

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 12, 2021

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

- К вопросу о равноценности питания растений нитратным и аммонийным азотом
В. В. Окорков 3
- Сравнительная оценка влияния традиционной и биологизированной систем земледелия на агрохимические, биологические свойства и биологическое качество органического вещества серой лесной почвы Владимирского ополья
И. В. Русакова 15
- Изменение свойств черноземов сегрегационных в агролесоландшафтах Центрального Черноземья
В. А. Беспалов 23
- Влияние фотохимического воздействия света на подвижность гумусовых веществ и свойства почвы
С. И. Новосёлов 37

Удобрения

- Урожайность и качество овощных культур при использовании минеральной, органической и органо-минеральной систем удобрения
В. А. Борисов, О. Н. Успенская, И. Ю. Васючков 42
- Отзывчивость табака на применение в рассадный период современного витаминизированного удобрения Витанолл
Т. В. Плотникова, Н. В. Сидорова 47
- Влияние перепревшего гусиного помета и минеральных удобрений на продуктивность зернопарового севооборота в условиях лесостепной зоны Зауралья
И. В. Синявский, А. М. Плотников, А. В. Созинов 54

Регуляторы роста растений

- Влияние нового регулятора роста растений на продуктивность озимой пшеницы
Л. В. Дядюченко, В. В. Тараненко, В. С. Муравьев 64

Пестициды

- Деградация мефентрифлуконазола и флуксапироксада в зерновых колосовых культурах
В. В. Человечкова, А. С. Комарова, Т. Д. Черменская 69

Агроэкология

- Влияние способов обработки почвы на ее водно-физические свойства в условиях сухостепной зоны Нижнего Поволжья
Е. В. Семинченко 75
- Комплексная оценка хозяйственно-ценных показателей и адаптационных возможностей перспективных сортов смородины черной в условиях Нижегородской области
Г. А. Бережная, О. В. Мухина, Н. П. Григорьева, М. Г. Скареева 82

Экотоксикология

- Моделирование процесса воздушного переноса фтора в составе аэральных выбросов. Использование растений хлопчатника для индикации промышленного загрязнения
А. В. Литвинович, О. Ю. Павлова, А. В. Лаврищев, В. М. Буре 88
-

Contents

No. 12, 2021

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

- To the Question about the Equivalence of Plant Nutrition Nitrate and Ammonia Nitrogen
V. V. Okorkov 3
- Comparative Evaluation of the Effects of Traditional and Biologized Arable Systems on Agrochemical and Biological Properties and Biological Quality of Organic Matter of Gray Forest Soil in Vladimir Opolye
I. V. Rusakova 15
- Changes in the Main Properties of Segregated Chernozems in Agroforest Landscapes of the Central Chernozem Region
V. A. Bespalov 23
- Effect of Photochemical Exposure Light on the Mobility of Humus Substances and Soil Properties
S. I. Novoselov 37

Fertilizers

- Productivity and Quality of Vegetable Crops when Using Mineral, Organic and Organo-Mineral Fertilizer Systems
V. A. Borisov, O. N. Uspenskay, I. Yu. Vasyuchkov 42
- Response of Tobacco Plant to Utilizing Modern Vitaminized Fertilizer Vitanoll during Seedling Period
T. V. Plotnikova, N. V. Sidorova 47
- Influence of Rotted Goose Droppings and Mineral Fertilizers on the Productivity of Grain-Steam Crop Rotation in the Conditions of the Forest-Steppe Zone of the Trans-Urals
I. V. Sinyavskiy, A. M. Plotnikov, A. V. Sozinov 54

Plant Growth Regulators

- Effect of the New Growth Regulator on Winter Wheat Productivity
L. V. Dyadyuchenko, V. V. Taranenko, V. S. Muravyov 64

Pesticides

- Degradation of Mefentrifluconazole and Fluxapirroxade in Cereals
V. V. Chelovechkova, A. S. Komarova, T. D. Chermenskaya 69

Agroecology

- Influence of Treatment on the Physical and Chemical Properties of the Soil in the Conditions of the Dry-Steppe Zone of the Lower Volga
E. V. Seminchenko 75
- Comprehensive Assessment of Economic and Valuable Assets Indicators and Adaptive Capabilities Promising Varieties of Black Currant in the Conditions of the Nizhny Novgorod Region
G. A. Berezhnaya, O. V. Mukhina, N. P. Grigorieva, M. G. Skaredova 82

Ecotoxicology

- Modeling of the Process of Air Transport of Fluorine in the Composition of Aerial Emissions. The Use of Cotton Plants for the Indication of Industrial Pollution
A. V. Litvinovich, O. Y. Pavlova, A. V. Lavrishchev, V. M. Bure 88
-

К ВОПРОСУ О РАВНОЦЕННОСТИ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ НИТРАТНЫМ И АММОНИЙНЫМ АЗОТОМ

© 2021 г. В. В. Окорков

*Верхневолжский федеральный аграрный научный центр
601261 Владимирская обл., Суздальский р-н, пос. Новый, Россия*

E-mail: okorkovvv@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.01.2021 г.

После доработки 20.08.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Исследования по влиянию удобрений на изменение в почве минеральных форм азота и их доступность растениям выполнены на серых лесных и дерново-подзолистых почвах, различающихся гранулометрическим составом и физико-химическими свойствами. На среднесуглинистых серых лесных почвах Владимирского ополья, обладающих емкостью катионного обмена, равной 25.2–27.0 мг-экв/100 г почвы, выявлена определяющая роль нитратного азота, накапливающегося в ранний период вегетации культур, в их питании и продуктивности. Из-за низкой степени перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу (водную вытяжку 1 : 1) его роль в их питании в несколько раз более низкая, чем $N-NO_3$. В легко- и среднесуглинистых дерново-подзолистых почвах с ЕКО 13.3–18.7 мг-экв/100 г почвы при действии куриного помета выявлена существенная роль $N-NH_4$ в питании растений азотом. При последствии куриного помета степень перехода аммонийного азота в жидкую фазу снижалась. На более легких почвах степень перехода $N-NH_4$ почвы в жидкую фазу возрастала до очень высокой при уменьшении как ЕКО, так и содержания частиц физической глины.

Ключевые слова: серая лесная и дерново-подзолистая почвы, нитратный и аммонийный азот, степень перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу, гранулометрический состав почвы, емкость катионного обмена.

DOI: 10.31857/S0002188121120103

ВВЕДЕНИЕ

На дерново-подзолистых [1–4] и серых лесных почвах Верхневолжья [5–7] выявлена определяющая роль азотных удобрений в повышении урожайности полевых культур различных севооборотов. На серых лесных почвах главенствующее влияние на урожай и его качество оказывали запасы нитратного азота в слое 0–40 см почвы, накопленные в ранних фазах роста и развития возделываемых культур. В какой-то мере это объясняется тем, что при температурах $>10^\circ C$ растения потребляют преимущественно нитратную форму азота [8]. Однако исследованиями Д.Н. Прянишникова [9] выявлена возможность поглощения растениями как нитратного, так и аммонийного азота. Оптимум поглощения $N-NH_4$ наблюдают при $pH \approx 7.0$, $N-NO_3$ — при слабокислой реакции среды. Эти исследования проведены преимущественно в водных культурах. В полевых же условиях отмечают весьма сложные процессы трансформации вносимых удобрений, которые далеки от наблюдаемых в водных культурах.

На серых лесных почвах Верхневолжья в 8- и 7-польных севооборотах установлена тесная зависимость или гиперболическая связь средней ежегодной их продуктивности с величиной средних запасов нитратного азота в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации культур [10]. Такие же взаимосвязи наблюдали между первым параметром и суммой запасов нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе почвы (мобильным фондом азота) в тот же срок. Содержание аммонийного азота в ней оценивали расчетным путем. При этом коэффициент использования запасов $N-NO_3$ был в 3–5 раз более высоким, чем $N-NH_4$. Об этом судили по размерам снижения запасов этих форм азота в середине вегетации культур по сравнению с ее началом [10]. Более высокое использование растениями азота нитратов почвы можно объяснить полным его нахождением в жидкой фазе почвы, аммонийного азота — частичным. Слабое влияние аммонийного азота почвы на урожайность культур зернотравянопро-

пашного севооборота было установлено ранее в работе [11].

В настоящее время в агрохимических исследованиях аммонийный азот почвы определяют после вытеснения его 1 М раствором KCl [12], т.е. сумму ионов NH_4^+ , поглощенных обменным комплексом и находящихся в жидкой фазе. В то же время концентрацию и запасы аммонийного азота в жидкой фазе почвы можно непосредственно определить и с помощью ионоселективного электрода на ионы NH_4^+ .

Цель работы — оценка влияния запасов нитратного и аммонийного азота, формирующихся в ранние сроки вегетации возделываемых культур при применении различных доз азота минеральных и органических удобрений, в процессе питания ими растений в зависимости от физико-химических свойств и гранулометрического состава почв Верхневолжья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполняли на серых лесных и дерново-подзолистых почвах Верхневолжья. Серые лесные почвы Верхневолжья (на примере серых лесных почв Владимирского ополья) в слое 0–40 см характеризовались средне- и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом [10]. Верхние пахотные горизонты опытного стационара имели высокую емкость катионного обмена (25.2–27.0 мг-экв/100 г почвы), варьирующую гидролитическую кислотность (3.2–4.6 мг-экв/100 г), содержание гумуса 2.88–3.51%. Степень насыщенности основаниями менялась от 83.0 до 87.3%. Почвообразующая порода представлена лессовидными карбонатными покровными отложениями тяжелосуглинистого и глинистого гранулометрического состава.

В илистой фракции пахотного слоя содержание смешано-слоистых образований (слюда-сметиты и хлорит-сметиты), которые способны к набуханию и пептизации, изменялась от нескольких до 25–30% [13, 14]. В иллювиальных горизонтах концентрация этих глинистых минералов увеличивалась до 30–64%. В пахотном слое по сравнению с иллювиальными горизонтами в илистой фракции было заметно повышено содержание гидрослюды (47–75 против 28–43%), в меньшей мере — хлоритов и каолинитов (20–30 против 18–24%).

Стационарный опыт, заложенный в 1991–1993 гг. [11], развернут в 3-х полях. В 1-й ротации чередование культур было следующим: 1 — занятой пар (викоовсяная смесь), 2 — озимая рожь,

3 — картофель, 4 — овес с подсевом трав, 5 — травы 1-го года пользования, 6 — травы 2-го года пользования, 7 — озимая рожь, 8 — ячмень. Повторность опыта трехкратная, площадь делянок 100 м² (5 м × 20 м). Площадь учетной делянки при уборке зерновых — 44 м², картофеля — 28 м². Урожайность однолетних и многолетних трав учитывали парцеллярным способом.

В занятом пару 1-й ротации провели известкование по полной гидролитической кислотности. На его фоне изучали влияние различных доз подстильного навоза КРС (0, 40, 60 80 т/га), вносимого под озимую рожь после уборки занятого пара, и минеральных удобрений, их сочетания на агрохимические свойства серых лесных почв. Содержание азота в 1 т навоза КРС, внесенного в 1-й по 4-ю ротациях, составило соответственно 4.5, 4.2, 4.6 и 4.4 кг. Во 2-й по 4-ю ротации исследования вели при последствии известкования.

В 1-й ротации в качестве одинарной дозы удобрений под зерновые, однолетние и многолетние травы вносили Р40К40 и N40P40K40, под картофель — Р60К80 и N60P60K80. Под травы 1-го года пользования во всех ротациях в качестве двойной дозы применяли N40P80K80.

Во 2-й ротации одинарную и двойную дозы NPK под однолетние травы заменили на N60 и N75, фосфорно-калийные удобрения не применяли. Под яровую пшеницу, идущую после трав 2-го года пользования, в качестве одинарных доз использовали Р60К60 и N60P60K60. В 3-й и 4-й ротациях 7-польного севооборота под зерновые культуры и травы 1-го и 2-го года пользования в качестве одинарных доз использовали Р40К40 и N40P40K40.

Исследование по влиянию куриного помета на изменение различных форм азота и физико-химических свойств верхних слоев почвы выполняли на дерново-слабоподзолистой почве Пошехонского р-на Ярославской обл. Верхний гумусовый горизонт почвы (0–28 см) представлен крупно-пылеватым легким суглинком (содержание частиц <0.01 мм равно 22.4, ила — 6.9%), в A2B горизонте (28–43 см) содержание физической глины увеличилось до 33.6, ила — до 19.9%. Содержание гумуса в верхнем слое было равно 1.05%, в A2B-горизонте — 0.54%. Емкость катионного обмена в них соответственно составила 13.3 и 18.7, в более глубоких слоях увеличивалась до 23.9–25.9 мг-экв/100 г почвы [15]. Почвообразующая карбонатная порода представлена среднесуглинистыми крупно-пылеватыми отложениями. В илистой фракции преобладали гидрослюды и слюды.

Таблица 1. Математические зависимости влияния удобрений на среднюю продуктивность культур севооборотов, ц з.е./га (на фоне известкования)

Ротация, годы исследования	Уравнение взаимосвязи, $n = 16$	R^2	ЭМУ навоза по азоту
1-я, 1991–2000 гг.	$Y = 31.0 + 0.313x_1 + 0.114x_2$ $Y = 30.7 + 0.313x_1 + 0.184x_2 - 0.0009x_2^2$	0.947 0.971	0.61 0.42, 0.52, 0.48*
2-я, 1999–2008 гг.	$Y = 33.6 + 0.324x_1 + 0.0895x_2$ $Y = 32.5 + 0.324x_1 + 0.173x_2 + 0.041x_3 - 0.0014x_2^2$ $Y = 33.4 + 0.324x_1 + 0.175x_2 - 0.0011x_2^2$	0.891 0.965 0.939	0.86 0.54, 0.60, 0.68* 0.51, 0.55, 0.60*
3-я, 2007–2015 гг.	$Y = 33.1 + 0.256x_1 + 0.122x_2$ $Y = 31.9 + 0.256x_1 + 0.180x_2 + 0.060x_3 - 0.0014x_2^2$	0.929 0.972	0.46 0.38, 0.45, 0.52*
4-я, 2014–2020 гг.	$Y = 37.2 + 0.360x_1 + 0.107x_2$ $Y = 36.3 + 0.360x_1 + 0.199x_2 + 0.040x_3 - 0.0017x_2^2$	0.920 0.974	0.76 0.52, 0.61, 0.72*
Средние за 1–2-ю ротации при дозах навоза 40, 60 и 80 т/га за ротацию			0.47, 0.55, 0.56*
Средние за 3–4-ю ротации при дозах навоза 40, 60 и 80 т/га за ротацию			0.45, 0.53, 0.62*

*Приведены рассчитанные данные при дозах внесения навоза КРС 40, 60 и 80 т/га за ротацию. x_1 — среднегодовая доза применения навоза КРС, т/га; x_2 — среднегодовая доза внесения азота N_{aa} , кг/га; x_3 — среднегодовая доза применения РК удобрений в расчете на P_2O_5 , кг/га.

На легких дерново-подзолистых почвах Мещеры изучали взаимосвязь между содержаниями аммонийного азота почвы в 1 М КС1 и водной (1 : 1) вытяжках [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обобщение результатов изучения изменения средней ежегодной продуктивности севооборотов [5, 10, 11] в зависимости от систем удобрения показало определяющее влияние азота минеральных удобрений и навоза на этот параметр (табл. 1). На их долю приходилось от 89 до 95% вариации средней продуктивности севооборотов. Учет применения фосфорно-калийных удобрений повышал тесноту связи на 4.3–7.4%.

Так как с ростом доз азота минеральных удобрений их повышающее урожайность культур действие снижается (при постоянстве действия органических удобрений), то эквивалент минеральных удобрений (ЭМУ) навоза по азоту не является постоянной величиной. Он возрастал с 0.38–0.54 до 0.45–0.61 и 0.48–0.72 для доз внесения навоза 40, 60 и 80 т/га за ротацию севооборота. Расчет ЭМУ навоза по азоту, исходя из линейных зависимостей средней продуктивности севооборота от среднегодовых доз применения удобрений, превышал этот параметр. Более высокое влияние на продуктивность и урожайность культур севооборотов азота минеральных удобрений по сравнению с азотом органических может

свидетельствовать о существенном вкладе внесенных органических удобрений в повышение и сохранение содержания гумуса в почве.

С целью выявления роли подвижных форм азота в питании возделываемых культур была изучена динамика содержания и запасов нитратного и аммонийного азота в слое 0–40 см почвы в течение вегетации. Азотные минеральные удобрения в подкормку многолетних трав и озимых культур вносили после схода снега и подсыхания почвы, под яровые зерновые и однолетние травы — после закрытия влаги. В ранневесенний период при быстром нарастании температур воздуха и оптимальной влажности почвы происходила трансформация внесенных азотных минеральных веществ удобрений и почвы — в аммонийную и нитратную формы. Поэтому к периоду отрастания трав и озимых культур, всходов яровых зерновых культур и однолетних трав обычно формировались их максимальные запасы. В последующий период до колошения зерновых культур, бутонизации и цветения бобовых в посевах многолетних трав происходило интенсивное поглощение элементов питания возделываемыми культурами (конец июня–начало июля). Запасы подвижных форм азота в почве резко снижались. Ко времени уборки они чаще всего несколько возрастали.

Показано (табл. 2), что запасы нитратного азота в слое 0–40 см почвы в период всходов или воз-

обновления вегетации культур были наиболее высокие (42.2–160 кг/га). В вариантах без применения азотных минеральных и органических удобрений они были наименьшими (42.2–44.1 кг/га). Несколько повышались они при применении навоза КРС в разных дозах (до 46.5–51.3 кг/га) и его сочетания с фосфорно-калийными удобрениями (до 47.1–56.8 кг/га). Наиболее существенное увеличение этой формы азота происходило при использовании одинарной дозы NPK (до 90 кг/га), ее сочетании с органическими удобрениями (97.5–111 кг/га). При применении двойной дозы NPK эти параметры возросли до 123 и 144–160 кг/га соответственно.

Во 2-й срок наблюдений (колошение, бутонизация и цветение) по сравнению с 1-м отметили снижение запасов N-NO₃ до 18.1–50.6 кг/га (или в 2.1–3.2 раза), обусловленное интенсивным поглощением N-NO₃ вегетирующими растениями. После уборки урожая запасы этой формы азота несколько возросли.

