикациях в числе действующих на урожайность факторов появился фактор влияния погодных условий.

В начале XI в. под влиянием глобального изменения климата на планете влияние погоды

Таблица 1. Долевое участие звеньев адаптивно-ландшафтной системы земледелия в формировании урожая зерновых культур, % [2]

Культуры	Действующие факторы					
	исходный уровень плодородия	удобрения	гербициды (защита растений)	обработка почвы	взаимодействие факторов	метеоусловия
Яровые зерновые	21.7	27.4	19.9	11.7	3.9	15.4
Озимые зерновые	23.8	11.6	17.3	15.3	4.0	28.0

на урожайность прочно закрепилось в рейтинге основных действующих факторов (табл. 1).

Показано, что суммарное влияние агрохимических факторов на урожайность культур составляет 52.7–68.0, обработки – 11.7–15.3, метеоусловий – 15.4–28, остаточных факторов (в которые входит, очевидно, и влияние сорта) – 12.7–15.4%. То есть, преимущество по влиянию на урожайность остается за агрохимическими факторами. Автоматически эти предпочтения стали распространять и на возможность компенсации неблагоприятных погодных проявлений влияния на урожайность зерновых культур.

Предлагали преодолевать возникающие риски, вызванные воздействием погодных условий на урожайность, путем повышения окультуренности почвы, выведения и районирования адаптивных сортов растений и максимальным применением средств интенсификации производства [1, 3]. Примерно такого же характера разработки и рекомендации известны и в зарубежных публикациях [4–6].

Цель работы – анализ возможности снижения межгодовых изменений урожайности зерновых культур, вызванных неблагоприятными метеорологическими явлениями, за счет использования методов и приемов, влияющих на урожайность возделываемых культур.

ОКУЛЬТУРИВАНИЕ ПОЧВЫ

Согласно определению Большой Российской энциклопедии [7], окультуривание почвы – это система научно обоснованных мероприятий, направленных на повышение плодородия почвы с целью создания условий для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. В свою очередь плодородие – это способность почвы одновременно обеспечивать растения водой, пищей и воздухом, а также создавать для них наиболее благоприятные (оптимальные) физические, физико-химические, химические и биологические условия роста и развития [8].

В годы СССР на территории Белоруссии проводили широкомасштабный эксперимент, целью

которого было выравнивание равновесной и оптимальной плотностей почвы (за счет внесения повышенных доз органических удобрений) с целью стабилизации и повышения получаемых урожаев [9]. Результаты эксперимента показали, что внесение органических удобрений в дозе 380 т/га за 9 ротаций 5-польного севооборота привело к увеличению полевой влагоемкости дерново-подзолистой супесчаной почвы на 5–6%. Внесение навоза 112–224 т/га в легкосуглинистую почву за одну ротацию 9-польного севооборота обеспечило увеличение полевой влагоемкости на 1.8–2.7%. Эффекта от внесения навоза 50 т/га за ротацию 5-польного севооборота в другой области республики на легкосуглинистой почве не было. Полученные данные свидетельствовали о том, что, во-первых, внесением органических удобрений в дозах 8–25 т/га невозможно ликвидировать разницу между равновесной и оптимальной плотностью дерново-подзолистых почв. Во-вторых, такие дозы органических удобрений не в состоянии обеспечить существенного улучшения водного режима этих почв за счет увеличения их влагоемкости (запасы влаги в пахотном слое увеличивались на 5–13 мм). Такого количества влаги хватало лишь на 2–3 засушливых дня [9].

В итоге авторы исследования пришли к выводу [9], что единственным способом регулирования плотности сложения дерново-подзолистых суглинистых почв в производственном масштабе является их механическое рыхление. То есть, путем внесения повышенных доз органических удобрений преобразовать дерново-подзолистые почвы в некое подобие черноземов невозможно. Но в то же время путем систематического внесения органических и минеральных удобрений, совершенствования севооборотов и агротехники возделывания культур можно значительно снизить коэффициент вариации урожайности по годам.

Этот вывод подтвердили результаты учета урожайности яровой и озимой пшеницы в Беларуси в последнее десятилетие 2010–2021 гг. В среднем для озимой пшеницы при урожайности 30.5 ц/га коэффициент вариации был равен 16.5%, для яровой пшеницы – 28.4 ц/га при

коэффициенте вариации 17.1% при дозах внесения органических удобрений под зерновые культуры 4.3–5.8 т/га [10, 11].