Запасы N-NH₄ в слое 0–40 см в 1-й срок наблюдений варьировали в более узких пределах (от 96 до 136 кг/га). С повышением уровня интенсификации они увеличились всего в 1.4 раза, в то время как запасы N-NO₃ – в 3.8 раза. Во 2-й срок отбора образцов по сравнению с 1-м снижение запасов N-NH₄ составило всего 8.0–33.1 кг/га. Это было обусловлено как поглощением аммонийного азота растениями, так и внутриагрегатным его вхождением в поглощающий комплекс в более засушливый период вегетации культур [7]. После их уборки по сравнению со 2-м сроком запасы N-NH₄ в почве повышались до уровня, который был близок к исходным запасам (1-й срок).

Сравнение данных табл. 1 и 2 показало, что определяющее влияние на продуктивность культур севооборота оказывали запасы нитратного азота в слое 0–40 см почвы, накопленные в ранний период вегетации культур. Их снижение во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м росло с повышением продуктивности севооборота. В этот период размеры снижения запасов N-NH₄ в 1.7 (без удобрений), в 2.0–2.3 (при применении органических удобрений), в 6.9–7.6 (NPK), в 2.2–3.4 (NPK + навоз) раза были более низкие, чем запасов N-NO₃. Поэтому взаимосвязь продуктивности севооборота с запасами нитратного азота в слое 0–40 см в ранний период вегетации культур можно описать разными функциями, различающимися теснотой связи (табл. 3). В 1-й и 2-й, 3-й

ротациях более тесная связь этих параметров ($R^2 > 0.9$) была установлена по квадратичной, степенной и гиперболической зависимостям, в 4-й ротации – квадратичной.

Определяющая роль нитратного азота в питании растений обусловлена полным нахождением его в жидкой фазе почвы. Аммонийный же азот переходит в нее частично. В работе [10] было предложено определять содержание и запасы N-NH₄ расчетным путем, считая одинаковыми коэффициенты использования растениями нитратного и аммонийного азота жидкой фазы. Коэффициент использования запасов нитратного азота находили делением размеров снижения их во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м на их исходные запасы (1-й срок). Запасы N-NH₄ в жидкой фазе почвы рассчитывали делением размеров снижения запасов аммонийного азота во 2-й срок по сравнению с 1-м (табл. 2) на коэффициент использования нитратного азота. Сумму нитратного и аммонийного азота в жидкой фазе называли мобильным фондом (МФ) азота. Уравнения взаимосвязи и их теснота между средней продуктивностью севооборота и МФ азота представлены в табл. 4.

Теснота связи средней продуктивности севооборотов со средними запасами нитратного азота в ранний период вегетации культур (табл. 3), с одной стороны, а также с МФ азота в тот же срок наблюдений, с другой стороны (табл. 4), была близкой. Это позволило использовать для прогнозирования урожайности отдельных культур на серых лесных почвах Верхневолжья только величины запасов нитратного азота [17].

В настоящее время имеется возможность более корректно судить о содержании N-NH₄ в жидкой фазе почвы при прямом определении ионов NH₄⁺ с помощью ионоселективного электрода. Для этой цели использовали пленочный электрод ЭЛИС-121 NH₄.

На образцах конца 2-й ротации 8-польного севооборота (2007 г.) в работе [16] была изучена взаимосвязь между содержаниями аммонийного азота в почве (солевая вытяжка 1 М раствором KCl) и водной вытяжке при соотношении почва : вода = 1 : 1. Анализы выполнены в 2018 г. В слое 0–20 см содержание аммонийного азота в почве в вариантах опыта варьировало от 4.17 до 6.92, в водной вытяжке – от 0.137 до 0.413 мг/100 г почвы, в слое 20–40 см – соответственно от 2.70 до 5.64 и от 0.053 до 0.261 мг/100 г почвы. Для слоев 0–20 и 20–40 см почвы установлена тесная линейная связь между содержаниями аммонийного азота в

Таблица 2. Влияние систем удобрения на средние ежегодные запасы N-NO₃ и N-NH₄ в слое 0–40 см почвы под культурами 7-польного севооборота в различные периоды их вегетации (2007–2015 гг.), кг/га [10]

Вариант	Входы или возобновление вегетации (1-й срок)		Колошение и бутонизация (2-й срок)		После уборки		Снижение запасов во 2-й срок по сравнению с 1-м			
							кг/га		%	
	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	N-NO ₃	N-NH ₄	ΔN-NO ₃	ΔN-NH ₄	ΔN-NO ₃	ΔN-NH ₄
1. Контроль без удобрений и известкования	42.2	98.1	18.1	84.3	25.6	97.9	24.1	13.8	57	14.1
2. Фон известкования	42.4	98.2	19.8	84.8	28.7	102	22.8	13.4	54	13.6
3. Фон + РК	44.1	96.0	18.9	83.2	28.7	98.9	25.1	12.8	57	13.3
4. Фон + NPK	90.0	107	28.7	98.9	37.8	104	61.3	8.0	68	7.5
5. Фон + 2 NPK	123	118	44.8	107	52.3	109	78.2	11.4	64	10.7
6. Фон + Нав40	46.5	104	20.6	92.2	31.2	98.8	26.0	11.3	56	10.9
7. Фон + Нав60	50.6	106	22.3	91.7	34.1	106	28.3	14.2	56	13.4
8. Фон + Нав80	51.3	105	19.9	90.6	33.8	98.5	31.5	14.0	61	13.4
9. Фон + Нав40 + РК	47.1	109	19.4	95.9	27.8	100	27.7	13.1	59	12.0
10. Фон + Нав40 + NPK	97.5	114	33.0	92.1	39.9	104	64.5	20.0	66	17.5
11. Фон + Нав40 + 2NPK	144	123	46.9	92.4	57.0	109	97.1	30.2	67	24.6
12. Фон + Нав60 + РК	51.0	111	20.8	94.2	33.7	108	30.2	16.3	59	14.8
13. Фон + Нав60 + NPK	101	115	35.3	89.8	41.1	111	65.7	25.1	65	21.8
14. Фон + Нав60 + 2NPK	150	136	48.3	106	53.9	118	102	30.5	68	22.4
15. Фон + Нав80 + РК	56.8	102	23.9	82.1	33.7	112	32.9	20.2	58	19.8
16. Фон + Нав80 + NPK	111	116	33.4	93.3	43.7	117	77.6	22.6	70	19.5
17. Фон + Нав80 + 2NPK	160	127	50.6	93.8	57.9	113	109	33.1	68	26.1

Примечание. Нав – навоз, т/га. То же в табл. 5.

Таблица 3. Взаимосвязь средней продуктивности севооборотов (Y , ц з.е./га) с соответствующими запасами нитратного азота в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации культур (x , кг/га)

Вид взаимосвязи	Уравнение взаимосвязи, $n = 17$	R	R^2
1-я и 2-я ротации 8-польного севооборота, 1992–2008 гг.			
Линейная	$Y_{1-2} = 33.3 + 0.0844(x - 44)$	0.926	0.856
Квадратичная	$Y_{1-2} = 32.7 + 0.234(x - 44) - 0.0008(x - 44)^2$	0.953	0.908
Степенная	$Y_{1-2} = 31.0(x - 44)^{0.062}$	0.955	0.912
Гиперболическая	$Y_{1-2} = 47.4 \frac{x}{20.2 + x}$	0.998	0.996
3-я ротация 7-польного севооборота, 2007–2015 гг.			
Линейная	$Y_3 = 33.7 + 0.104(x - 42)$	0.945	0.893
Квадратичная	$Y_3 = 33.0 + 0.253(x - 42) - 0.0007(x - 42)^2$	0.962	0.926
Степенная	$Y_3 = 28.8(x - 40)^{0.088}$	0.987	0.975
Гиперболическая	$Y_3 = 51.3 \frac{x}{24.7 + x}$	0.998	0.996
4-я ротация 7-польного севооборота, 2014–2020 гг.			
Линейная	$Y_4 = 37.7 + 0.091(x - 40)$	0.911	0.831
Квадратичная	$Y_4 = 36.2 + 0.293(x - 40) - 0.001(x - 40)^2$	0.959	0.919
Степенная	$Y_4 = 34.0(x - 40)^{0.061}$	0.908	0.824

Таблица 4. Взаимосвязь средней продуктивности севооборотов (Y , ц з.е./га) с мобильным фондом азота (z , кг/га) в ранний период вегетации культур

Вид взаимосвязи	Уравнение взаимосвязи, $n = 17$	R	R^2
1-я и 2-я ротации 8-польного севооборота, 1992–2008 гг.			
Линейная	$Y_{1-2} = 33.1 + 0.0722(z - 69)$	0.923	0.851
Степенная	$Y_{1-2} = 28.6(z - 69)^{0.075}$	0.942	0.886
Гиперболическая	$Y_{1-2} = 51.0 \frac{z}{42.6 + z}$	0.996	0.993
3-я ротация 7-польного севооборота, 2007–2015 гг.			
Степенная	$Y = 26.7(z - 60)^{0.102}$	0.963	0.928
Гиперболическая	$Y = 53.7 \frac{z}{41.2 + z}$	0.995	0.991

почве (метод индофеноловой зелени) и водной вытяжке:

$$\begin{aligned} Y_{0-20} &= 0.133 + 0.078(x - 4), \\ n &= 17, \quad r^2 = 0.871, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Y_{20-40} &= 0.048 + 0.053(x - 2.5), \\ n &= 17, \quad r^2 = 0.832, \end{aligned} \quad (2)$$

где Y_{0-20} и Y_{20-40} – содержание $N-NH_4$ в водной вытяжке (1 : 1) соответственно в слоях почвы 0–20 и 20–40 см, мг/100 г почвы; x – содержание

$N-NH_4$ в почве в соответствующих ее слоях, мг/100 г почвы.

Степень перехода $N-NH_4$ почвы в жидкую фазу (w , %) варьировала от 3.3 до 6.1% в слое 0–20 см, и от 1.7 до 4.6% в слое 20–40 см.

В почвенных образцах, отобранных в середине вегетации овса (1994–1995 гг.) и ячменя (1998–1999 и 2006–2007 гг.) с полей 1 и 2, в 2019 г. также были проведены исследования взаимосвязи содержания аммонийного азота в почве и водной вытяжке [7]. Было выявлено, что после длительного хранения образцов содержание $N-NH_4$ в их

Таблица 5. Взаимосвязь содержания аммонийного азота в слое 0–20 см в водной (1 : 1) и солевой вытяжках в почве под ячменем на поле № 1 в 2020 г. (4-я ротация, средние 1-го и 2-го сроков наблюдения)

Вариант	Запасы N-NH ₄ в слое 0–40 см почвы, кг/га	Содержание N-NH ₄ в слое 0–20 см почвы		
		Солевая вытяжка	Водная вытяжка (1 : 1)	Доля N-NH ₄ в водной вытяжке, %
1. Контроль	45.6	1.01	0.0072	0.71
2. Известь (фон – Φ)	59.9	1.08	0.0110	1.02
3. Φ + РК	49.7	0.90	0.0085	0.94
4. Φ + NPK	44.9	1.02	0.0144	1.41
5. Φ + 2NPK	51.6	1.03	0.0190	1.84
6. Нав40	47.0	0.86	0.0051	0.59
7. Нав60	53.7	1.14	0.0120	1.05
8. Нав80	55.0	1.25	0.0073	0.58
9. Нав40 + РК	61.7	1.18	0.0068	0.58
10. Нав40 + NPK	56.9	0.95	0.0188	1.98
11. Нав40 + 2 NPK	64.2	1.48	0.0239	1.62
12. Нав60 + РК	47.0	1.00	0.0138	1.38
13. Нав60 + NPK	55.8	1.08	0.0138	1.28
14. Нав60 + 2NPK	61.4	1.11	0.0244	2.20
15. Нав80 + РК	58.9	1.16	0.0204	1.76
16. Нав80 + NPK	57.0	1.10	0.0187	1.70
17. Нав80 + 2NPK	50.0	1.02	0.0241	2.36
Средние	54.1	1.08	0.0147	1.35

солевой вытяжке увеличивалось в 1.5–3.0 раза и более, чем в год отбора и анализа образцов. Различия были больше в острозасушливые годы. Это позволило предположить, что в такие годы может происходить интенсивное внутриагрегатное поглощение ионов аммония обменным комплексом серых лесных почв Владимирского ополья.

Доля перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу в 1-й и 2-й ротациях 8-польного севооборота в середине вегетации возделываемых культур в слое 0–20 см почвы варьировала от 2.5 до 5.8%, в среднем составила 4.4% [7]. В то же время снижение запасов N-NH₄ во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м в слое 0–40 см было более высоким (от 7.5 до 15.6%). Эти различия свидетельствовали о том, что уменьшение запасов N-NH₄ во 2-й срок наблюдений по сравнению с 1-м (табл. 2) происходило не только в результате использования аммонийного азота растениями, но и за счет его внутриагрегатного поглощения обменным комплексом почвы во 2-й срок наблюдений.

По сравнению с 1-й и 2-й ротациями в 3-й ротации резко снизилась степень перехода аммонийного азота в жидкую фазу (с 4.4 до 2.5%) [7], в

4-й ротации – как содержание и запасы N-NH₄ в почве, так и степень его перехода в жидкую фазу (табл. 5). В 4-й ротации по сравнению с 3-й в слое 0–40 см почвы произошло уменьшение запасов аммонийного азота более чем в 2 раза (табл. 2, 5).

Последействие органических удобрений и действие минеральных повышало степень перехода N-NH₄ почвы в жидкую фазу (табл. 6). Для слоев 0–20 и 20–40 см почвы в образцах 2007 и 2020 гг. была установлена тесная линейная связь содержания N-NH₄ в почве ($6.92 > x > 0.77$, мг/100 г почвы) с размерами его перехода в водную вытяжку (W , %):

$$W = 0.28 + 0.743x, \quad n = 68, \quad t_{\text{сущ}} = 26.2, \quad r^2 = 0.912, \quad \text{доверительный интервал} = 0.98. \quad (3)$$

Она подтвердила высокую прочность связи ионов аммония поглощающим комплексом серых лесных почв ополья, характеризующихся средне- и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом с высоким содержанием в илистой фракции гидрослюд и смешано-слоистых глинистых образований (слюда-сметиты и хлорит-сметиты).

Таблица 6. Влияние удобрений на степень перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу в слое 0–20 см почвы (2020 г., ячмень, 1-й и 2-й сроки наблюдений), %

Доза навоза, т/га	0	РК	NPK	2NPK	Средние применения навоза
0	1.02	0.94	1.41	1.84	1.30
40	0.59	0.58	1.98	1.62	1.19
60	1.05	1.38	1.28	2.20	1.48
80	0.58	1.76	1.70	2.36	1.60
Средние применения минеральных удобрений	0.81	1.16	1.59	2.00	

Примечание. В контроле степень перехода $N-NH_4$ почвы в жидкую фазу составила 0.71%.

Таблица 7. Математические зависимости взаимосвязи среднегодовых доз азота внесенных органических (x_1 , кг/га) и минеральных (x_2 , кг/га) удобрений с запасами нитратного азота в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации полевых культур (Y , кг/га)

Ротация севооборотов, годы исследования	Уравнение взаимосвязи, $n = 17$	R^2	Увеличение запасов $N-NO_3$ от 1 кг N навоза, кг
1-я и 2-я, 1992–2008 гг.	$Y = 44.7 + 0.18x_1 + 1.26x_2$	0.996	0.18
	$Y = 45.1 + 1.26x_2 + 0.0045x_1^2$	0.997	0.10, 0.15, 0.20*
3-я, 2007–2015 гг.	$Y = 38.2 + 0.351x_1 + 1.274x_2$	0.987	0.35
	$Y = 41.8 + 0.186x_1 + 0.981x_2 + 0.0023x_3^2 + 0.0063x_1x_2$	0.998	—
4-я, 2014–2020 гг.	$Y = 42.4 + 0.39x_1 + 1.30x_2$	0.994	0.39
	$Y = 42.9 + 0.39x_1 + 1.06x_2 + 0.0034x_2^2$	0.996	0.39
	$Y = 44.7 + 1.072x_2 + 0.0079x_1^2 + 0.0033x_2^2$	0.996	0.20, 0.30, 0.40*

*Приведены рассчитанные данные в зависимости от доз внесения навоза КРС 40, 60 и 80 т/га за ротацию.

Из-за невысокой степени перехода аммонийного азота в жидкую фазу серых лесных почв ополья его роль в питании растений азотом существенно более низкая, чем нитратного. В то же время, как следует из данных табл. 1 и 3, угловые коэффициенты при “ x ” в линейных уравнениях зависимости продуктивности севооборотов от запасов нитратного азота в слое 0–40 см почвы, когда в его накоплении участвовали органические и азотные минеральные удобрения, в среднем в 1.17–1.21 раза более низкие, чем при “ x_2 ” (влияние только азота внесенных минеральных удобрений, табл. 1). Поэтому была проведена оценка влияния среднегодовых доз азота с внесенными органическими и минеральными удобрениями на запасы нитратного азота в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации культур (табл. 7). Показано, что 1 кг азота внесенных органических удобрений в слое 0–40 см почвы в 1-й и 2-й ротациях обеспечивал накопление 0.18 кг нитратного азота, а 1 кг азота минеральных — 1.26 кг. В 3-й и

4-й ротациях севооборота величина накопления нитратного азота от 1 кг азота навоза повысилась с 0.18 до 0.35 и 0.39 кг, 1 кг азота аммиачной селитры — с 1.26 до 1.27 и 1.30 кг соответственно.

Более низкие размеры накопления $N-NO_3$ в 1-й и 2-й ротациях севооборота от 1 кг азота органических удобрений были обусловлены тем, что содержание и запасы $N-NH_4$ в почве были более высокими (174–201 кг/га) [7], чем в 3-й (96–136 кг/га) и 4-й (45–62 кг/га) ротациях (табл. 2 и 5). Соответственно в 1-й и 2-й ротациях были более высокими и размеры перехода $N-NH_4$ в жидкую фазу. Это вело к их активной нитрификации в ущерб процесса трансформации органических удобрений. Высокое содержание $N-NH_4$ в почве в течение 1-й и 2-й ротаций севооборота было следствием избыточного применения удобрений на почвах Владимирского ополья в конце 1980-х гг. Влияние нитратного азота, полученного при трансформации оставшихся в почве запасов

Таблица 8. Распределение запасов нитратного азота в слоях 0–40 и 0–100 см почвы в ранний период вегетации культур в 1-й ротации 8-польного севооборота

Вариант	Запасы N-NO ₃ в период отрастания озимой ржи, 1997–1999 гг. в слоях, кг/га		Доля запасов N-NO ₃ в слое 0–40 см от их запасов в слое почвы 0–100 см, %	Запасы N-NO ₃ в период всходов ячменя, 1998–2000 гг. в слоях, кг/га		Доля запасов N-NO ₃ в слое 0–40 см от их запасов в слое почвы 0–100 см, %
	0–40 см	0–100 см		0–40 см	0–100 см	
Фон (известь)	41	100	41	58	106	55
Ф + навоз 60 т/га	40	86	46	66	106	62
Ф + навоз 60 т/га + + N40P40K40	63	103	61	141	204	69
Ф + навоз 60 т/га + + N80P80K80	121	157	77	167	241	69

Примечание. Предшественником озимой ржи были травы 2-го года пользования.

N-NH₄ и азота органических удобрений приписывалось действию навоза КРС на продуктивность культур севооборота в 1-й и 2-й ротациях (табл. 1). В результате этого ЭМУ навоза по азоту составлял 0.47–0.56.

В 4-й ротации запасы аммонийного азота в почве резко снизились, уменьшались и размеры его перехода в жидкую фазу почвы. Поэтому до периода активной вегетации полевых культур более интенсивно проходила трансформация азота навоза в аммонийную и нитратную формы. Отчасти этому способствовало и изменение климатических условий в сторону потепления.

Показано, что с повышением доз применения органических удобрений возрастало накопление нитратного азота от 1 кг азота. Очевидно, рост концентрации органического вещества обеспечивал повышение микробиологической активности серой лесной почвы.

От 1 кг азота минеральных удобрений происходило увеличение запасов N-NO₃ > 1 кг, что было связано с явлением образования экстра-азота. Он формируется при трансформации мобильного пула азота [10, 18], в котором определяющая роль принадлежит азоту минеральных удобрений.

Из сравнения данных табл. 1 и 7 видно, что ЭМУ навоза по азоту существенно больше, чем увеличение запасов N-NO₃ от 1 кг азота органических удобрений в 3-й и 4-й ротациях 7-польного севооборота. Это обусловлено тем, что внесенные органические удобрения в летне-осенний период активно минерализуются, и в весенний период нитратный азот интенсивно передвигается глубже 40 см с талыми водами [19]. Азотные минеральные удобрения вносили весной после схода талых вод, и размеры их передвижения в подпахотные слои заметно снижались. Это под-

тверждено данными распределения нитратного азота в 1-метровом слое почвы (табл. 8). При применении азотных удобрений (N_{aa}) большая часть нитратного азота (61–77%) в ранний период вегетации культур распределялась в слое 0–40 см почвы. Но даже при применении азотных удобрений в слое 40–100 см почвы может находиться 23–39% запасов нитратного азота, которые используются возделываемыми культурами в более поздние сроки их вегетации. Это объясняет различия угловых коэффициентов при “х” (табл. 3) и “х₂” (табл. 1) линейных зависимостей средней продуктивности севооборотов от среднегодовых запасов нитратного азота в слое 0–40 см почвы и доз внесения азота аммиачной селитры.

Так как в самой аммиачной селитре половина азота представлена нитратным, другая половина – аммонийным азотом, то эффективность азота навоза по сравнению с аммонийным азотом селитры в 3-й и 4-й ротациях составила:

$$\frac{0.35}{0.64} \dots \frac{0.39}{0.65}, \text{ или } 0.55\text{--}0.60.$$

Эта величина близка к показателям ЭМУ навоза по азоту, представленным в табл. 1. За 3-ю и 4-ю ротации она повышалась с ростом доз навоза КРС от 40 до 80 т/га за ротацию от 0.45 до 0.62. За 1-ю и 2-ю ротации данные ЭМУ навоза по азоту также были близкими (0.47–0.56).

В работе [15] на дерново-слабоподзолистой почве легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава Ярославской обл. изучали влияние куриного помета на изменение физико-химических и агрохимических свойств. В слое 0–40 см почвы выявлено высокое комплексное действие этого удобрения: повышение рН_{KCl} и снижение гидролитической кислотности, повышение обеспеченности подвижными формами фосфора и

Таблица 9. Степень перехода N-NH₄ в жидкую фазу (почва : вода = 1 : 1) с твердой поверхности в связи с некоторыми свойствами дерново-подзолистых почв (Владимирская обл., пос. Головино)

Горизонт	Глубина слоя, см	H_f	S	$H_{обм}$	Фракция <0.01 мм, %	N-NH ₄ в вытяжке, мг/100 г почвы		Степень перехода N-NH ₄ в жидкую фазу (w, %)	
		мг-экв/100 г почвы				солевой	водной	эксперимент	рассчитанная
Поле 1									
Апах	0—20	1.92	7.0	0.12	7.64	2.13	0.184	8.4	10.2
A1A2	20—40	1.75	4.6	0.04	8.20	3.04	0.352	11.6	10.8
—	40—60	1.22	6.8	0.06	5.44	1.76	0.234	13.3	11.7
—	60—80	1.05	2.0	0.06	3.28	3.12	0.577	18.5	19.6
Разрез № 2, 2018 г.									
Апах	0—23	2.10	9.6	0.14	4.60	1.80	0.162	9.0	8.1
A2	33—53	0.35	1.6	0.02	2.48	0.78	0.200	25.6	22.5
A2B	53—80	0.35	1.6	0.02	1.36	0.90	0.212	23.6	24.4
B	100—115	2.45	8.8	0.46	22.5	4.98	0.418	8.4	8.8
Разрез № 3, 2018 г.									
Апах	0—23	4.20	10.4	0.06	12.2	5.42	0.442	8.2	9.6
A1A2	23—30	2.97	5.0	0.04	10.5	4.80	0.453	9.4	8.7
A2	30—46	0.86	1.6	0.06	6.76	2.49	0.325	13.0	14.8
B	46—63	1.48	4.6	0.12	8.92	4.12	0.314	7.6	10.3
C	120—140	1.57	7.7	0.10	15.4	3.81	0.377	9.9	7.0

Примечание. H_f — гидролитическая кислотность, S — сумма поглощенных оснований, $H_{обм}$ — обменная кислотность, Апах и A1A2 — пахотный и переходный горизонты, A2 и A2B — элювиальный и переходный горизонты, B — иллювиальный горизонт, C — подстилающая порода.

обменным калием, запасами аммонийного и нитратного азота. Это позволило повысить урожайность яровых зерновых культур до 5–9 т/га.

Для слоев 0–20, 20–30 и 30–40 см почвы было изучено действие и последствие куриного помета, внесенного в слой 0–20 см, на степень перехода N-NH₄ в жидкую фазу (водную вытяжку 1 : 1, w, %) от содержания его в почве ($18 > x > 0.5$ мг/100 г почвы). В составе илстой фракции преобладали гидрослюды и слюды. Степень перехода “w” варьировала при действии помета от 0.3 до 33%, при его последствии — до 2.7%. Связь между параметрами была следующей:

$$W = 0.67 + 1.70x, \quad n = 58, \\ t_{\text{суш}} = 18.9, \quad r^2 = 0.865. \quad (4)$$

Более высокая величина углового коэффициента при “x” (1.70) для дерново-подзолистой почвы, чем для серой лесной (0.74, уравнение 3), свидетельствовала о менее прочной связи ионов аммония с ППК первой почвы. Очевидно, что роль аммонийного азота почвы в питании культур возрастает с ростом степени его перехода в жидкую фазу: слабая — <5%, средняя — от 5 до 10%, высокая — от 10 до 15%, очень высокая — >15%.

Для изученных дерново-подзолистых легко- и среднесуглинистого состава почв соответствующие параметры степени перехода аммонийного азота в жидкую фазу будут достигаться при содержании N-NH₄ в почве <2.5, от 2.5 до 5.5, от 5.5 до 8.5 и >8.5 мг/100 г. Подобные исследования были проведены и для легких дерново-подзолистых почв Мешеры (табл. 9) [16].

Изученные почвы характеризовались варьированием по профилю емкости катионного обмена (сумма поглощенных оснований и гидролитической кислотности) от 2.0 до 14.6 мг-экв/100 г, физической глины — от 1.4 до 22.5%, содержанием аммонийного азота — от 0.78 до 5.0 мг/100 г почвы.

Переход N-NH₄ почвы в жидкую фазу без применения удобрений варьировал от средней (Апах-горизонты и слои почвы глубже 1 м) до высокой и очень высокой степени (в слоях (20–30)–(46–80) см). Степень перехода возрастала с уменьшением емкости катионного обмена и содержания частиц <0.01 мм. Взаимосвязь между этими параметрами была на уровне средней ($r = 0.622$, $n = 13$). Это позволяло рассматривать их в качестве самостоятельных взаимодействующих факторов.

Коррелятивная связь степени перехода аммонийного азота почвы в жидкую фазу (w , %) как с емкостью поглощения (x_1 , мг-экв/100 г почвы), так и содержанием в ней фракции <0.01 мм (x_2 , %) описана следующим уравнением:

$$w = 30.5 - 1.945x_1 - 2.05x_2 + 0.183x_1x_2, \quad (5)$$

$$n = 13, \quad r^2 = 0.907.$$

Рассчитанные по уравнению 5 величины степени перехода $N-NH_4$ почвы в водную вытяжку для дерново-подзолистых почв были близки к экспериментальным данным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для серых лесных почв Владимирского ополья выявлено определяющее влияние применения подстилочного навоза КРС и азотных удобрений в составе полного минерального на продуктивность культур 8- и 7-польных севооборотов. Доля вариации от их использования менялась от 89.1 до 94.7%, а от фосфорно-калийных удобрений не превышала 7.4%. Эквивалент минеральных удобрений (ЭМУ) доз навоза 40, 60 и 80 т/га, внесенных в занятом пару, составлял соответственно 0.38–0.54, 0.45–0.61 и 0.48–0.72.

В результате трансформации внесенных в пару органических удобрений, аммиачной селитры, применяемой весной в подкормку озимых зерновых культур и многолетних трав, перед посевом яровых зерновых культур и однолетних трав, в слое 0–40 см почвы в ранний период вегетации культур резко повышались запасы $N-NO_3$ в вариантах с применением азотных минеральных удобрений. Но в середине вегетации возделываемых культур они снижались в несколько раз из-за высокого поглощения растениями. Максимальное снижение запасов аммонийного азота за указанные сроки в 3-й ротации не превышало 26.1%, что подтверждало слабую роль этой формы азота в питании растений.

Основная доля азота удобрений и почвы подвергалась нитрификации в ранние весенние сроки при быстром нарастании температуры воздуха и высокой влажности почвы. Накопленные в ранний период вегетации культур запасы $N-NO_3$ определяли в основном продуктивность культур. За этот период в слое 0–40 см почвы в среднем за 3-ю и 4-ю ротации 7-польного севооборота 1 кг азота навоза КРС обеспечивал накопление 0.35–0.39 кг $N-NO_3$, а 1 кг азота аммиачной селитры — 1.27–1.30 кг $N-NO_3$. Влияние на продуктивность культур севооборота 1 кг азота органических удобрений составляло 55–60% эффекта $N-NH_4$ аммиачной селитры. В опыте это совпадало с ЭМУ навоза по азоту.

На средне- и тяжелосуглинистых серых лесных почвах слабое влияние $N-NH_4$ почвы на продуктивность возделываемых культур было обусловлено высокой прочностью связи ионов NH_4^+ их поглощающим комплексом, характеризующимся высокой емкостью катионного обмена и преобладанием в илистой фракции гидрослюдов и смешано-слойных образований (слюда-сметиты и хорит-сметиты). В слоях 0–20 и 20–40 см серой лесной почвы установлена тесная положительная связь содержания $N-NH_4$ почвы (x , мг/100 г) с его переходом в жидкую фазу (w , %, водную вытяжку 1 : 1). Степень перехода не превышала 5.4%.

Для легко- и среднесуглинистых дерново-подзолистых почв Ярославской обл., характеризующихся емкостью катионного обмена 13.3–18.7 мг-экв/100 г почвы и высоким содержанием во фракции частиц <0.01 мм гидрослюдов и слюдов, также наблюдали тесную линейную связь между указанными параметрами (x и w). Высокая ($15 > w > 10$) и очень высокая ($w > 15\%$) степень перехода $N-NH_4$ почвы в жидкую фазу отмечена лишь в год действия куриного помета. При его последствии величина w снижалась до 2.7% и менее (низкая степень перехода).

На легких дерново-подзолистых почвах (с содержанием физической глины $<22.5\%$) Мещеры даже без применения удобрений степень перехода $N-NH_4$ почвы в жидкую фазу изменялась от средней (от 5 до 10%) до высокой и очень высокой. Она увеличивалась с уменьшением емкости катионного обмена и содержания фракции <0.01 мм.

Для диагностики минерального питания растений и оценки обеспеченности подвижными формами азота в Нечерноземье средне-, тяжелосуглинистых и глинистых почв необходимо учитывать лишь содержание $N-NO_3$, легко- и среднесуглинистых кроме концентрации $N-NO_3$ в год действия органических удобрений необходимо учитывать также содержание $N-NH_4$, легких песчаных и супесчаных почв — суммарное содержание $N-NO_3$ и $N-NH_4$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сычев В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. М.: ВНИИА, 2013. 296 с.
2. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3–13.
3. Шафран С.А. Баланс азота в земледелии России и его регулирование в современных условиях // Агрохимия. 2020. № 6. С. 14–21.
4. Романенков В.А., Беличенко М.В., Рухович О.В., Никитина Л.В., Иванова О.И. Эффективность использования азота в длительных и краткосрочных

- опытах Агрохимслужбы и Географической сети Российской Федерации // Агрохимия. 2020. № 12. С. 28–37.
5. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Влияние запасов подвижных форм азота в серых лесных почвах Ополя на продуктивность севооборотов // Агрохимия. 2016. № 1. С. 17–26.
 6. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Удобрение и продуктивность севооборотов на серых лесных почвах Верхневолжья // Агрохимия. 2018. № 2. С. 56–70.
 7. Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А. Влияние удобрений на содержание подвижных форм азота в почвах Верхневолжья // Владимирский земледелец. 2020. № 1 (91). С. 4–12.
 8. Гамзигов Г.П. Принципы почвенной диагностики азотного питания полевых культур и применение азотных удобрений // Совершенствование методов почвенно-растительной диагностики питания растений и технологии применения удобрений на их основе. Мат-лы симп. (Немчиновка, 8–9 июня 1999 г.). М.: ВНИПТИХИМ, 2000. С. 33–45.
 9. Прянишников Д.Н. Избр. соч. Т. 3. Общие вопросы земледелия и химизации. М.: Изд-во сел.-хоз. лит-ры, журн. и плакатов, 1963. 647 с.
 10. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Приемы комплексного использования средств химизации в севообороте на серых лесных почвах Верхневолжья в агротехнологиях различной интенсивности. Суздаль, 2017. 176 с.
 11. Окорков В.В. Удобрения и плодородие серых лесных почв Владимирского ополя. Владимир: ВООО ВОИ, 2006. 356 с.
 12. Практикум по агрохимии / Под ред. Ягодина Б.А. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
 13. Дубровина И.В., Градусов Б.П. Химико-минералогическая характеристика почв Владимирского ополя // Почвоведение. № 3. 1993. С. 64–73.
 14. Чижикова Н.П., Окорков В.В., Карпова Д.В. Оценка резервов элементов питания Владимирского ополя в связи с их минералогическим составом // Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование. Мат-лы 1-й Всерос. открыт. конф. / Отв. ред. Иванов А.Л. М., 2015. С. 448–461.
 15. Окорков В.В., Шукин Н.Н. Влияние куриного помета на изменение плодородия дерново-подзолистой почвы // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Сб. докл. XV Международ. научн.-практ. конф. Курск. отд-я МОО "Общество почвоведов имени В.В. Докучаева". 2020. С. 282–286.
 16. Окорков В.В. Различия в использовании растениями нитратного и аммонийного азота почвы // Проблемы и вопросы современной науки. Реценз. сб. научн. тр. Июнь 2019 г. № 2 (3). Ч. 1. М.: Научн.-изд. центр Международ. объедин. акад. наук (НИЦ МОАН), 2019. С. 66–76.
 17. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Влияние удобрений на содержание подвижных форм азота и урожайность овса на серых лесных почвах Верхневолжья // Агрохимия. № 2. 2020. С. 3–13.
 18. Окорков В.В. Модели продуктивности зернового севооборота на серых лесных почвах Верхневолжья // Рос. сел.-хоз. наука. 2018. № 1. С. 30–34.
 19. Окорков В.В., Окоркова Л.А., Фенова О.А., Семин И.В. Использование местных органических удобрений на серых лесных почвах Владимирского ополя // Агрохимия. 2013. № 4. С. 34–47.

To the Question about the Equivalence of Plant Nutrition Nitrate and Ammonia Nitrogen

V. V. Okorkov

*Volga Federal Agricultural Research Center
p. Noviy, Suzdal district, Vladimir region 601261, Russia
E-mail: okorkovvv@yandex.ru*

Studies on the effect of fertilizers on changes in the mineral forms of nitrogen in the soil and their availability to plants were carried out on gray forest and sod-podzolic soils that differ in granulometric composition and physic and chemical properties. On the medium-loamy gray forest soils of the Vladimir Opolye, with a cation exchange capacity of 25.2–27.0 mg-eq/100 g of soil, the determining role of nitrate nitrogen accumulated in the early growing season of crops in their nutrition and productivity was revealed. Due to the low degree of transition of ammonium nitrogen of the soil to the liquid phase (water extract 1 : 1) its role in their nutrition was several times lower than N-NO₃. On light-and medium-loamy sod-podzolic soils with an cation exchange capacity (CEC) of 13.3–18.7 mg-eq/100 g of soil, a significant role of N-NH₄ in their nitrogen nutrition was also revealed by the action of chicken manure. According to the aftereffect of chicken manure, the degree of transition of ammonium nitrogen to the liquid phase decreased. On lighter soils, the degree of transition of N-NH₄ of the soil to the liquid phase increased to very high with a decrease in both the CEC and the content of physical clay particles.

Key words: gray forest and sod-podzolic soils, nitrate and ammonium nitrogen, the degree of transition of ammonium nitrogen of the soil to the liquid phase, granulometric composition of the soil, the cation exchange capacity.