В России после перехода на рыночную экономику произошло резкое снижение объемов внесения минеральных и органических удобрений, в результате которого вынос питательных элементов урожаем превышал их внесение в 3–4 раза [8]. Таким образом, в условиях производства отечественное сельское хозяйство вынуждено перешло на экстенсивную систему ведения производства.

В условиях научных экспериментов, особенно на дерново-подзолистых и каштановых почвах, за 30–50 лет воздействия на эти почвы также не удалось создать систему воспроизводства плодородия почвы в соответствии с современными требованиями аграрной науки и практики [12]. В частности, в Нечерноземной зоне урожайность пшеницы на дерново-подзолистой почве в значительной степени определяется распределением осадков в течение вегетационного периода. Например, урожайность озимой пшеницы 5–6 т/га можно получить на высокоокультуренной почве при ее следующих агрохимических показателях: содержание гумуса – 2.1–2.8%, P_2O_5 – 180–260 и K_2O – 200–270 мг/кг и при внесении минеральных удобрений в дозе (NPK)180, а также органических удобрений в дозе 30 т/га. И в то же время на почвах с содержанием гумуса в 1.4–1.5% урожайность яровой пшеницы при дозе внесения азотных удобрений от N0 до N120, может меняться от 0.5 до 5.5–6.0 т/га. То есть, определяющим при существующем уровне окультуренности почвы является не ее гумусированность, а обеспеченность растений влагой [13].

Кроме того, в ряде современных исследований, особенно в тех, где учитывают неоднородность сложения участков полей, выводы звучат еще более резко. Например, в исследованиях урожайности многолетних трав, проводившихся в Республике Коми в течение 10 лет, доминирующую роль занимали физические свойства почвы по сравнению с агрохимическими показателями, что указывало на то, что именно агрофизическое состояние почв (характеризуемое в первую очередь величинами плотности твердой фазы, плотности сложения и влажности почвы) оказывало определяющее влияние на величину урожая многолетних трав [14].

В работе [15] показано, что “...неоднородность почвенных свойств оказывает существенное и неравнозначное влияние на урожайность сои (Краснодарский край). Из всей совокупности исследованных почвенных и агрохимических свойств главными факторами, являются условия увлажнения корнеобитаемой толщи и наличие внутрипочвенных уплотненных слитых горизонтов. Агрохимические

свойства почв на фоне лимитирующего влияния указанных условий не являются определяющими”.

Более того, анализ влияния внесения органических удобрений на урожайность зерновых культур в Краснодарском крае в период 2000–2013 гг. показал отрицательный коэффициент корреляции (–0.448) между дозой внесения органических удобрений и величиной урожайности. В целом урожайность зерновых в крае, прежде всего, определяется погодными условиями [16].

Поэтому окультуривание почвы, как комплекс мероприятий, обеспечивающий растения оптимальными условиями роста и развития, несомненно полезно для поддержания уровня плодородия почвы, но возможность решить задачу стабилизации урожайности по годам без снижения влияния погодных условий на урожайность вызывает сомнения.

ВОЗМОЖНОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИИ УРОЖАЙНОСТИ ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Урожайность в каждый отдельно взятый год чаще всего полностью определяется обеспеченностью растений элементами питания, но с весьма существенной оговоркой, что год не является экстремальным по погодным условиям. В годы с недостаточным увлажнением удобрения “не срабатывают” из-за недостатка осадков, а в годы с избытком осадков растения угнетаются из-за недостатка пористости аэрации. В среднем в исследованиях [17–19] показано, что применение только удобрений или гербицидов для интенсификации технологий приводило к росту урожайности, но не уменьшало, а в ряде случаев и увеличивало коэффициент вариации урожайности по годам. Комплексное применение средств интенсификации достоверно снижало вариацию урожайности по годам только ячменя (последней культуры в использованном севообороте). Для пшеницы урожайность практически не изменялась, а при ее посеве после пара даже увеличивалась (табл. 2).

Аналогична ситуация отмечена и на Урале [20]. Увеличение увлажнения вегетационного периода приводило к повышению урожайности яровой пшеницы до 64%, а изменение фона питания повышало урожайность только на 25–26%. Близкое по величине влияние погодных условий на урожайность ячменя отмечено и в Курском ФАНЦе [21]. Влияние погодных условий на урожайность составило 52.0, минеральных удобрений – 22.8% (табл. 3).