УДК 631.58:631.41:631.147:631.445.25(470.314)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТРАДИЦИОННОЙ И БИОЛОГИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ, БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЯ

© 2021 г. И. В. Русакова

Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал Верхневолжского аграрного научного центра
601390 Владимирская обл., Судогодский р-н, д. Вяткино, ул. Прянишникова, 2, Россия

E-mail: rusakova.iv@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.05.2021 г.

После доработки 25.06.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

В полевых условиях Владимирского ополя проведена оценка влияния биологизированной системы земледелия (БС) на изменение агрохимических и биологических показателей плодородия серой лесной почвы в сравнении с традиционной системой земледелия (ТС) и залежной почвой (З) с лугово-разнотравной растительностью. Установлено, что длительное применение биологизированных агроприемов (внесение навоза КРС, заделка соломы, снижение доз минеральных удобрений, комбинированная почвозащитная обработка почвы) в гораздо большей мере отразилось на биологических свойствах и качестве почвенного органического вещества (ПОВ), чем на агрохимических показателях. При близких показателях pH_{KCl} , гидролитической кислотности, содержания подвижных форм фосфора и калия в пахотном слое почв на участках с использованием БС по сравнению с ТС существенно повысилась обеспеченность почвы легкоразлагаемым, биологически доступным органическим веществом: потенциально-минерализуемым ($C_{пм}$) и трансформируемым ($C_{транс}$) углеродом – в 1.48 раза, водорастворимым (C_v , $C_{эв}$) и лабильным ($C_{лаб}$) углеродом – в 1.12–1.18 раза, что создало более благоприятные условия для жизнедеятельности почвенной микрофлоры и повышения ее активности и биомассы. Например, в пахотном слое почвы на полях с БС по сравнению с ТС были значительно больше показатели, характеризующие биогенность почвы: численность физиологических групп микроорганизмов (ФГМ) – в 1.21–4.05, содержание микробной биомассы ($C_{мкр}$) – в 1.32, интенсивность минерализации органического вещества и размеры продуцирования $C-CO_2$ – в 1.49 раза. При этом не отмечено существенных различий между ТС и БС по валовому содержанию органического углерода в пахотном слое. Залежная почвенная экосистема превосходила БС содержанием биомассы и минерализационной активностью микробного сообщества и биологическим качеством органического вещества.

Ключевые слова: биологизированная система земледелия, агрохимические, биологические свойства, биологическое качество органического вещества.

DOI: 10.31857/S0002188121120127

ВВЕДЕНИЕ

Традиционные системы земледелия, которые называют также конвенциональными, интенсивными, индустриальными, предполагают интенсивное использование химически синтезированных удобрений и средств защиты растений от вредителей и болезней, а также крупной сельхозтехники и машин, часто приводящее к снижению содержания почвенного органического вещества (ПОВ), ухудшению биологического состояния почв. В противоположность интенсивным, для экологи-

чески ориентированных систем земледелия, направленных на интенсификацию использования биологических факторов, характерен общий принцип – сокращение или полный отказ от применения минеральных удобрений и пестицидов, увеличение входа органического вещества, в т.ч. с послеуборочными остатками, снижение механической нагрузки на почву. Уменьшение зависимости продуктивности земледелия от синтетических агрохимикатов и снижение риска экологических нарушений – одна из главных задач

устойчивого земледелия, предусматривающего полный (органическое и биодинамическое земледелие) или частичный (биологизированное земледелие с ограниченными химическими нагрузками) отказ от использования минеральных удобрений и других химических препаратов [1, 2].

В настоящее время во многих регионах страны активно внедряются системы биологизации земледелия, предусматривающие ограниченное использование синтетических агрохимикатов, широкое вовлечение органогенных источников питания растений, среди которых важное место занимают органические удобрения, растительные остатки [3–6]. Почвы при их применении содержат больше органического вещества и азота, характеризуются более благоприятным биологическим состоянием с повышенным уровнем биоразнообразия, численности и активности микробиоты [7–9]. По мнению [10], улучшение качества почв при использовании биологизированных систем земледелия достигается в основном за счет увеличения входа органического вещества, включая пожнивные остатки и солому, биологизированных севооборотов с увеличением доли многолетних бобовых трав и реже, из-за менее интенсивной ресурсосберегающей обработки почв с элементами минимизации. В работе [11] отмечено, что органическое земледелие, научной и технологической основой которого является биологизация, приводит к повышению качества почвы с более высокой микробиологической активностью, чем при традиционном сельскохозяйственном производстве.

Следует отметить, что продолжают оставаться актуальными и недостаточно изученными такие вопросы: какие показатели качества и плодородия почвы изменяются в большей мере под воздействием различных систем удобрения, в какой мере биологизация агротехнологий отражается на качественных характеристиках почвенного органического вещества [12]. Исходя из анализа состояния изученности данной проблемы, была поставлена цель исследования — провести сравнительную оценку воздействия биологизированной и традиционной систем земледелия на показатели агрохимического и биологического состояния, выявить изменения в биологическом качестве почвенного органического вещества серой лесной почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на Юрьев-Польском госсортоиспытательном участке (ГСУ) на агросерых лесных почвах Владимирского ополья, где в течение 25 лет в 8-польном зернотравяном севообороте применяли биологизированную систему

земледелия. Система земледелия предусматривала интенсивное использование биологического фактора и включала комплекс агроприемов, максимально адаптированных к естественному ходу почвообразовательных процессов и функционированию экосистем: оптимальное сочетание и чередование зерновых и кормовых культур в структуре севооборота (пар чистый — озимые зерновые — яровые зерновые — однолетние травы (злаково-бобовая смесь) с подсевом клевера — клевер 1-го года пользования — клевер 2-го года пользования — озимые зерновые — яровые зерновые), снижение объемов применения минеральных удобрений с использованием органических (подстилочный навоз 50–100 т/га) и биоресурсов (солома всех зерновых культур севооборота, в среднем 20 т/га за ротацию), дифференцированная система обработки почвы, с чередованием отвальной вспашки (0–20 см) и безотвального рыхления чизельным плугом до глубины 30–40 см. Основное отличие биологизированной системы, примененной на ГСУ, от традиционной (органо-минеральной) заключалось в снижении доз минеральных удобрений, увеличении входа органического вещества за счет подстилочного навоза и послеуборочных растительных остатков. В 1970–1985 гг. из 320 кг NPK/га, ежегодно вносимых в поля ГСУ, 202 кг или 63% приходилось на долю минеральных удобрений. С 1989 г. после перехода на новую почвозащитную биологизированную систему земледелия объемы применения минеральных удобрений были значительно сокращены до 103 кг д.в./га, внесение навоза увеличилось с 50 до 100 т/га за ротацию, начато использование соломы всех зерновых культур севооборота в среднем 2.5 т/га ежегодно. Солому измельчали во время уборки зерна комбайном с измельчителем, затем поле дисковали и через 2–3 нед производили зяблевую вспашку, в процессе которой солому заделывали в пахотный слой. Расчетным методом определено, что при среднем содержании углерода в соломе зерновых 39–41%, с соломой ежегодно в почву поступало 975–1025 кг С/га. В среднем за ротацию севооборота при применении биологизированной системы земледелия (БС) с навозом и соломой в почву поступало ≈ 13 т $C_{орг}$ /га.

Начиная с 3-й ротации севооборота (с 2002 г.) применение подстилочного навоза было сокращено до 50 т/га, дозы минеральных удобрений в разные годы, в зависимости от состояния посевов, варьировали от 40 до 110 кг д.в./га, их доля в общем объеме внесения NPK составляла в среднем 28.2%.

Почвенные образцы для анализа отбирали из слоя 0–20 см в четырехкратной повторности (го-

товили по 4 смешанных образца из 10–15 индивидуальных проб) на полях ГСУ, а также на участках с применением традиционной системы земледелия (ТС) (без использования растительных остатков на удобрение, с невысокими дозами навоза) осенью 2016 г. после уборки озимой пшеницы и на залежном участке (>20 лет) с лугово-разнотравной растительностью, расположенном в непосредственной близости от полей ГСУ.

Агрохимические анализы почвы (определение pH_{KCl} , H_r , подвижных форм P_2O_5 и K_2O) выполняли по общепринятым методикам [13]. Биологические показатели определяли в свежих образцах почвы: численность физиологических групп микроорганизмов (ФГМ) — методом учета на соответствующих питательных средах [14], содержание микробной биомассы — методом регидратации-экстракции [15]. Эмиссию $C-CO_2$ определяли абсорбционным методом [16] в лабораторных условиях при инкубации свежесобранных почвенных образцов при 22°C и 60% ПВ, ежедневно в первые 7 сут, затем 1 раз в неделю и рассчитывали кумулятивное количество минерализованного углерода за 120 сут. Содержание различных пулов и фракций ПОВ определяли в почве, высушенной при комнатной температуре: общее содержание органического углерода ($C_{орг}$) — методом мокрого “сжигания” с фотометрическим окончанием, углерод, растворимый в холодной воде ($C_{водн}$) — по Панникову (при соотношении почва : вода = 1 : 5); углерод, экстрагируемый горячей водой ($C_{эвг}$), — при 1-часовом кипячении почвенной суспензии (почва : вода = 1 : 5) на водяной бане с обратным холодильником [17], лабильный углерод ($C_{лаб}$) — в вытяжке 0.1 M $Na_4P_2O_7$ (pH 7.0) по методике Почвенного института, потенциально минерализуемый ($C_{пм}$) и трансформируемый ($C_{транс}$) углерод — по методике Когута, изложенной в работе [18]. Математическую обработку экспериментальных данных проводили методом однофакторного дисперсионного анализа с вычислением средних, HSP_{05} и критерия Фишера для оценки существенности разности между средними с использованием программы STATVIVA, построение графиков — с использованием компьютерной программы Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно результатам агрохимического анализа, особенности изученных систем земледелия не отразились заметно на таких показателях, как кислотность почвы и содержание элементов питания. Исследованные почвы значимо не различались по содержанию в пахотном слое подвиж-

Таблица 1. Агрохимические показатели серой лесной почвы в пахотных и залежной экосистемах

Вариант	pH_{KCl} , ед. pH	H_r , мг-экв/100 г	P_2O_5 подв	K_2O подв
			мг/кг почвы	
ТС	6.00	1.08	317	165
БС	6.23	0.96	256	167
З	6.20	1.01	273	155
HSP_{05}	0.24	0.24	64	17

Примечание. ТС — традиционная система, БС — биологизированная система, З — залежь. То же в табл. 2–4.

ных форм P_2O_5 и K_2O (в вытяжке Кирсанова), показатели кислотности в верхнем 0–20 см слое также были очень близкими в почвах 2-х агроэкосистем и залежной почве (табл. 1).

Согласно полученным данным, пахотный слой почвы на участках с БС характеризовался существенно более высокими, чем при традиционной системе земледелия, показателями численности групп микроорганизмов и содержания микробной биомассы. Например, по количеству КОЕ аммонифицирующих, амилолитических, целлюлозоразлагающих, нитрифицирующих микроорганизмов БС превышала ТС в 2.3, 1.3, 1.1, 4.1 раза соответственно, что можно объяснить более высоким поступлением в БС легко усвояемого для микробного сообщества углерода в составе подстилочного навоза КРС и соломы зерновых культур (табл. 2).

В исследованиях [11] также было показано, что органическое управление положительно сказалось на количестве целлюлозолитических и аммонифицирующих бактерий в почве. По данным [19], на песчаных почвах количество КОЕ копиотрофов и олиготрофов в органических вариантах было больше, чем в почве минеральных вариантов. Почва залежи характеризовалась более низким, чем в БС, уровнем численности изученных групп микроорганизмов.

Все микробиологически опосредованные циклические процессы зависят от органического углерода, который используется либо как источник энергии, либо как основа для синтеза биомолекул [20]. Поэтому основным ограничивающим фактором для микробной деятельности в сельскохозяйственных почвах является биологически доступное органическое вещество. Методы управления и агротехнологии, которые обеспечивают высокие темпы входа экзогенного углерода в почву, в т.ч. за счет возврата послеуборочных растительных остатков, являющихся трофическим и энергетическим источником, “горячими точками” для микробного населения, создают условия для сохранения и роста микробной биомассы [20].

Таблица 2. Биологические показатели почвы

Вариант	Численность микроорганизмов, 10^3 КОЕ/г почвы				$C_{\text{микро}}$, мг/кг	$C_{\text{микро}}$, % от $C_{\text{орг}}$
	Аммонификаторы	Амилолитические	Целлюлозоразлагающие	Нитрифицирующие		
ТС	8430	18000	352	3.7	579	3.52
БС	19100	23900	427	15	768	4.26
З	11300	22200	328	5.3	920	3.89
HCP_{05}	2800	2300	76	1.7	81	

В нашем исследовании максимальным показателем $C_{\text{микро}}$, составившим 920 мг/кг, характеризовалась почва залежи. Согласно данным исследования [21], уровни микробной биомассы в непахотных почвах (залежи) в среднем на 37–54% больше, чем в поверхностном слое вспаханной почвы.

Содержание $C_{\text{микро}}$ в пахотной почве ГСУ с многолетним применением БС составило 768 мг/кг, что было на 33% больше, чем в ТС, но на 20% меньше, чем в залежи. Эти данные согласовались с результатами, полученными в ряде исследований, в которых также было установлено, что содержание микробной биомассы в почвах с биологическими и органическими системами удобрения было больше, чем с минеральными [1, 9, 11, 21]. В исследованиях [22] показано отрицательное влияние минеральных удобрений, в первую очередь азотных, на количество микробной биомассы, что объясняется подкислением, а также снижением запасов биологически доступного углерода.

Одним из интегральных показателей минерализационной активности почвенных микроорганизмов является скорость и интенсивность продуцирования двуокси углерода. Для количественной характеристики минерализуемого пула органического углерода используют данные кумулятивной эмиссии $C-CO_2$ за период длительной инкубации (110–120 сут) почвенных образцов [23]. В наших исследованиях при 120-суточном инкубировании почвенных образцов из ТС было минерализовано 56.8 мг $C/100$ г почвы. За этот период в почвах вариантов БС и З кумулятивное продуцирование $C-CO_2$ составило 84.5 и 152 мг/100 г почвы, что превышало ТС в 1.49 и 2.67 раза соответственно (рис. 1).

За 120 сут при оптимальных параметрах температуры и влажности в результате микробной деятельности фактически было минерализовано 3.15, 4.85 и 6.41% общего углерода ($C_{\text{орг}}$) в почвах ТС, БС и З соответственно. Эти данные также показали, что при использовании биологизирован-

ной системы органическое вещество в почве доступно для микроорганизмов и подвержено минерализации в большей степени, чем при традиционной (конвенциональной) системе, но в меньшей степени, чем в залежи.

По данным [24], перевод пахотной почвы в залежную способствовал накоплению органического вещества в верхнем слое, что вызвало усиление дыхательной активности почв и увеличение содержания микробного углерода.

Некоторые исследователи отмечали, что кроме такого фактора как более низкое поступление органического вещества в традиционной системе, постоянная вспашка плугом с оборотом также может снижать биологическую активность почв из-за разрушения почвенной структуры и уменьшения количества макроагрегатов [25].

Согласно результатам исследования [26], высокие показатели эмиссии CO_2 и в целом оптимизация биологических свойств почв при использовании органических и биологизированных систем земледелия обусловлена увеличением входа свежего органического вещества, улучшением обеспеченности биологически доступным, легко-разлагаемым ПОВ и в целом его биологического качества.

Известно, что общее содержание углерода в почве – это величина достаточно инертная, мало динамичная и не отражает кратковременных природных и антропогенных воздействий. Например, по содержанию общего углерода ($C_{\text{орг}}$) БС отличалась от традиционной системы на 9.7%, что было близким к аналитической ошибке.

По мнению [27], эффективно диагностировать изменения ПОВ под влиянием природных и антропогенных факторов и его биологическое качество возможно, определяя содержание активного органического вещества, оценивая его минерализационную способность и устанавливая долю микробного углерода в ПОВ. В качестве одного из индикаторов обеспеченности почв активным органическим веществом в научных исследованиях используют такой параметр, как содержание по-

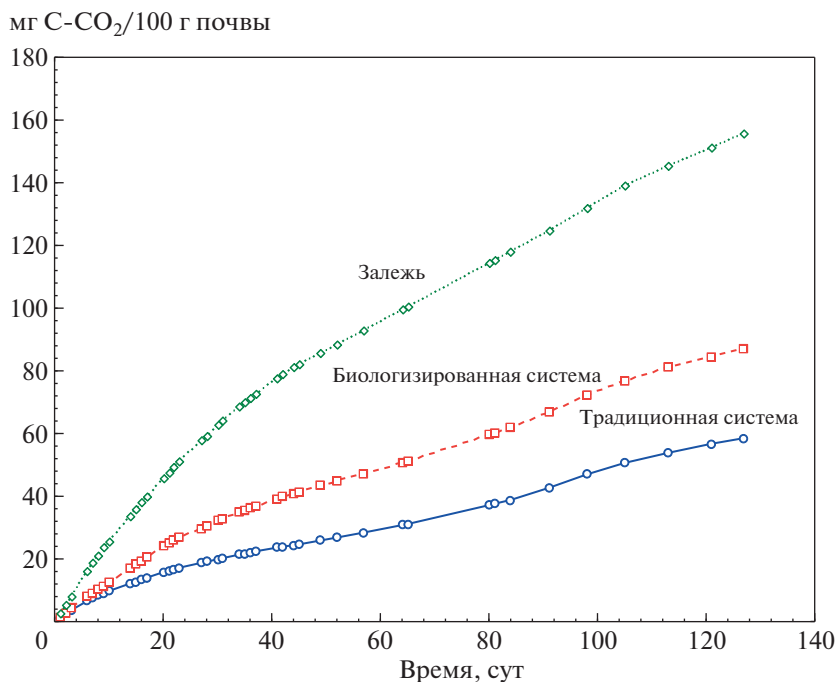


Рис. 1. Кумулятивное продуцирование C-CO₂ серой лесной почвой в различных системах земледелия и залежи.

тенциально минерализуемого углерода ($C_{\text{пм}}$), устанавливаемое путем измерения количества CO₂ за 20-суточный период лабораторной инкубации почвы и последующих соответствующих расчетов по методу, изложенному в работе [18]. Физический смысл этого показателя состоит в том, что он отражает количество углерода, минерализуемого в конкретной агроэкосистеме за период времени, равный по продолжительности вегетационному сезону.

Согласно полученным данным, в почве ТС содержание $C_{\text{пм}}$ составило 34.5 мг/100 г почвы, что в 1.48 раза меньше, чем в БС. Максимальной обеспеченностью потенциально-минерализуемым углеродом (86.8 мг/100 г) характеризовалась залежная почва. По мере увеличения абсолютных показателей возрастала также доля $C_{\text{пм}}$ в составе $C_{\text{орг}}$ от минимума в ТС (2.09%) до максимума в залежи (3.67%) (табл. 3).

Легко трансформируемый углерод почвы ($C_{\text{транс}}$) — часть углеродного фонда, представленная компонентами с высокой химической и биологической активностью, что определяет их главную роль в осуществлении агрономических, экологических функций почв и формировании их основных режимов и свойств [28]. Согласно [29], содержание $C_{\text{транс}}$ зависит от системы землепользования, используемых агроприемов (применяемых удобрений, севооборота и т.п.).

Серые лесные почвы изученных агроэкосистем значительно различались по величине этого показателя. Например, в почве ТС отмечено наименьшее содержание $C_{\text{транс}}$, как абсолютное (308 мг/100 г почвы), так и относительное (18.7% к $C_{\text{орг}}$). В БС, где внесение органических удобрений и периодическая заделка соломы 4-х зерновых культур севооборота обеспечивали дополнительный вход свежего органического вещества в размере в среднем ≈ 1050 кг/га/год, содержание $C_{\text{транс}}$ было больше в 1.48 раза, в залежи — в 2.52 раза, чем в ТС.

В работе [30] отмечено, что пахотные почвы с традиционными способами применения удобрений и механической обработки характеризуются обеднением активным органическим веществом и упрощением структуры активного пула. Любые

Таблица 3. Содержание потенциально-минерализуемого ($C_{\text{пм}}$) и трансформируемого ($C_{\text{транс}}$) органического вещества в серой лесной почве

Вариант	$C_{\text{пм}}$		$C_{\text{транс}}$	
	мг/100 г	$C_{\text{пм}}$, % от $C_{\text{орг}}$	мг/100 г	$C_{\text{транс}}$, % от $C_{\text{орг}}$
ТС	34.5	2.09	308	18.7
БС	50.9	2.82	455	25.2
З	86.8	3.67	775	32.8
HCP_{05}	9.6		86	

Таблица 4. Содержание общего ($C_{орг}$), водорастворимого ($C_{вод}$, $C_{эгв}$) и лабильного ($C_{лаб}$) органического вещества в серой лесной почве

Вариант	$C_{орг}$, %	$C_{вод}$	$C_{эгв}$	$C_{лаб}$
		мг/кг почвы		
ТС	1.65	142	505	1390
БС	1.80	159	595	1620
З	2.37	223	803	1760
HCP_{05}	0.19	11	44	120

быстро и медленно разлагающиеся материалы, включая солому зерновых культур, благоприятствуют процессу обогащения почвы активным органическим веществом, используемым микроорганизмами, и повышению биологической активности почвы [28]. Согласно результатам исследований [31], внесение соломы являлось наиболее значимым фактором, определяющим изменчивость пулов общего органического, потенциально-минерализуемого и микробного углерода в инкубационном опыте с серой лесной почвой.

Как уже упоминалось выше, общее содержание углерода в почве — это величина достаточно консервативная, медленно изменяющаяся в почвах. Напротив, такие фракции ПОВ, как водорастворимый, лабильный углерод, способны быстрее, чем общий органический углерод, реагировать на любые изменения в управлении почвами, поэтому они были предложены в качестве чувствительных индикаторов ранних изменений количества и качества ПОВ под воздействием природных и антропогенных факторов, в т.ч. под влиянием сельскохозяйственного использования [28].

Содержание водорастворимого углерода является одним из основных показателей биологической доступности ПОВ. По мнению [32], одним из достоверных параметров оценки разлагаемой части ПОВ, наиболее чувствительной для обнаружения изменений в ПОВ под влиянием различных сельскохозяйственных практик, является также содержание углерода во фракции, экстрагируемой горячей водой ($C_{эгв}$).

Установлено, что минимальная обеспеченность водорастворимым и лабильным углеродом была зафиксирована в почве ТС. В варианте БС содержание углерода, экстрагируемого холодной ($C_{вод}$) и горячей водой ($C_{эгв}$), а также определяемого в нейтральной пирофосфатной вытяжке ($C_{лаб}$) в варианте БС было достоверно больше по сравнению с ТС на 17, 90 и 234 мг/кг, соответ-

ственно (табл. 4). Если, как уже упоминалось выше, по содержанию общего углерода ($C_{орг}$) БС отличалась от традиционной на 9.7%, то по содержанию легкоразлагаемых фракций ПОВ, таких как $C_{вод}$, $C_{эгв}$ и $C_{лаб}$ — на 12, 18 и 17% соответственно. Многолетнее использование почвы под залежь обеспечило максимальные показатели органических фракций углерода, которые были достоверно больше, чем в варианте БС.

Отношение $C_{микр} : C_{орг}$, обозначаемое как “микробный фактор”, отражает относительный вклад микробной биомассы в общий органический углерод почвы [33] и указывает на биологическую доступность ПОВ для микробиоты. Фактически это отношение уменьшается при снижении концентрации доступного органического вещества.

В нашем исследовании доля $C_{микр}$ в составе $C_{орг}$ в БС была в 1.2 раза больше, чем в ТС (табл. 2), что свидетельствовало о более высоком качестве и доступности ПОВ для микрофлоры при использовании биологических средств для удобрения почвы.

В исследовании [34] после 7-ми лет органического управления в почве достоверно увеличились показатели содержания микробной биомассы, ферментативной деятельности, но при этом не наблюдали увеличения $C_{общ}$ и в целом было отмечено, что большие различия между различными методами управления были найдены в микробиологических свойствах почв, чем агрохимических.

Полученные данные убедительно продемонстрировали, что биологизированная система в отличие от традиционной (конвенциональной) способствует накоплению легко минерализуемого органического вещества, при слабо выраженных различиях по содержанию общего $C_{орг}$. По обеспеченности легко разлагаемым органическим веществом, которое является активным и биологически доступным, а также по величинам биологических параметров изученные экосистемы можно расположить в следующей последовательности: З > БС > ТС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлены существенные различия уровней биологической активности и качества почвенного органического вещества (ПОВ) пахотного слоя агросерой лесной почвы с применением традиционной (ТС) и биологизированной систем земледелия (БС), предусматривающей увеличение внесения в почву органиче-

ских удобрений при сокращении доз минеральных, а также регулярный возврат в почву послеуборочных остатков зерновых культур 8-польного зернотравяного севооборота. Почва в БС при близких агрохимических свойствах (содержании доступных форм фосфора и калия, кислотности) значительно превосходила традиционную по численности, активности и биомассе микроорганизмов. В целом длительное систематическое использование биологизированных агроприемов не привело к значительным изменениям в содержании валового $C_{орг}$ в почве, но способствовало более высокой обеспеченности почвы биологически активным ПОВ: водорастворимым и лабильным, потенциально минерализуемым, трансформируемым. На основании полученных данных можно сделать вывод, что активная почвенная микрофлора с более высокой численностью и биомассой, а также повышенный запас легкодоступного органического вещества — важнейшие преимущества биологизированных систем земледелия перед традиционными. Из всех изученных вариантов в почве залежи, без ежегодной механической обработки и отчуждения фитомассы, зафиксированы наиболее высокие показатели, характеризующие биологическую активность и биологическое качество ПОВ. В обрабатываемых пахотных почвах (ТС и БС) содержание общего углерода было меньше, чем в залежной в 1.50 и 1.64 раза соответственно. Обогащенность почвы легкоминерализуемым углеродом была также значительно снижена в 2.52 раза в ТС и в 1.7 раза — в БС по сравнению с залежью. Очевидно, это обусловлено большей массой корней и большим количеством растительных остатков, поступавших в почву в естественной экосистеме, по сравнению с агроценозом, где масса корней существенно меньше, и значительная часть надземной фитомассы растений отчуждается с урожаем. Таким образом, даже систематическое внесение органических удобрений и возврат соломы не позволили в пахотных серых лесных почвах достичь уровня показателей биологической активности, содержания и качества ПОВ, характерных для почвенной экосистемы залежи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ходжаева А.К., Семенов В.М., Дулов Л.Е., Семенова Н.А., Кузнецова Т.В., Семенов А.М., Ван Бругген А.Х.К.* Диагностика биологических свойств почвы при органической и традиционной системе земледелия // *Агрохимия*. 2010. № 5. С. 3–12.
2. *Жученко А.А.* Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. М.: Изд-во Агрорус, 2009. 1104 с.
3. *Бутков А.В., Мандрова А.А.* Биологизированная система земледелия в трехпольном севообороте с картофелем // *Агропром. технол. Центр. России*. 2016. № 2. С. 50–55.
4. *Малюга Н.Г., Гаркуша С.В., Василько В.П., Радионов А.И., Кравцов А.М.* Сбалансированная биологизированная система земледелия — основа сохранения плодородия и высокой продуктивности черноземов Кубани // *Тр. Кубан. ГАУ*. 2015. № 52. С. 125–129.
5. *Мерзлая Г.Е.* Биологические факторы в системах удобрения // *Агрохимия*. 2017. № 10. С. 24–36.
6. *Русакова И.В.* Ресурсосберегающие технологии использования растительных остатков // *Агрохим. вестн.* 2012. № 3. С. 40–42.
7. *Marriott E.E., Wander M.M.* Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems // *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 2006. V. 70. № 3. P. 950–959.
8. *Tobiašová E.* Quantity and quality of soil organic matter in ecological and integrated farming system // *J. Centr. Europ. Agricult.* 2012. V. 13. № 3. P. 519–526.
9. *Tu C., Ristaino J.B., Hu S.* Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching // *Soil Biol. Biochem.* 2006. V. 38. P. 247–255.
10. *Liebig M.A., Doran J.W.* Impact of organic production practices on soil quality indicators. // *J. Environ. Qual.* 1999. V. 28. № 5. P. 1601–1609.
11. *Lehocka Z., Klimekova M., Bielikova M.* Soil quality indicators in organic and conventional farming systems in Slovakia // 16th IFOAM Organic World Congress. Modena. Italy. 2008. 16–20 June. Arch. at <http://orgprints.org/12169>.
12. *Лебедева Т.Н., Масютенко Н.П., Семенов В.М., Козут Б.М., Зинякова Н.Б., Акименко А.С.* Действие биологических способов оптимизации плодородия типичного чернозема на качество органического вещества // *Агрохимия*. 2018. № 7. С. 12–21.
13. *Практикум по агрохимии* / Под ред. Минеева В.Г. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
14. *Титова В.И., Козлов А.В.* Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. Н.Новгород, 2012. 64 с.
15. *Благодатский С.А., Благодатская Е.В. Горбенко А.А., Паников Н.С.* Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве // *Почвоведение*. 1987. № 4. С. 71–81.
16. *Шарков И.Н.* Абсорбционный метод определения эмиссии CO_2 из почв // *Методы исследований органического вещества почв*. М.: РАСХН, ВНИИОУ, 2005. С. 401–407.
17. *Методы определения активных компонентов в составе гумуса почв*. М.: ВНИИА, 2010. 32 с.
18. *Козут Б.М., Семенов В.М., Лукин С.М., Шарков И.Н.* Способ определения показателей трансформируемого и инертного органического углерода в почвах. Пат. 2519149 РФ // *Б.И.* 2014. № 16. С. 7.

19. van Diepeningen A.D., de Vos O.J., Korthals G.W., van Bruggen A.H.C. Effects of organic versus conventional anagement on chemical and biological parameters in agricultural soils // *Appl. Soil Ecol.* 2006. V. 31. № 1–2. P. 120–135.
20. Kuzyakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review // *Soil Biol. Biochem.* 2015. V. 83. P. 184–199.
21. Leithold G., Hülsbergen K–J., Christopher Brock C. Organic matter returns to soils must be higher under organic compared to conventional farming // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2015. V. 178. № 1. P. 4–12.
22. Kallenbach C., Grandy A.S. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: A meta-analysis // *Agricult. Ecosyst. Environ.* 2011. V. 144. № 1. P. 241–252.
23. Jacinthe P.A., Lal R., Kimble J.M. Effects of Wheat residue fertilization on accumulation and biochemical attributes of organic carbon in a central Ohio luvisol // *Soil Sci.* 2002. V. 167. № 11. P. 750–758.
24. Ковалевская Н.П., Завьялова Н.Е., Шаравин Д.Ю., Фомин Д.С. Биологическая активность дерново-подзолистой почвы в длительном опыте с различными агротехническими приемами // *Рос. сел.-хоз. наука.* 2019. № 3. С. 38–41.
25. Dick R.P. A review: Long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters // *Agricult. Ecosyst. Environ.* 1992. V. 40. № 1–4. P. 25–36.
26. Werner M.R., Dindal D.L. Effects of conversion to organic agricultural practices on soil biota // *Amer. J. Alternat. Agricult.* 1990. V. 5. № 1. P. 24–32.
27. Семенов В.М., Кравченко И.К., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Гисперт М., Пардини Дж. Экспериментальное определение активно-го органического вещества в некоторых почвах природных и сельскохозяйственных экосистем // *Почвоведение.* 2006. № 3. С. 282–292.
28. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
29. Кершенс М. Значение содержания гумуса для плодородия почв и круговорота азота // *Почвоведение.* 1992. № 10. С. 122–131.
30. Семенов В.М., Семенова Н.А. Биологически активное органическое вещество в почве: диагностика и способы регулирования запасов // *Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки. Мат-лы III Международ. научн. конф.* 2018. С. 176–177.
31. Тулина А.С. Влияние температуры, влажности и внесения соломы на динамику минерализации органического вещества и почвенные пулы углерода и азота // *Агрохимия.* 2019. № 3. С. 3–18.
32. Шульц Э., Кершенс М. Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформации при помощи экстракции горячей водой // *Почвоведение.* 1998. № 7. С. 890–894.
33. Anderson T.-H., Domsch K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils // *Soil Biol. Biochem.* 1989. V. 21. № 4. P. 471–479.
34. Marinari S., Mancinelli R., Campiglia E., Grego S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy // *Ecol. Indic.* 2006. V. 6. № 4. P. 701–711.

Comparative Evaluation of the Effects of Traditional and Biologized Arable Systems on Agrochemical and Biological Properties and Biological Quality of Organic Matter of Gray Forest Soil in Vladimir Opolye

I. V. Rusakova

*All-Russian Research Institute for Organic Fertilizers and Peat – branch of Upper Volga Federal Agrarian Research Center
ul. Pryanishnikova 2, Vyatkinskoye, Sudogda district, Vladimir region 601390, Russia
E-mail: rusakova.iv@yandex.ru*

In the field conditions of the Vladimir Opolye, we assessed the effects of biologized farming system (BS) on changes in the agrochemical and biological fertility properties of gray forest soil, as compared to the traditional (conventional) farming system (TS) used in this region and fallow soils (FS) with meadow-herbaceous vegetation. We found that a long-term use of biologized agricultural techniques (using of cattle manure and straw, reduction of mineral fertilizer doses, and combined soil-protection tillage) had a much greater effect on biological properties and the soil organic (SOM) quality than on agrochemical parameters. At close pH values, hydrolytic acidity, and the content of mobile forms of phosphorus and potassium in arable layer in land plots using the BS, as compared to the TS, there was a significant increase in the provision of soil with readily degradable and biologically available organic matter: potentially mineralizable (C_{pm}) and transformable (C_{trans}) carbon – 1.48 times; water-soluble (C_w , C_{chw}) and labile (C_{lab}) carbon – 1.12 to 1.18 times, which created more favorable conditions for the soil microflora's vital functions and an increase in its activity and biomass. Thus, the arable layer in fields with the BS versus the TS featured significantly higher parameters characterizing the soil biogenicity: the number of physiological groups of microorganisms (PGM) – 1.21 to 4.05 times; the microbial biomass content (C_{micr}) – 1.32 times; the organic matter mineralization intensity and $C-CO_2$ production amount – 1.49 times. At the same time, we have recorded no significant difference between the TS and the BS in terms of the gross organic carbon content in the arable layer. The fallow soil ecosystem was superior to the BS in terms of the studied parameters of the biological activity and d biological quality of organic matter.

Key words: biologized farming system, agrochemical, biological properties, biological quality of organic matter.

УДК 631.41:631.445.4(470.32)

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМОВ СЕГРЕГАЦИОННЫХ В АГРОЛЕСОЛАНДШАФТАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ¹

© 2021 г. В. А. Беспалов

Воронежский федеральный аграрный научный центр имени В.В. Докучаева
397463 Воронежская обл., Таловский р-н, пос. 2-го участка Института им. Докучаева, кварт. 5, 81, Россия

E-mail: vabespalov@bk.ru

Поступила в редакцию 11.03.2021 г.

После доработки 07.04.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Проведено изучение эволюционных изменений основных свойств черноземов Центрального Черноземья в условиях агроценозов и ненарушенных экосистем в зависимости от влияния агрогенных и агролесомелиоративных факторов. Агрогенное влияние рассматривали на примере степных (залежных) угодий, введенных в сельскохозяйственное производство. Под лесомелиоративным воздействием понимали влияние полевосадовой лесной полосы на почвенный покров. Показано, что черноземы Каменной Степи характеризуются значительным пространственным варьированием основных показателей почвенного плодородия. Увеличение длительности антропогенного использования черноземов приводило к существенному снижению гумусового потенциала почв с одновременным уменьшением пространственного варьирования, обусловленного гомогенизацией пахотного горизонта. Коэффициент вариации содержания гумуса в слое 0–10 см почвы уменьшался на пашне по сравнению с залежью и лесной полосой соответственно с 7.21 и 8.12 до 3.63%. Содержание гумуса на пашне в слое 0–10 см почвы уменьшилось с 11.0 до 7.42% по сравнению с залежью. Агрогенное и лесомелиоративное воздействие сопровождалось изменением состава гумуса исследованных черноземных почв. В верхних слоях почвы (0–10 и 10–20 см) отношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ увеличивалось на пашне и в лесной полосе до 4.78–6.71 по сравнению с залежью, в нижних слоях (20–40 см), наоборот, происходило уменьшение этого отношения. Отмечено также уменьшение содержания негидролизующего остатка (в % от общего углерода) в почвах пашни по сравнению с залежью в среднем с 30 до 10%. Степень гумификации в лесной полосе и на пашне увеличивалась по сравнению с залежью с 56 до 58 и 75% соответственно. При введении залежи в сельскохозяйственное и лесомелиоративное использование отмечено перераспределение состава обменных оснований почвы не только в пространстве, но и с глубиной. В верхних слоях (0–10 см) максимальное содержание обменного кальция выявлено в почвах лесной полосы, минимальное – на пашне. С глубиной (20–40 см) минимальное содержание магния отмечено в залежи. Длительное агрогенное и лесомелиоративное воздействие на черноземные почвы сопровождалось определенными изменениями кислотности почв. Во всех исследованных объектах, кроме пашни, реакция почвенной среды за несколько десятилетий смещалась в щелочную сторону на 0.07–0.55 ед. рН. Были рассчитаны некоторые статистические характеристики распределения основных физико-химических показателей и показателей гумусного состояния черноземов. На их основе были построены изоплеты двумерного распределения показателей основных свойств черноземных почв изученного опытного участка.