При использовании технологии точного земледелия (Северо-Западный ФО) в пределах одного

Таблица 2. Урожайность и коэффициент вариации урожайности яровых зерновых в зависимости от примененных средств химизации в лесостепи Западной Сибири (1986–2012 гг.) [17–19]

Средства химизации	Культура и предшественник			
	пшеница после пара	пшеница после пшеницы	пшеница после кукурузы	ячмень после пшеницы
Без средств химизации	22.7/2.29*	27.8/1.48	27.8/1.82	45.9/1.70
Гербициды	26.8/2.60	26.8/1.98	26.8/2.14	28.2/2.38
Удобрения	29.4/2.53	27.0/1.94	27.0/2.20	41.0/2.17
Гербициды + удобрения	28.7/2.88	23.2/2.48	23.2/2.51	24.4/2.76
Гербициды + удобрения + фунгициды	26.8/3.43	25.0/3.13	25.0/2.91	21.9/2.93
Гербициды + удобрения + фунгициды + ретарданты	27.8/3.75	25.6/3.05	25.6/2.99	23.6/3.02

Примечание. Над чертой – коэффициент вариации, %, под чертой – урожайность, т/га.

Таблица 3. Урожайность яровой пшеницы в севооборотах в различные по увлажнению годы на Урале (2002–2011 гг.) [20]

Фон питания	Увлажнение вегетационного периода			Пределы вариации урожайности, т/га
	засушливый	умеренный	влажный	
Без удобрений	<u>1.61</u> * 100	<u>2.56</u> * 159	<u>2.64</u> * 164	0.98–3.33
Минеральный	<u>2.79</u> 100	<u>3.51</u> 126	<u>3.25</u> 116	1.43–4.64
Органо-минеральный	<u>2.94</u> 100	<u>3.69</u> 125	<u>3.38</u> 115	1.24–5.05

Примечание. Над чертой – урожайность, т/га, под чертой – % от засушливого года.

Таблица 4. Вклад факторов в формирование урожайности зерна яровой пшеницы, % [23]

Доля фактора / Технология*	К	Х	ВИ	ТЗ	Среднее
Погодные условия (А)	92.9	93.5	92.9	55.5	83.7
Почвенная разность (Б)	5.7	5.9	0.33	25.0	9.2
Взаимодействие (АБ)	1.0	0.2	6.5	19.1	6.7

К – экстенсивная технология (удобрения не вносили), Х – нормальная технология ((НПК)50 + гербицид Линтур), ВИ – интенсивная технология (N110 P70 K50 + гербицид Линтур + фунгицид Фалькон (2-кратная обработка) + инсектицид Карате-Зенон), ТЗ – точное земледелие (то же, что и ВИ, только азотные и калийные удобрения вносили по результатам диагностики их содержания на различных участках поля).

вегетационного года влияние удобрений и средств защиты растений составляло для ярового ячменя и озимой ржи 73.1 и 89.4%. Если же рассматривать влияние факторов за несколько лет вегетации, то доминирующим фактором были гидротермические условия года. Влияние гидротермических условий на урожайность зерновых составляло 43–59% при влиянии агрохимических факторов на уровне 24–11% [22]. Непосредственно “вклад” рассматриваемых факторов в изменение урожайности по мере интенсификации применяемых технологий представлен в табл. 4.

Кроме того, “... практика показывает, что максимальную прибавку при внесении азота можно получить только если культуры одновременно

получают фосфор, калий и воду в достаточных количествах” [24], т.е. одним из основных лимитирующих урожайность факторов в регионах с естественным увлажнением, является неуправляемый фактор выпадения осадков.

Таким образом, снижение эффективности средств интенсификации в условиях недостатка или избытка влаги (именно в те моменты, когда их влияние наиболее актуально) и в условиях неоднородности сложения полей ставит под сомнение возможность применения средств интенсификации для нивелирования влияния неблагоприятных погодных проявлений на урожайность возделываемых культур.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ

Что касается перехода на устойчивые сорта растений, то на протяжении многих лет в селекции используют следующий принцип: внешняя среда на любом этапе селекционной работы должна соответствовать почвенно-климатическим условиям региона, где предполагается возделывание сорта, что позволяет реализовать экологическую направленность селекции [25]. Если регион относится к зоне достаточного увлажнения (например, Нечерноземная зона), то и разработку сортов проводят для условий достаточного увлажнения в любой период их развития. При этом в современных условиях (за последние 10 лет) изменения гидротермического коэффициента Селянинова в регионе составило за вегетацию от 0.57 до 4.05. Из них 3 года почва в период налива зерна высыхала до влажности устойчивого завядания, а 2 года была переувлажненной, 3 года периода конца кушения—начала выхода в трубку были засушливыми и 3 года — переувлажненными. Майскую засуху фиксировали дважды, переувлажнение — также дважды. Поэтому изначальный принцип достаточного увлажнения (регион по статистике относится к региону с ГТК = 1.4) оказался систематически нарушенным. Таким образом, устойчивый сорт должен развиваться и быть высокоурожайным при любом режиме увлажнения.

Возможно из-за этого, создавая новые сорта, селекционеры решению проблемы межгодовой вариации урожайности пока уделяют недостаточное внимание, аргументируя данную позицию невозможностью предсказания и контроля возникновения, сроков, тяжести и продолжительности условий водного стресса [26, 27]. При этом приоритет в преодолении негативного влияния погодных условий на урожайность при создании сортов отдается выведению засухоустойчивых сортов в период налива и созревания зерна, но при этом более чувствительных и сильнее страдающих от дефицита или избытка почвенной влаги в другие периоды вегетации [28]. В результате сорта интенсивного типа, демонстрируя убедительные результаты достигнутых уровней урожайности в благоприятных условиях, в условиях адиабатических стрессов оказываются менее эффективными по сравнению с сортами экстенсивного типа [29–33]. И такой результат по мнению автора рабтры [34] вполне закономерен, т.к. селекция по потенциалу урожайности не определяет устойчивость к изменению климата и стабильность урожайности культуры.

Есть еще один фактор, который выступает антагонистом к внесению повышенных доз минеральных удобрений, особенно азотных. Это установленный в 1930-х гг. факт отрицательной корреляции

между урожайностью и белковостью зерна пшеницы [34, 35], который активно изучают до настоящего времени [36–38].

Основные зерновые культуры содержат 8–18% белка в зависимости от генотипа сорта. Изменения белковости зерна в ответ на изменения температуры, солнечной радиации, влагообеспеченности связаны главным образом с количеством углеродных компонентов (крахмала, жира) в расчете на одну зерновку (которые накапливаются систематически и достаточно быстро, особенно при высоком обеспечении элементами питания), в то время как количество белка в зерновке остается относительно постоянным [39].

В результате на низком азотном фоне урожайность зерна увеличивается линейно с повышением количества доступного азота, что поддерживает постоянство содержания белка в зерне. При средней доступности азота для растения начинает проявляться отрицательная нелинейная корреляция между белковостью и урожайностью. Подобный характер зависимости объясняется эффектом разбавления примерно постоянного количества азота в зерновках в увеличивающемся количестве углеродных компонентов. В целом факторы среды влияют на урожайность и белковость зерна синхронно, и между ними наблюдается сильная отрицательная корреляция [40, 41].

В целом проблему межгодовой устойчивости урожайности зерновых культур в работе [27] называли “надгенетической” и предложили ее решать за счет реформирования среды обитания растений, понимая при этом под средой обитания не столько воздействие погодных условий, сколько антропогенные мероприятия, связанные с технологией возделывания культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ показал, что возможность применения агрохимических и селекционных подходов в качестве приемов для снижения зависимости продуктивности зерновых культур от погодных условий вызывает достаточно обоснованную долю скептицизма.

Комплексом приемов повышения и поддержания плодородия почвы можно снизить межгодовую вариацию урожайности зерновых. Но для достижения уровня плодородия, обеспечивающего снижение зависимости урожая от погоды, требуется многолетняя систематическая и кропотливая работа с почвой, сортами и агротехникой возделываемых культур, т.е. возможность оперативно использовать фактор плодородия для снижения зависимости от текущих погодных условий вызывает сомнения.

При этом агрофизическая составляющая технологических процессов выращивания зерновых культур остается явно недооцененной. Особенно если учесть, что по данным страховых агентств, в России повторяемость масштабных неблагоприятных погодных проявлений, выражающихся прежде всего в недостатке или избытке влаги в почве, приводящих к страховым выплатам, составляет: весенних – 42, летних – 33, осенних – 25% (без учета локальных неблагоприятных проявлений) [43].

Оперативно управлять влагообеспеченностью посевов (из агротехнических приемов) можно только с помощью обработки почвы, но ее в последние десятилетия рассматривают чаще всего как экономический фактор [44], хотя и существуют работы, описывающие взаимосвязь агрофизических параметров обрабатываемой почвы с продуктивностью возделываемых культур, биологическими, агрохимическими и селекционными составляющими технологий [45–47].

Поэтому в качестве оперативного решения вопроса снижения зависимости продуктивности зерновых культур от погодных условий вегетационных периодов наиболее перспективно использование объемно-гетерогенного строения пахотного слоя почвы [47, 48].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России / Под ред. А. Л. Иванова, В. И. Киришина. М.: РАСХН, 2009, 518 с.
2. Матюк Н.С., Полин В.Д. Ресурсосберегающие технологии обработки гетерогенного слоя почвы в адаптивном земледелии. М.: Изд-во РГАУ–МСХА им. К. А. Тимирязева, 2013. 222 с.
3. Романенков В.А., Павлова В.Н., Беличенко М.В. Агротехнологические возможности управления климатическими рисками при возделывании зерновых культур // *Агрохимия*. 2022. № 12. С. 19–30. <https://doi.org/10.31857/S0002188122120110>
4. Bucur D., Jitareanu G., Ailincai C. Effects of long-term soil and crop management on the yield and on the fertility of eroded soil. *Journal of food // Agricult. Environ.* 2011. № 9(2). P. 207–209.
5. Lobell D.B., Field C.B. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming // *Environ. Res. Lett.* 2007. V. 2. № 1. P. 1–7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/1/014002>
6. Mandal S., Breach P., Simonovic S. Uncertainty in precipitation projection under changing climate conditions: A Regional case study // *Amer. J. Climate Change*. 2016. V. 5. P. 116–132. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2016.51012>
7. Першина О.Ф. Окультуривание почвы // *Больш. Рос. энциклопедия*. Т. 24. М., 2014. С. 67.
8. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 328 с.
9. Афанасьев Н.И. Основные проблемы физики дерново-подзолистых почв БССР и пути их решения // *Почвоведение*. 1990. № 5. С. 128–138.
10. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Стат. сб. Минск: Нац. стат. комитет Республики Беларусь, 2017. 233 с.
11. Сельское хозяйство Республики Беларусь. Стат. буклет. Минск: Нац. стат. комитет Республики Беларусь, 2022. 36 с.
12. Сычев В.Г., Шевцова Л.К., Мёрзлая Г.Е. Исследования динамики и баланса гумуса при длительном применении систем удобрения на основных типах почв // *Агрохимия*. 2018. № 2. С. 3–21.
13. Милащенко Н.З., Завалин А.А., Сычев В.Г., Самойлов Л.Н., Трушкин С.В. Факторы повышения эффективности удобрений в интенсивных технологиях возделывания пшеницы в России // *Агрохимия*. 2015. № 11. С. 13–18.
14. Басевич В.Ф., Тетенькин В.Л. Неоднородность подзолистых почв и пестрополье // *Вестн. МГУ. Сер.17. Почвоведение*. 2010. № 2. С. 35–42.
15. Кутузова Н.Д. Неоднородность свойств Предкавказских черноземов как фактор урожайности сои: Дис. ... канд. биол. наук. М., 2010. 292 с.
16. Шмакова А.В., Косников С.Н. Анализ урожайности зерновых культур и факторов, влияющих на ее уровень (на примере сельскохозяйственных организаций Краснодарского края) // *Научн. журн. КубГАУ*. 2015. № 112(08). <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/113.pdf>
17. Юшкевич Л.В., Корчагина И.А., Ломановский А.В. Совершенствование технологии возделывания яровой пшеницы в лесостепи Западной Сибири // *Земледелие*. 2014. № 6. С. 30–32.
18. Юшкевич Л.В., Щитов А.Г., Егорова Н.И., Штро Е.В. Совершенствование технологии возделывания ячменя в Лесостепи Западной Сибири // *Земледелие*. 2013. № 2. С. 26–28.
19. Юшкевич Л.В., Щитов А.Г., Хамова О.Ф., Кононов С.В. Оптимизация обработки почвы и применения средств химизации при возделывании второй пшеницы после пара в Южной Лесостепи Западной Сибири // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2013. № 9. С. 20–22.
20. Постников П.А., Попова В.В. Урожайность яровой пшеницы в севооборотах // *Достиж. науки и техн. АПК*. 2013. № 2. С. 19–21.
21. Лазарев В.И., Минченко Ж.Н. Влияние элементов технологий возделывания на влагообеспеченность ярового ячменя в условиях Курской области // *Земледелие*. 2023. № 2. С. 32–36. <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-2-32-36>