Ключевые слова: чернозем, гумус, состав гумуса, обменные основания, показатели кислотности, Каменная Степь.

DOI: 10.31857/S0002188121120048

ВВЕДЕНИЕ

Проведенные исследования последних лет в Центрально-Черноземном регионе России показали, что сельскохозяйственное использование почв приводит к существенным изменениям их состава и ряда свойств, что отражается на главном

почвенном качестве – плодородии [1–10]. Изучение влияния длительности сельскохозяйственного использования актуально и является частью проблемы трансформации свойств и режимов почв в результате различных антропогенных воздействий, которые до настоящего времени недостаточно изучены [11, 12].

Особенно остро эта проблема стоит в Центрально-Черноземной зоне (ЦЧЗ) с длительным

¹ Работа выполнена в рамках государственного задания на 2018–2020 гг.

периодом антропогенного воздействия и высокой распаханностью территории. Почвы региона подвержены периодическим стрессовым антропогенным и природным нагрузкам. Не является исключением и Каменная Степь, где почвы подвержены нагрузкам уже более 100 лет. В последние десятилетия значительный ущерб почвенному покрову наносят нерациональное ведение хозяйства, нарушения земледельческих технологий, связанных с изменившейся экономической ситуацией в стране и ухудшением экологических условий.

Это приводит к изменению многих физико-химических свойств черноземов. Отмечено снижение содержания гумуса, насыщенности почвенного поглощающего комплекса (ППК) обменными основаниями, показателей эффективного плодородия почв. Нарушается водный баланс в связи с трансформацией физических свойств черноземов в худшую сторону. Поэтому необходимо как можно более эффективно способствовать сохранению почвенного плодородия [13].

Важно отметить, что на состояние почвенного покрова влияет не только антропогенное, но и лесомелиоративное воздействие. Таким образом, оценка комплексного характера этих влияний на почву является приоритетным направлением современного почвоведения [14–16]. Проведенные исследования в Каменной Степи выявили положительное влияние лесных насаждений на физические свойства черноземов [17–19].

Установлено, что под влиянием лесных полос и при введении в сельскохозяйственное использование залежных угодий происходит перегруппировка численности почвенных агрегатов, но по различному сценарию. Доказано, что показатели плотности сложения, определенные на различных глубинах на участках объекта, увеличивались в ряду залежь–лесополоса–пашня [20].

Вовлечение в сельскохозяйственное производство степных (залежных) угодий приводит к заметному изменению количественных и качественных составляющих ППК. Все исследованные участки лесостепных черноземов характеризуются четко выраженным пространственным варьированием содержания обменных оснований в почве. В пахотном слое черноземов Каменной Степи в последние десятилетия происходило уменьшение доли кальция в составе ППК с 45–62 до 26–32 ммоль (экв)/100 г и увеличение доли поглощенных магния и натрия до 6.6–8.6 и 0.7 ммоль (экв)/100 г соответственно [21].

Для определения более достоверного изменения свойств черноземов при длительном сельскохозяйственном и лесомелиоративном использо-

вании актуально изучение всех свойств и режимов в единой системе и соотношении их с природными почвами. Только такой комплексный подход может отразить реальную картину влияния длительности распашки для научного обоснования рационального использования и сохранения плодородия почв [11].

Для разработки эффективных мер улучшения почвенного плодородия необходимы количественные показатели оценки основных свойств почвы. Необходимо понять, как эти свойства меняются под действием лесомелиоративного и агрогенного воздействия, как нивелировать негативные последствия этих воздействий. Цель работы — оценка эволюционных изменений основных свойств черноземных почв в различных элементах агролесоландшафта Центрального Черноземья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки эволюционных изменений основных свойств черноземных почв в агролесоландшафтах в результате длительного антропогенного и лесомелиоративного воздействия в 2018–2020 гг. в отделе агропочвоведения Воронежского ФАНЦ им. В.В. Докучаева была осуществлена закладка опытного участка в пределах агролесоландшафта площадью 1.2 га. Были выбраны следующие объекты, входящие в агролесоландшафт: залежь косимая 1882 г. заповедника № 1, лесополоса № 40, пашня 1952 г. распашки (рис. 1). Образцы на участке были отобраны из 64 точек опробования. Почвенный покров объектов исследования представлен черноземом сегрегационным (обыкновенным по классификации 1977 г.). На опытный участок была наложена сетка скважин с ячейкой 25 на 25 м. В почве во всех вариантах исследования образцы отбирали с глубины 0–10; 10–20 и 20–40 см. Для химических анализов взятие почвенных образцов производили ручным буром, для определения структурного состава и плотности сложения почвы — согласно общепринятым методикам.

Заповедник № 1 расположен между лесной полосой № 40 (с запада) и южным селекционным севооборотом (с востока). Косимая залежь с 1882 г. — один из трех участков заповедника площадью 10.7 га. Она представлена степной разнотравно-злаковой растительностью, подвергающейся ежегодному скашиванию.

Лесная полоса № 40 полевой защиты назначения посажена Н.А. Михайловым в 1903 г., ее ширина — 106 м, длина — 750 м. Это самая широкая лесная полоса в оазисе, заложенная как основная ветроударная и водорегулирующая на водоразде-



Рис. 1. Расположение опытного участка в Каменной Степи.

ле двух основных балок — Таловой и Озерки. Это интересный опыт по изучению совместного выращивания дуба обыкновенного с другими древесно-кустарниковыми породами [22].

Участок пашни, эксплуатируемый с 1952 г., находится западнее лесной полосы № 40. После введения в эксплуатацию его использовали для возделывания различных сельскохозяйственных культур, в том числе озимой пшеницы и кукурузы. Сельскохозяйственное использование данного пахотного участка считаем антропогенным воздействием на почву.

В качестве дополнительных вариантов изучали западную и восточную опушки лесной полосы № 40, которые представлены кленом ясенелистным. Ширина опушек за последние 2 десятилетия (с момента прекращения рубок ухода) достигла 20–25 м. Восточная опушка нарастает в сторону залежи, западная — в сторону пашни.

Аналитические анализы проводили в лаборатории агропочвоведения Воронежского ФАНЦ им. В.В. Докучаева. Содержание гумуса определяли по методу Тюрина в модификации Симак-овой (ГОСТ 26213-91), качественный состав гумуса — по методу Тюрина в модификации Пономаревой—Плотниковой. Содержание обменных кальция и магния определяли трилометрическим методом по методике Почвенного института, величину pH_{KCl} (1.0 н. KCl) и pH_{H_2O} — потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), гидролитическую

кислотность — по Каппену (ГОСТ 26212-91). Структурный состав почв определяли по Саввинову (фракционирование почвы в воздушно-сухом состоянии), плотность сложения почвы — методом взятия почвенных проб с ненарушенным сложением с помощью режущих колец [23].

Все данные, полученные экспериментально, подвергли статистической обработке корреляционным и дисперсионным методами с помощью программы Microsoft Excel. Для пространственного отображения результатов использовали геостатистические возможности пакета Surfer — V. 9.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные собственные исследования изменения содержания гумуса в черноземных почвах Каменной Степи выявили, что этот показатель очень динамичен как в пространстве, так и во времени. По нашим данным, наиболее высоким содержанием гумуса характеризовались биоценозы, находящиеся в режиме залежи, а также почвы лесных полос.

Интенсивный биологический круговорот минеральных веществ под покровом травянистой растительности способствует максимальному накоплению гумусовых веществ, биофильных элементов в горизонтах миграционно-мицелярных черноземов. Накопление гумусовых веществ является важнейшим (исходным) показателем почвообразовательного процесса и плодородия почв [24].

Показано, что все исследованные участки лесостепных черноземов характеризуются четко выраженным пространственным варьированием содержания гумуса (табл. 1). При рассмотрении показателей содержания гумуса можно констатировать, что в верхнем слое 0–10 см почвы лесной полосы его среднее содержание увеличилось ($12.6 \pm 0.3\%$) по сравнению с залежью ($11.0 \pm 0.5\%$). Это свидетельствовало о положительном лесомелиоративном влиянии старовозрастной лесной полосы на гумусное состояние черноземных почв.

Рассматривая среднее содержание гумуса на опушках (западной и восточной), отметили близкие его величины для восточной опушки ($10.6 \pm 0.8\%$) по сравнению с залежью. Сама восточная опушка с порослью клена образовалась относительно недавно, что не сильно отразилось на изменении содержания гумуса в почве. Показатели содержания гумуса в почве на западной опушке лесной полосы № 40, напротив, сильно уменьшились ($8.57 \pm 0.26\%$) по сравнению с залежью. Это можно объяснить тем, что в течение продолжительного времени в этом месте были организованы подъездные пути для осуществления рубок ухода с использованием тяжелой техники. Переуплотнение почвы явно сказалось на ухудшении гумусного состояния почвы. Минимальные средние величины содержания гумуса отмечены для пашни — $7.42 \pm 0.11\%$. Таким образом, введение в сельскохозяйственное использование залежных угодий приводило к уменьшению содержания гумуса с 11 до 7%.

Уменьшение содержания гумуса при распашке почв естественных биоценозов неизбежно. Эти процессы связаны с уменьшением количества растительных и корневых остатков при усилении минерализации органического вещества, вызванного ежегодным перемешиванием пахотного слоя. Положительной стороной этого процесса является увеличение подвижности и доступности питательных веществ, отрицательной — ухудшение водно-физических свойств почвы [25].

Рассматривая коэффициент вариации содержания гумуса в слое почвы 0–10 см, отметим, что он уменьшался на пашне по сравнению с залежью и лесной полосой (с 7.21 и 8.12% соответственно до 3.63%).

Антропогенное и лесомелиоративное воздействие сопровождалось изменением состава гумуса в слое 0–10 см. Отмечено увеличение отношения $C_{ГК} : C_{ФК}$ с 4.20 в залежи до 4.78–6.71 в лесной полосе и опушках. Для пашни это отношение увеличилось до 5.17 по сравнению с залежью. Рас-

сматривая содержания негидролизующего остатка (в % от общего углерода), отмечали его уменьшение на пашне по сравнению с залежью с 30 до 10%. В почвах лесной полосы содержание негидролизующего остатка осталось на том же уровне, что и в залежи — 31%. Отмечено, что степень гумификации во всех объектах исследования осталась на прежнем, по сравнению с залежью, высоком уровне. Максимальная степень гумификации выявлена в почвах пашни — 75%, против 56% в залежи.

Таким образом, при введении залежных участков в сельскохозяйственное использование на начальном этапе наблюдали уменьшение интервала распределения содержания гумуса в верхнем пахотном слое почвы. Причем данная закономерность была характерна для всех исследованных слоев почв: 0–10, 10–20 и 20–40 см (табл. 1–3). Как следствие, отмечено сужение интервала между минимумом и максимумом показателя, т.е. уменьшалось варьирование содержания гумуса на участке 1952 г. распашки по сравнению с косимой залежью и лесной полосой. Это было связано с тем, что при ежегодной вспашке происходила гомогенизация гумусового материала, его перемешивание в пахотном слое, и, следовательно, пестрота плодородия уменьшалась. Данное утверждение согласовалось с величинами стандартного отклонения и ошибки средней, которые уменьшались в вариантах от залежи косимой к пашне 1952 г. распашки.

С увеличением длительности антропогенного воздействия в вариантах происходило изменение коэффициента вариации распределения содержания гумуса, т.е. пестрота плодородия при длительном культурном освоении агроландшафтов уменьшалась [25].

При рассмотрении показателей содержания гумуса в слое 10–20 см (табл. 2) почвы лесной полосы можно отметить небольшое снижение средних показателей ($9.12 \pm 0.23\%$) по сравнению с залежью ($9.76 \pm 0.28\%$). Это свидетельствовало о том, что с глубиной содержание гумуса в почве лесной полосы уменьшалось быстрее, чем в залежи. Рассматривая средние величины содержания гумуса на опушках (восточной и западной), отмечали их близкие показатели по сравнению со слоем почвы 0–10 см. Минимальное среднее содержание гумуса выявлено также в почве пашни: $7.32 \pm 0.08\%$.

Аналогично со слоем почвы 0–10 см можно отметить, что коэффициент вариации содержания гумуса в слое почвы 10–20 см также уменьшался в варианте пашни по сравнению с вариантами за-

Таблица 1. Гумусное состояние почв в слое 0–10 см (2018–2020 гг.)

Статистические показатели	Гумус	C _{общ}	C _{орг}	C _{ГК}	C _{ФК}	C _{ГК} : C _{ФК}	Гумин	Степень гумификации органического вещества	Гумин : C _{общ}
	%						%		
Залежь 1882 г.									
Средние	11.0	6.39	4.46	3.59	0.86	4.2	1.94	56.4	30.1
Стандартная ошибка	0.46	0.27	0.14	0.08	0.06	0.23	0.31	3.1	3.91
Стандартное отклонение	0.79	0.46	0.24	0.14	0.11	0.40	0.54	5.4	6.76
Интервал	1.54	0.89	0.46	0.25	0.22	0.79	1.01	10.0	13.3
Коэффициент вариации	7.21	7.21	5.43	3.92	12.8	9.46	27.6	9.6	22.5
Опушка с восточной стороны лесополосы № 40									
Средние	10.6	6.14	3.96	3.26	0.701	4.78	2.18	53.3	35.3
Стандартная ошибка	0.77	0.45	0.21	0.165	0.087	0.62	0.24	1.82	1.32
Стандартное отклонение	1.33	0.77	0.36	0.286	0.151	1.07	0.42	3.16	2.29
Интервал	2.65	1.54	0.71	0.525	0.298	2.00	0.825	6.11	4.51
Коэффициент вариации	12.6	12.6	8.99	8.79	21.5	22.5	19.1	5.93	6.5
Лесополоса № 40									
Средние	12.6	7.32	5.06	4.26	0.798	5.44	2.27	58.2	30.8
Стандартная ошибка	0.34	0.20	0.16	0.156	0.038	0.34	0.19	1.86	2.16
Стандартное отклонение	1.02	0.59	0.48	0.467	0.113	1.01	0.58	5.58	6.47
Интервал	3.79	2.20	1.38	1.29	0.343	2.72	1.78	17.4	20.8
Коэф. вариации	8.12	8.11	9.50	11.0	14.2	18.5	25.7	9.59	21.0
Опушка с западной стороны лесополосы № 40									
Средние	8.57	4.97	3.60	3.04	0.563	6.71	1.37	60.9	27.7
Стандартная ошибка	0.26	0.15	0.25	0.354	0.172	2.36	0.10	5.56	2.79
Стандартное отклонение	0.45	0.26	0.43	0.613	0.298	4.08	0.18	9.62	4.84
Интервал	0.90	0.52	0.84	1.15	0.562	8.13	0.32	19.0	9.17
Коэффициент вариации	5.26	5.26	11.9	20.2	53.0	60.9	13.0	15.8	17.5
Пашня 1952 г. распашки									
Средние	7.42	4.30	3.87	3.21	0.654	5.17	0.436	74.7	10.1
Стандартная ошибка	0.11	0.06	0.08	0.064	0.062	0.59	0.08	1.09	1.93
Стандартное отклонение	0.27	0.16	0.20	0.157	0.151	1.44	0.20	2.67	4.72
Интервал	0.73	0.42	0.55	0.439	0.348	3.73	0.54	6.49	12.7
Коэффициент вариации	3.63	3.62	5.09	4.88	23.0	27.8	46.8	3.58	46.9

Таблица 2. Гумусное состояние почв в слое 10–20 см (2018–2020 гг.)

Статистические показатели	Гумус	C _{общ}	C _{орг}	C _{ГК}	C _{ФК}	C _{ГК} : C _{ФК}	Гумин	Степень гумификации органического вещества	Гумин : C _{общ}
	%						%		
Залежь 1882 г.									
Средние	9.76	5.66	4.08	3.104	0.974	3.19	1.58	55.13	27.48
Стандартная ошибка	0.68	0.40	0.10	0.102	0.002	0.10	0.29	2.19	3.44
Стандартное отклонение	1.18	0.68	0.18	0.176	0.003	0.17	0.51	3.80	5.96
Интервал	2.29	1.33	0.35	0.348	0.006	0.34	0.98	7.10	11.23
Коэффициент вариации	12.09	12.1	4.39	5.68	0.33	5.41	32.03	6.89	21.70
Опушка с восточной стороны лесополосы № 40									
Средние	8.83	5.12	3.70	2.852	0.853	3.37	1.42	55.45	27.80
Стандартная ошибка	0.33	0.19	0.28	0.302	0.030	0.44	0.15	4.33	3.58
Стандартное отклонение	0.57	0.33	0.49	0.523	0.052	0.76	0.27	7.50	6.21
Интервал	1.11	0.644	0.93	0.970	0.104	1.36	0.50	14.78	12.39
Коэффициент вариации	6.40	6.40	13.14	18.36	6.13	22.42	18.93	13.53	22.34
Лесополоса № 40									
Средние	9.12	5.29	4.49	3.755	0.731	7.91	0.80	70.92	15.31
Стандартная ошибка	0.23	0.13	0.18	0.152	0.083	3.26	0.11	2.00	2.18
Стандартное отклонение	0.68	0.39	0.54	0.457	0.248	9.77	0.34	6.01	6.55
Интервал	1.76	1.02	1.36	1.245	0.796	30.05	1.05	18.45	20.02
Коэффициент вариации	7.42	7.42	12.0	12.16	33.93	123.49	42.28	8.47	42.80
Опушка с западной стороны лесополосы № 40									
Средние	8.21	4.76	3.32	2.678	0.64	5.84	1.44	56.11	30.75
Стандартная ошибка	0.37	0.21	0.39	0.240	0.209	2.59	0.18	3.15	5.00
Стандартное отклонение	0.63	0.37	0.67	0.415	0.362	4.49	0.31	5.46	8.66
Интервал	1.26	0.73	1.32	0.773	0.673	8.02	0.59	10.88	16.93
Коэффициент вариации	7.71	7.71	20.30	15.51	56.51	76.93	21.51	9.74	28.15
Пашня 1952 г. распахки									
Средние	7.32	4.25	3.63	2.931	0.711	4.24	0.61	69.07	14.38
Стандартная ошибка	0.08	0.05	0.09	0.051	0.056	0.32	0.10	1.39	2.39
Стандартное отклонение	0.20	0.12	0.21	0.125	0.137	0.78	0.25	3.40	5.86
Интервал	0.57	0.33	0.56	0.335	0.337	2.15	0.69	10.40	16.42
Коэффициент вариации	2.74	2.74	5.78	4.25	19.22	18.28	41.08	4.92	40.74

Таблица 3. Гумусное состояние почв в слое 20–40 см (2018–2020 гг.)

Статистические показатели	Гумус	C _{общ}	C _{орг}	C _{ГК}	C _{ФК}	C _{ГК} : C _{ФК}	Гумин	Степень гумификации органического вещества	Гумин : C _{общ}
	%						%		
Залежь 1882 г.									
Средние	8.16	4.73	3.09	2.55	0.539	6.00	1.64	53.8	34.8
Стандартная ошибка	0.08	0.05	0.39	0.253	0.166	2.06	0.34	4.80	7.55
Стандартное отклонение	0.14	0.08	0.66	0.439	0.287	3.57	0.59	8.31	13.1
Интервал	0.27	0.16	1.30	0.870	0.543	6.76	1.15	16.5	25.4
Коэффициент вариации	1.74	1.74	21.50	17.2	53.2	59.5	36.1	15.4	37.6
Опушка с восточной стороны лесополосы № 40									
Средние	7.56	4.39	3.10	2.32	0.777	3.00	1.29	51.8	30.2
Стандартная ошибка	0.69	0.40	0.50	0.478	0.051	0.57	0.10	6.34	4.94
Стандартное отклонение	1.20	0.70	0.86	0.827	0.088	0.99	0.17	11.0	8.56
Интервал	2.40	1.39	1.72	1.65	0.174	1.77	0.33	21.6	17.1
Коэффициент вариации	15.9	15.9	27.8	35.6	11.3	32.9	13.6	21.2	28.3
Лесополоса № 40									
Средние	8.00	4.64	3.75	3.07	0.680	5.32	0.89	66.3	19.0
Стандартная ошибка	0.20	0.11	0.13	0.085	0.076	0.97	0.12	1.05	2.47
Стандартное отклонение	0.59	0.34	0.39	0.258	0.227	2.91	0.35	3.16	7.40
Интервал	1.77	1.03	1.26	0.798	0.684	9.23	1.05	9.21	21.1
Коэффициент вариации	7.37	7.37	10.3	8.32	33.3	54.6	39.4	4.77	38.9
Опушка с западной стороны лесополосы № 40									
Средние	7.77	4.51	2.92	2.47	0.456	7.21	1.58	54.7	35.2
Стандартная ошибка	0.31	0.18	0.16	0.130	0.174	2.60	0.14	1.22	2.64
Стандартное отклонение	0.54	0.31	0.28	0.225	0.302	4.51	0.24	2.11	4.57
Интервал	1.06	0.61	0.57	0.433	0.571	8.96	0.48	4.23	8.54
Коэффициент вариации	6.90	6.89	9.75	9.12	66.3	62.4	15.2	3.87	13.0
Пашня 1952 г. распашки									
Средние	7.20	4.18	3.26	2.68	0.581	4.84	0.92	64.4	21.8
Стандартная ошибка	0.10	0.06	0.09	0.103	0.054	0.51	0.13	3.22	3.02
Стандартное отклонение	0.23	0.14	0.23	0.252	0.132	1.26	0.33	7.88	7.40
Интервал	0.68	0.39	0.61	0.599	0.341	3.35	0.83	18.2	19.1
Коэффициент вариации	3.25	3.25	7.05	9.39	22.7	26.0	35.6	12.2	34.0

лежи и лесной полосы (с 12.1 и 7.42 соответственно до 2.74%). Учитывая, что коэффициент вариации содержания гумуса в варианте пашни стал еще меньше, можно утверждать, что с глубиной на пашне пестрота плодородия снижалась еще сильнее по сравнению с залежью и лесной полосой.

Для слоя почвы 10–20 см антропогенное воздействие также сопровождалось изменением состава гумуса. Отношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ увеличивалось в вариантах лесной полосы и опушек с 3.19 до 3.37–7.91 по сравнению с залежью. На пашне по сравнению с залежью также было отмечено небольшое увеличение отношения $C_{ГК} : C_{ФК}$ с 3.19 до 4.24. Для слоя почвы 10–20 см выявлено уменьшение содержания негидролизующего остатка (в % от общего углерода) на пашне и в лесной полосе по сравнению с залежью с 27 до 14 и 15% соответственно. Степень гумификации в почвах пашни и лесной полосы увеличилась по сравнению с залежью с 55 до 70%.

При рассмотрении содержания гумуса для слоя почвы 20–40 см (табл. 3), отметили его максимальное среднее содержание в залежи — $8.16 \pm 0.08\%$, в лесной полосе и на опушках средние величины этого показателя были близки к 8%, т.е. лесомелиоративное воздействие на почву было благоприятным и увеличивало ее плодородие. Поэтому средние показатели содержания гумуса в этом случае не сильно уменьшались по сравнению с залежью. На пашне под действием агрогенного воздействия содержание гумуса уменьшилось до $7.20 \pm 0.10\%$.

В слое 20–40 см почвы антропогенное и лесомелиоративное воздействие также сопровождалось изменением состава гумуса. В отличие от верхних двух слоев отношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ в этом слое, наоборот, уменьшилось в лесной полосе с 6.00 до 5.32, на пашне — с 6.00 до 4.84 по сравнению с залежью. Также отмечено уменьшение содержания негидролизующего остатка (в % от общего углерода) в почвах лесной полосы и пашни по сравнению с залежью в среднем с 35 до 19 и 22% соответственно. Степень гумификации на пашне и в лесной полосе возрастала по сравнению с залежью в среднем от 54 до 65 и 66% соответственно.

Необходимо отметить, что для повышения запасов гумуса и элементов питания в почвах целесообразно использовать пожнивные посевы сидеральных культур. Наиболее значительного эффекта можно добиться при использовании в качестве пожнивных не чистых, а экологически совместимых смешанных посевов культур, способных оказать положительное воздействие на

весь комплекс свойств агрочернозема, определяющих его плодородие [26].

При сравнении средних величин содержания гумуса в слоях почвы 0–10, 10–20 и 20–40 см (по t -критерию Стьюдента) получены достоверные отличия этого показателя в варианте пашни по сравнению с вариантами косимой залежи и лесной полосы. Максимальное различие было отмечено между пашней и лесной полосой ($t_{расч} = 6.13 > t_{табл} = 2.0$), минимальное — между пашней и косимой залежью ($t_{расч} = 5.11 > t_{табл} = 2.1$). Для вариантов лесная полоса и косимая залежь существенных различий найдено не было ($t_{расч} = 1.84 < t_{табл} = 2.0$).

В составе почвенно-поглощающего комплекса черноземов Каменной Степи в последние десятилетия отмечено перераспределение состава обменных оснований — снижение как абсолютных, так и относительных величин содержания поглощенного кальция и увеличение доли поглощенных магния и натрия [21]. По нашим последним данным 2018–2020 гг., среднее содержание обменного кальция и магния в почве залежи косимой в слое 0–10 см было равно 26.8 ± 1.5 и 9.50 ± 1.99 ммоль(экв)/100 г соответственно (табл. 4). В варианте восточной опушки лесной полосы отмечены близкие содержания обменного кальция, но количество обменного магния в этом случае было больше — 10.2 ± 2.3 ммоль(экв)/100 г. Это связано, по нашему мнению, с влиянием нарастающей молодой поросли клена ясенелистного, что способствовало накоплению более подвижного обменного магния. Максимальное среднее содержание обменного кальция отмечено для лесной полосы — 31.4 ± 1.1 ммоль(экв)/100 г, что свидетельствовало о положительном лесомелиоративном влиянии старовозрастной лесной полосы № 40. На западной опушке его содержание было равно 28.3 ± 1.3 ммоль(экв)/100 г, что немного меньше по сравнению с лесной полосой, но больше, чем в почве залежи (26.8 ± 1.5 ммоль(экв)/100 г) и восточной опушки (26.6 ± 1.1 ммоль(экв)/100 г). Минимальные показатели отмечены в варианте пашни (26.3 ± 1.2 ммоль(экв)/100 г), но за счет увеличения доли обменного магния и максимальной гидролитической кислотности среди всех вариантов общая сумма обменных оснований была достаточно высокой — ≈ 40 ммоль(экв)/100 г.

С глубиной распределение оснований в объектах исследования немного менялось. Для слоя почвы 10–20 см максимальное содержание обменного кальция отмечено уже не в варианте лесной полосы, а на опушках — 30.3 ± 1.9 и 29.3 ± 0.9 ммоль(экв)/100 г для западной и восточной опушек соответственно. Далее следуют варианты

Таблица 4. Содержание обменных оснований и показатели кислотности почв опыта (средние, 2018–2020 гг.)

Вариант*	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H _г	pH _{KCl}	pH _{H₂O}
	ммоль(экв)/100 г				
0—10 см					
1	26.8 ± 1.5	9.50 ± 1.99	2.58 ± 0.12	6.60 ± 0.01	6.95 ± 0.01
2	26.6 ± 1.1	10.2 ± 2.3	1.72 ± 0.44	7.06 ± 0.23	7.15 ± 0.12
3	31.4 ± 1.1	8.88 ± 0.53	2.93 ± 0.36	6.71 ± 0.12	6.79 ± 0.12
4	28.3 ± 1.3	6.73 ± 1.11	1.56 ± 0.08	6.95 ± 0.06	7.27 ± 0.03
5	26.3 ± 1.2	8.97 ± 0.76	5.90±0.48	5.49 ± 0.10	6.43 ± 0.08
10—20 см					
1	27.5 ± 3.8	11.1 ± 1.1	2.98 ± 1.19	6.60 ± 0.51	7.02 ± 0.28
2	29.3 ± 0.9	7.87 ± 0.78	1.80 ± 0.87	6.91 ± 0.35	7.18 ± 0.20
3	26.8 ± 1.1	9.03 ± 0.45	8.78 ± 1.67	5.43 ± 0.27	6.28 ± 0.18
4	30.3 ± 1.9	9.43 ± 1.19	1.58 ± 0.16	6.95 ± 0.14	7.33 ± 0.08
5	25.4 ± 0.7	7.83 ± 0.67	5.72 ± 0.49	5.48 ± 0.09	6.40 ± 0.07
20—40 см					
1	24.3 ± 1.2	9.07 ± 1.96	3.29 ± 1.24	6.38 ± 0.57	6.96 ± 0.28
2	30.3 ± 2.8	8.17 ± 0.74	1.56 ± 1.09	7.08 ± 0.50	7.35 ± 0.33
3	27.9 ± 0.9	8.92 ± 0.60	8.2 ± 0.91	5.23 ± 0.15	6.28 ± 0.12
4	32.2 ± 0.3	7.53 ± 1.22	1.73 ± 0.61	6.85 ± 0.36	7.32 ± 0.20
5	27.0 ± 0.9	8.62 ± 0.65	5.65 ± 0.62	5.47 ± 0.12	6.45 ± 0.08

*Вариант 1 — залежь 1882 г., 2 — опушка с восточной стороны лесополосы № 40, 3 — лесополоса № 40, 4 — опушка с западной стороны лесополосы № 40, 5 — пашня 1952 г. распахки.

залежи (27.5 ± 3.8 ммоль(экв)/100 г) и лесной полосы (26.8 ± 1.1 ммоль(экв)/100 г), а минимум отмечен также в варианте пашни (25.4 ± 0.7 ммоль(экв)/100 г). Что касается содержания обменного магния, то на этой глубине его максимум обнаружен в почве залежи (11.1 ± 1.1 ммоль(экв)/100 г), а в почве пашни отмечено минимальное его содержание (7.83 ± 0.67 ммоль(экв)/100 г). Близким к нему был этот показатель в варианте восточной опушки (7.87 ± 0.78 ммоль(экв)/100 г), далее следовал вариант лесной полосы (9.03 ± 0.45 ммоль(экв)/100 г), но за счет максимального для данной глубины среднего показателя гидролитической кислотности общее содержание обменных оснований в этом варианте было максимальным и составляло 45 ммоль(экв)/100 г.

Для слоя почвы 20–40 см максимальное содержание обменного кальция отмечено также в вариантах опушек, минимальное — залежи. Что касается содержания обменного магния, то на этой глубине оно постепенно выравнивалось в вариантах всех объектов. Данная зависимость хорошо согласовалась с предыдущими исследованиями состава обменных оснований черноземов Каменной Степи [27]. Таким образом, при введении залежи в сельскохозяйственное и лесомелиоратив-

ное использование выявлено перераспределение состава обменных оснований почвы не только в пространстве, но и с глубиной.

Полученные экспериментальные данные свидетельствовали о том, что длительное агрогенное и лесомелиоративное воздействие на черноземные почвы сопровождалось определенными изменениями кислотности почв. По данным Никаноровой [28], проводившей исследования почв Каменной Степи в 1950-х гг. в рамках экспедиции АН СССР, в пахотном слое почвы средняя величина pH_{H₂O} была равна 6.72, pH_{KCl} — 6.32 ед. Анализируя наши данные, можно заключить, что во всех исследованных объектах, кроме пашни, реакция среды за несколько десятилетий сместилась в щелочную сторону на 0.07–0.55 ед. pH [29].

По нашим данным, минимальные показатели pH_{H₂O} для слоя 0–10 см почвы отмечены в варианте пашни (6.43 ± 0.08), далее pH возрастал в вариантах лесной полосы (6.79 ± 0.12) и залежи (6.95 ± 0.01). Максимум отмечен в варианте западной опушки лесной полосы № 40— 7.27 ± 0.03 ед. Аналогичную закономерность выявили для pH_{KCl}. Минимум также отмечен в варианте пашни — 5.49 ± 0.10 , максимум — в варианте восточной

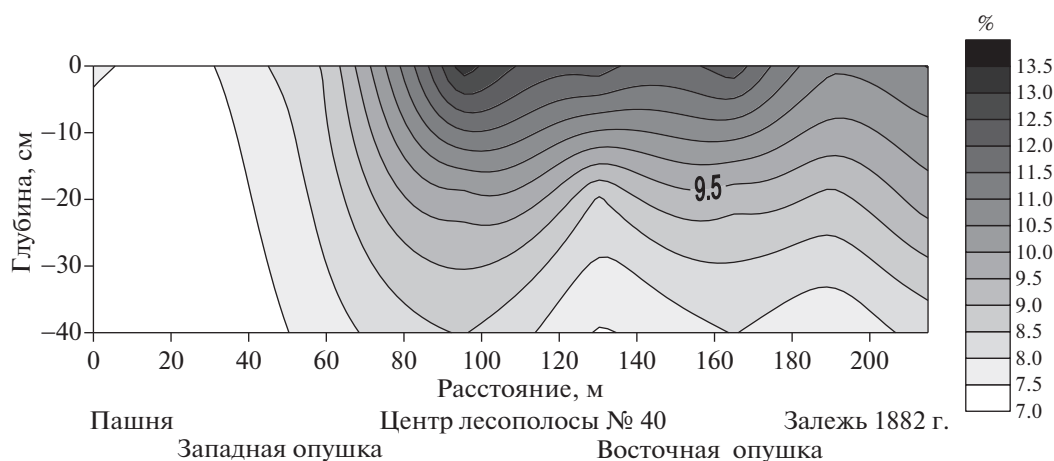


Рис. 2. Изоплета двумерного распределения содержания гумуса, %.

опушки лесной полосы № 40— 7.06 ± 0.23 , варианты залежи и лесной полосы занимали промежуточное положение.

На глубине 10–20 см ситуация менялась. Минимум рН водной и солевой вытяжек отмечен в варианте лесной полосы — 6.28 ± 0.18 и 5.43 ± 0.27 соответственно. Максимум рН водной и солевой вытяжек отмечен в варианте западной опушки — 7.33 ± 0.08 и 6.95 ± 0.14 соответственно. Промежуточное положение занимал вариант залежи. Для слоя 20–40 см, как и для предыдущего, минимум рН водной и солевой вытяжек отмечен в варианте лесной полосы, максимум — в варианте восточной опушки.

При сравнении средних величин водного и солевого рН в слое 0–10 см (по t -критерию Стьюдента) получены достоверные отличия этих показателей в варианте пашни по сравнению с вариантами лесной полосы и косой залежи. Для всех исследованных пар вариантов $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$.

Рассмотрим корреляционные зависимости исследованных показателей. Выявлена средняя корреляционная связь между содержанием гумуса и содержанием обменных кальция и магния ($r = (0.52 \pm 0.03) - (0.62 \pm 0.02)$, $t_r = 17.3 - 31.0 > t_{\text{табл}} = 2.2$). Если рассматривать связь между показателями состава гумуса и обменными основаниями, то высокая связь присутствовала между содержаниями гуминовых кислот и обменным кальцием ($r = 0.75 \pm 0.02$, $t_r = 37.5 > t_{\text{табл}} = 2.2$), а также между содержаниями фульвокислот и обменного магния ($r = 0.70 \pm 0.02$, $t_r = 35.0 > t_{\text{табл}} = 2.2$).