22. Фесенко М.А. Вклад случайных и контролируемых факторов в формировании урожайности зерновых культур полевого севооборота // *Агрофизика*. 2017. № 2. С. 40–46.
23. Лекомцев П.В. Научно-методическое обеспечение управления продукционным процессом яровой пшеницы в системе точного земледелия: Дис. д-ра биол. наук. СПб.: АФИ, 2015. 365 с.
24. Лана В.В., Матыченков Д.В., Азаренок Т.Н., Матыченкова О.В., Дыдышко С.В. База данных лимитирующих урожай факторов сельскохозяйственных культур для почвенных информационных систем // Сб. докл. V Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рожд. Акад. РАСХН А. П. Щербакова. 28–30 сентября 2021 г. Курск, 2021. С. 161–165.
25. Кильчевский А.В. Экологическая организация селекционного процесса // *Генетические основы селекции*. Уфа, 2008. С. 70–86.
26. Dolferus R.J.X., Richards R.A. Abiotic stress and control of grain number in cereals // *Plant Sci*. 2011. V. 181. P. 331–341.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.05.015>
27. Yue B., Xue W.J., Xiong L.Z., Yu X.Q., Luo L.J., Cui K.H., Jin D.M., Xing Y.Z., Zhang Q.F. Genetic basis of drought resistance at reproductive stage in rice: separation of drought tolerance from drought avoidance // *Genetics*. 2006. V. 172. P. 1215–1228.
28. Самофалова Н.Е., Иличкина Н.П., Безуглая Т.С. Основные направления и задачи селекции пшеницы твердой озимой в условиях изменения климата // *Зерн/хоз-во России*. 2021. № 6(78). С. 53–61.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-78-6-53-61>
29. Николаев П.Н., Поползухин П.В., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Оценка адаптивных свойств ярового ячменя по урожайности в условиях Омского Прииртышья // *Тр/ по прикл. бот., генет. и селекции*. Т. 179. Вып. 2. С. 96–105.
<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2018-2-96-105>
30. Николаев П.Н., Аниськов Н.И., Юсова О.А., Сафонова И.В. Адаптивность урожайности ярового овса в условиях Омского Прииртышья // *Тр. по прикл. бот., генет. и селекции*. Т. 179. Вып. 4. С. 28–38.
<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-2-28-38>
31. Морозов Н.А., Самсонов И.В., Панкратова Н.А. Оценка адаптивности ярового ячменя по признаку “масса 1000 зерен” к засушливым условиям Ставропольского края // *Зерн. хоз-во России*. 2022. Т. 14. № 4. С. 16–21.
<https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-2131>
32. Гладышева О.В., Барковская Т.А. Оценка селекционного материала пшеницы яровой на продуктивность при различных стрессовых условиях внешней среды // *Аграрн. наука*. 2017. № .11–12. С. 18–19.
33. Pennacchi J.P., Carmo-Silva E., Andralojc P.J. Stability of wheat grain yields over three field seasons in the UK // *Food Energy Secur.* 2019. V. 8. e00147.
<https://doi.org/10.1011/2019-02-00147>
34. Кошкин Е.И. Возможно ли сочетание высокой урожайности и качества урожая полевых культур? // *Агрохимия*. 2018. № 6. С. 89–98.
35. Cober E.R., Vollmann J., Rajcan I. Soybean. Oil crops. Ser.: Handbook of plant breeding. N.Y.: Springer, 2009. V. 4. Ch. 3. P. 57–90.
36. Triboui E., Martre P., Triboui-Blondel A. M. Environmentally induced changes of protein composition for developing grains of wheat are related to changes in total protein content // *J. Exp. Bot.* 2003. V. 54. P. 1731–1742.
37. Jamieson P.D., Semenov M.A. Modelling nitrogen uptake and redistribution in wheat // *Field Crops Res.* 2000. V. 68. P. 21–29.
38. Юсова О.А., Николаев П.Н., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов // *Тр. по прикл. бот., генет. и селекции*. 2020. Т. 181(2). С. 42–49.
<https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-42-49>
39. Triboui F., Martre P., Girousse C., Ravel C., Triboui-Blondel A. M. Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat // *Eur. J. Agron.* 2006. V. 25. P. 108–118.
40. Terman G.L. Yields and protein content of wheat grains as affected by cultivar, N and environmental growth factors // *Agron. J.* 1979. V. 71. P. 437–440.
41. Triboui F., Martre P., Girousse C., Ravel C., Triboui-Blondel A. M. Unravelling environmental and genetic relationships between grain yield and nitrogen concentration for wheat // *Eur. J. Agron.* 2006. V. 25. P. 108–118.
42. Драгавцев В.А., Макарова Г.А., Кочетов А.А., Кочерина Н.В., Мирская Г.В., Синявина Н.Г. Некоторые задачи агрофизического обеспечения селекционных технологий для генетического повышения продуктивности и урожая растений // *Агрофизика*. 2011. № 1. С. 14–22.
43. Неблагоприятные для сельского хозяйства метеорологические явления // *Pandia.ru*. 2009–2022. URL: <https://pandia.ru/text/77/153/19375.php?ysclid=l88f3r1j8x523958396> (дата обращения: 29.09.2022)
44. Конищев А.А., Конищева Е.Н., Гарифуллин И.И. Исследование причин, побуждающих к переходу на минимизированные обработки почвы. // *Аграрн. вестн. Урала*. 2019. № 4. С. 4–11.
https://doi.org/10.32417/article_5cf94af50de060.9226956

45. *Медведев В.В., Лындина Т.Е., Лактионова Т.Н.* Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты). Харьков: 13 типография, 2004. 244 с.
46. *Панкова Т.И.* Оценка связи плотности почвы с показателями плодородия чернозема типичного // Сб. докл. V Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рожд. Акад. РАСХН А. П. Щербакова 28–30 сентября 2021 г. Курск, 2021. С. 207–209.
47. *Конищев А.А.* Прошлое и будущее обработки почвы под зерновые культуры // Аграрн. вестн. Урала. 2020. № 3(194). С. 21–27.
<https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-194-3-21-27>
48. *Гарифуллин И.И.* Обоснование и управление плотностью сложения почвы, обеспечивающее стабилизацию урожайности зерновых культур: Дис. ... канд. с.-х. наук. Иваново, 2022. 172 с.

Analysis of Methods of Increasing the Productivity of Grain Crops to Reduce the Interannual Variation of Their Yield

A. Konishchev^{a,#}, I. I. Garifullin^a, E. N. Konishcheva^b

^a*Ivanovo Scientific Research Institute of Agriculture – branch of the Verkhnevolzhsky Federal Agrarian Center, ul. Tsentralnaya 2, Ivanovo region, Ivanovo district, d. Bogorodskoye 153506, Russia*

^b*Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biothechnlogy, ul. Sovetskaya 45, Ivanovo region, Ivanovo 153012, Russia*

[#]*E-mail: aleksei.konishchev2010@yandex.ru*

Scientific observations of the growth and productivity of grain crops have been carried out in the world for more than 100 years. It is established that the productivity of plants primarily depends on the amount of nutrients in the soil, the effectiveness of which depends on the varieties used, the agrotechnics of their cultivation and weather conditions. The ever-increasing need for food has led to the accelerated use of nutrients and the creation of plant varieties that are more demanding to the conditions of development. At the same time, the industrial development of the planet has led to climate changes that reduce many previous achievements of agricultural science and practice by their impact on yields. The effect of nutrition elements on yield from 50–60% on an annual scale is reduced to 20–30% with long-term consideration. The dependence of the yield of modern varieties on weather conditions is 30–80%. It is possible to reduce its dependence on weather conditions by increasing soil fertility, while understanding under fertility not so much the saturation of the soil with nutrients, as a set of measures, including agrophysical ones, aimed at a controlled effect on the soil in order to create an optimal water-air regime, since one of the main directions of the influence of weather on plant productivity there is a change in the moisture supply of plants. Separately, each of the traditional factors of increasing yields to reduce dependence on weather conditions is ineffective.

Keywords: soil fertility, mineral and organic fertilizers, plant varieties, yield, yield dependence on weather conditions.