В данных вариантах годом ранее изучили физические свойства черноземов, в частности, фракционно-групповой состав почв [20]. Было установлено, что между исследованными показате-

лями содержания гумуса и структурными отдельностями разного диаметра также существует определенная зависимость. Между отдельностями диаметром от 2 до 5 мм и содержанием гумуса выявлена средняя положительная корреляционная связь ($r = (0.55 \pm 0.03) - (0.64 \pm 0.02)$, $t_r = 18.3 - 32.0 > t_{\text{табл}} = 2.2$). Между содержанием отдельностей > 5 мм в диаметре и содержанием гумуса установлена средняя отрицательная связь ($r = -0.54 \pm 0.03$, $t_r = 18.0 > t_{\text{табл}} = 2.2$). Не установлена корреляция между содержанием более мелких частиц < 1 мм и содержанием гумуса.

Важной особенностью визуализации распределения основных показателей плодородия является построение карт и картосхем варьирования этих показателей в пространстве. Для того чтобы получить локализацию участков с определенными величинами показателей, на основе полученного материала были построены изоплеты двумерного распределения показателей основных свойств черноземных почв изученного опытного участка (рис. 2–4) [30].

Пространственное отображение результатов с помощью геостатистических программ дало возможность визуально оценить распределение не только в пространстве, но и вниз по почвенному профилю таких показателей как содержание гумуса, обменного кальция, магния, а также кислотности. На рисунках четко отмечены области с максимальным и минимальным содержанием компонентов почвенного плодородия для каждого изученного объекта. Полученные данные послужат основой для составления электронных карт по содержанию гумуса и других показателей почвенного плодородия с применением современных информационных технологий, являю-

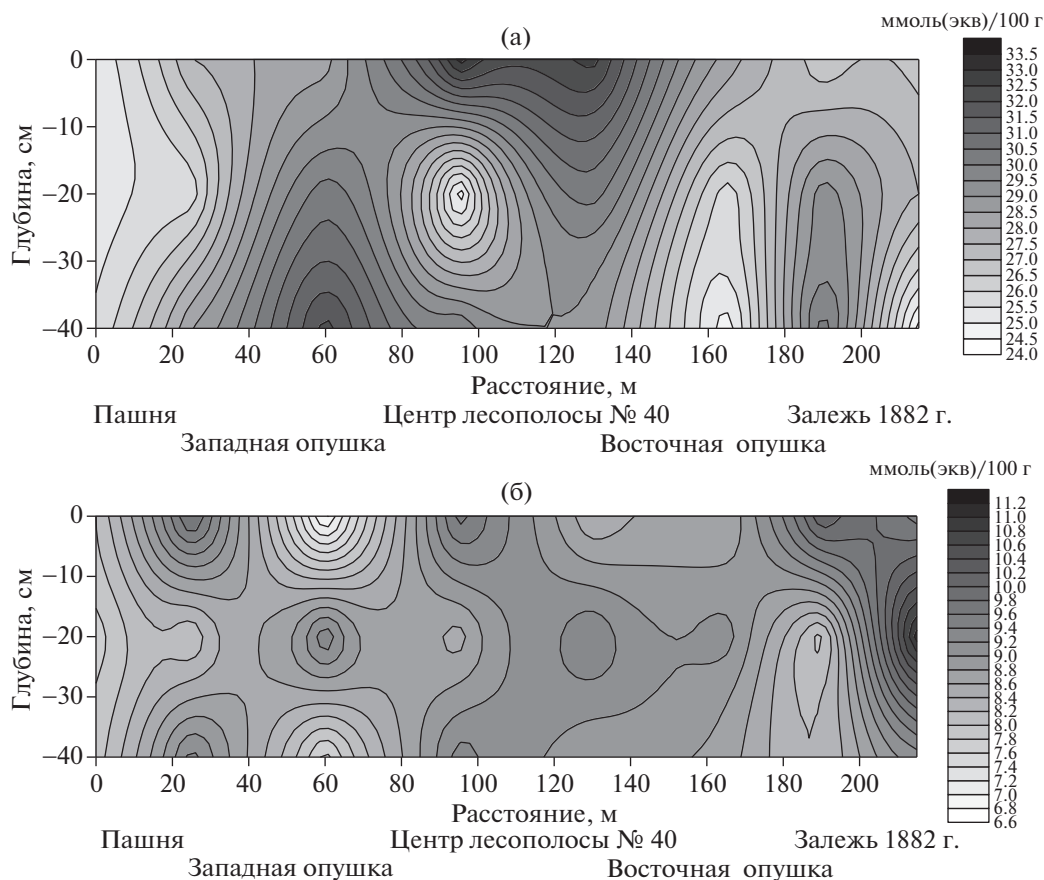


Рис. 3. Изоплета двумерного распределения содержания: (а) — обменного кальция, (б) — обменного магния, ммоль(экв.)/100 г.

щихся теоретической основой для разработки систем точного земледелия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на содержание гумуса в черноземных почвах существенное влияние оказывала длительность и интенсивность антропогенного влияния. Исследование гумусового состояния чернозема залежи, лесной полосы и пашни свидетельствовало об изменении содержания гумуса. Показано, что содержание гумуса в варианте пашни в слое 0–10 см почвы уменьшилось с 11.0 ± 0.5 до $7.42 \pm 0.11\%$ по сравнению с залежью.

Увеличение длительности антропогенного использования черноземов привело к существенному снижению гумусового потенциала почв с одновременным снижением пространственного варьирования, обусловленного гомогенизацией пахотного горизонта. Коэффициент вариации содержания гумуса в слое 0–10 см почвы уменьшался в варианте пашни по сравнению с залежью и лесной полосой с 7.21 и 8.12% соответственно до 3.63%). Учитывая, что коэффициент вариации содержа-

ния гумуса в почве пашни с глубиной становится меньше, пестрота плодородия почвы пашни снижалась с глубиной еще сильнее по сравнению с залежью и лесной полосой.

Агрогенное и лесомелиоративное воздействие сопровождалось изменением состава гумуса исследованных черноземных почв. В верхних слоях почвы (0–10 и 10–20 см) отношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ увеличивалось в вариантах пашни и лесной полосы до 4.78–6.71 по сравнению с залежью, в нижних слоях (20–40 см), наоборот, происходило сужение этого отношения. Отмечено уменьшение содержания негидролизующего остатка (в % от общего углерода) в почвах пашни по сравнению с залежью в среднем с 30 до 10%. В почве лесной полосы его содержание осталось на том же уровне, что и в залежи. Степень гумификации в лесной полосе и на пашне увеличивалась по сравнению с залежью с 56 до 58 и 75% соответственно.

Была обнаружена связь между физическими параметрами (фракционно-групповым составом) и содержанием гумуса в исследованных объектах. Между содержанием отдельных диаметров от

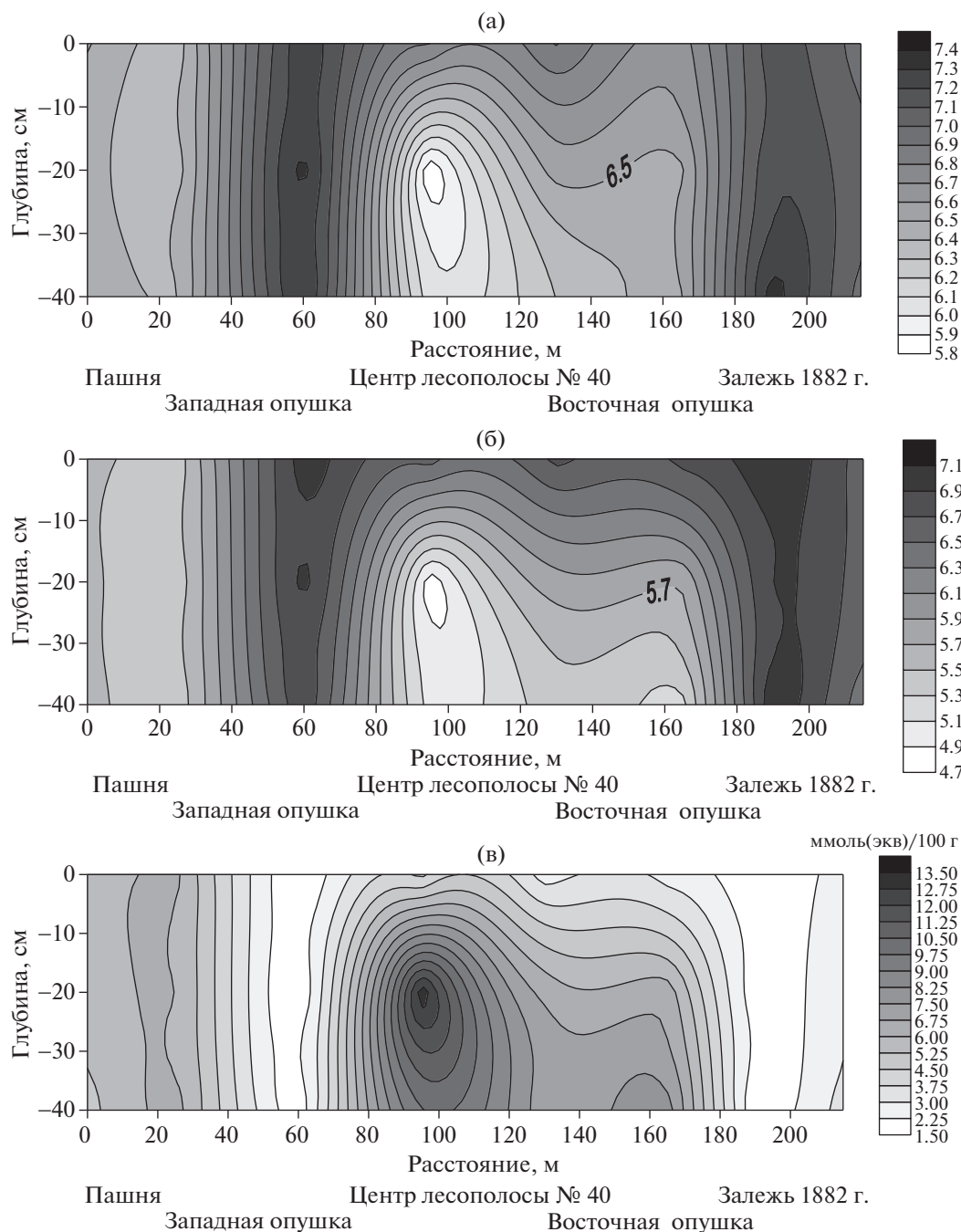


Рис. 4. Изоплета двумерного распределения показателей: (а) – $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, (б) – pH_{KCl} , (в) – гидролитической кислотности, ммоль(экв)/100 г.

2 до 5 мм и содержанием гумуса показана средняя положительная корреляция ($r = (0.55 \pm 0.03) - (0.64 \pm 0.02)$). Между содержанием отдельных >5 мм в диаметре и содержанием гумуса отмечена средняя отрицательная корреляция ($r = -0.54 \pm \pm 0.03$). Между содержанием более мелких частиц <1 мм и содержанием гумуса корреляция отсутствовала.

Показано, что существует средняя корреляционная связь между содержанием гумуса и содер-

жением обменных кальция и магния ($r = (0.52 \pm \pm 0.03) - (0.62 \pm 0.02)$). Если рассматривать связь между показателями состава гумуса и обменными основаниями, то высокая корреляция найдена между содержаниями гуминовых кислот и обменного кальция ($r = 0.75 \pm 0.02$), а также между содержаниями фульвокислот и обменного магния ($r = 0.70 \pm 0.02$).

При введении залежи в сельскохозяйственное и лесомелиоративное использование отмечено

перераспределение состава обменных оснований почвы не только в пространстве, но и с глубиной. В верхнем слое 0–10 см максимальное количество обменного кальция характерно для почв лесной полосы, минимальное — в почве пашни. В слое 20–40 см максимальное содержание обменного кальция было отмечено в почвах опушек, минимальное — в залежи. Содержание обменного магния с глубиной также перераспределялось и постепенно выравнивалось в почвах всех объектов исследования.

Длительное агрогенное и лесомелиоративное воздействие на черноземные почвы сопровождалось определенными изменениями кислотности почв. Реакция среды черноземных почв всех объектов исследования, кроме пашни, за несколько десятилетий сместилось в щелочную сторону на 0.07–0.55 ед. рН.

Были рассчитаны некоторые статистические характеристики распределения основных физико-химических показателей и показателей гумусного состояния черноземов. На основе полученного материала построены изоплеты двумерного распределения основных показателей черноземных почв изученного опытного участка. Полученные данные послужат основой для составления электронных карт содержания гумуса и других показателей почвенного плодородия с применением современных информационных технологий, являющихся теоретической основой для разработки систем точного земледелия.

Результаты исследования углубили и расширили существующие представления о временной динамике органического вещества и других показателей плодородия черноземов Каменной Степи при различной длительности антропогенных воздействий с учетом особенностей их пространственного распределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чеве́рдин Ю.И.* Изменение свойств почв юго-востока Центрального Черноземья под влиянием антропогенного воздействия. Воронеж: Изд-во "Истоки", 2013. 335 с.
2. *Адерихин П.Г.* Почвы Воронежской области, их генезис, свойства и краткая агропроизводственная характеристика. Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1963. 264 с.
3. *Муха В.Д.* Естественнo-антропогенная эволюция почв (общие закономерности и зональные особенности). М.: Колос, 2014. 271 с.
4. *Лебедева И.И., Королева И.Е., Гребенников А.М.* Концепция эволюции черноземов в условиях агроэкосистем // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 18–26.
5. *Королева И.Е.* Освоение черноземов как фактор агроэволюции их плодородия в формате зонально-подзональных природных условий // Мат-лы докл. VI съезда общ-ва почвоведов им. В.В. Докучаева. Кн. 2. Петрозаводск, 2012. С. 480–481.
6. *Иванов А.Л., Лебедева И.И., Гребенников А.М.* Факторы и условия антропогенной трансформации черноземов, методология изучения эволюции почвообразования // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 72. С. 26–46.
7. *Королева И.Е., Лебедева И.И., Гребенников А.М.* Гумусное и азотное состояние целинных и пахотных черноземов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 27–35.
8. *Крупенников И.А.* Типизация антропогенных процессов деградации черноземов // Почвоведение. 2005. № 12. С. 1509–1517.
9. *Пономарева В.В., Николаева Т.А.* Содержание и состав гумуса в черноземах Стрелецкой степи под различными угодьями // Тр. Центр.-Чернозем. заповедника. 1965. Вып. 8. С. 209–235.
10. *Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С., Смирнова Л.Г., Новых Л.Л., Долгих А.В.* Антропогенная эволюция серых лесостепных почв южной части Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2011. № 1. С. 1–13.
11. *Гребенников А.М., Королева И.Е., Титова Т.В., Маркина Л.Г., Чевердин Ю.И., Юдин С.А.* Длительность распашки миграционно-мицеллярных черноземов как фактор агроэволюции их плодородия в условиях Среднерусской степной провинции // Агрохимия. 2017. № 5. С. 12–23.
12. *Добровольский Г.В., Шишов Л.Л., Щербаков А.П.* Состояние, прогноз и повышение плодородия черноземов // Научное наследие В.В. Докучаева и современное земледелие. Ч. 1. М., 1992. С. 24–33.
13. *Беспалов В.А.* Пространственно-временное варьирование основных показателей плодородия черноземов Каменной Степи: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 2012. 24 с.
14. *Адерихин П.Г., Богатырева З.С.* Влияние лесных полос на структуру обыкновенных черноземов Каменной Степи // Почвоведение. 1972. № 2. С. 71–81.
15. *Панников В.Д.* Влияние леса на структуру лесостепных почв и накопление гумуса // Почвоведение. 1977. № 11. С. 116–127.
16. *Чендев Ю.Г., Беспалова Е.С.* Оценка роли лесополос в оптимизации почв и ландшафтов: литературный обзор сведений // Научн. ведомости Белгород. гос. ун-та. Сер. естеств. науки. 2019. Т. 43. № 2. С. 124–133.
17. *Королев В.А., Громовик А.И., Йонко О.А.* Изменение физических свойств почв Каменной Степи под влиянием защитных лесных полос // Почвоведение. 2012. № 3. С. 299–308.
18. *Тихонравова П.И., Перевалов И.А.* Результаты полевых исследований физических свойств черноземов агролесоландшафта "Каменная Степь" // Каменная степь: проблемы изучения почвенного покрова. М., 2007. С. 145–164.
19. *Тихонравова П.И.* К вопросу о структурном составе и сложении почв Каменной Степи // Разнообразие почв Каменной Степи. Научн. тр. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2009. С. 284–298.

20. Турусов В.И., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В. Изменения физических свойств черноземов сегрегационных в агролесоландшафтах Центрального Черноземья // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 4. С. 95–112.
21. Беспалов В.А., Чевердин Ю.И., Титова Т.В. Трансформация почвенно-поглощающего комплекса черноземных почв Каменной Степи при длительном антропогенном и постмелиоративном воздействии // Агрофизика. 2018. № 4. С. 9–16.
22. Мильков Ф.Н., Нестеров А.И., Петров П.Г., Скачков Б.И. Каменная степь: Лесоаграрные ландшафты. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1992. С. 158–181.
23. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
24. Ковда В.А. Минеральный состав растений и почвообразование // Почвоведение. 1956. № 1. С. 36–38.
25. Чевердин Ю.И., Беспалов В.А. Пространственное варьирование содержания гумуса в черноземах Каменной Степи // Плодородие. 2011. № 4. С. 28–29.
26. Гребенников А.М. Изменение содержания обменных форм кальция и магния в типичных черноземах ЦЧО под влиянием фактора смешивания посевов // Агрохимия. 2009. № 3. С. 45–53.
27. Беспалов В.А., Зборищук Ю.Н., Чевердин Ю.И. Пространственное распределение содержания обменных оснований в черноземах Каменной Степи // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2016. № 4. С. 19–23.
28. Никанорова Н.Н. Естественно-исторические условия Каменной Степи и характеристика основных почвенных разностей // Вопросы травопольной системы земледелия. Итоги работ по изучению изменения почв под воздействием комплекса Докучаева–Костычева–Вильямса. Т. 2. М.: АН СССР, 1953. С. 55–204.
29. Чевердин Ю.И., Беспалов В.А. Пространственно-временное варьирование реакции среды черноземных почв Каменной Степи при различных видах и длительности антропогенного воздействия // Достиж. науки и техн. АПК. 2013. № 7. С. 64–66.
30. Беспалов В.А. Пространственно-временное варьирование основных показателей плодородия черноземов Каменной Степи: Дис. ... канд. биол. наук. Каменная Степь, 2012. 209 с.

Changes in the Main Properties of Segregated Chernozems in Agroforest Landscapes of the Central Chernozem Region

V. A. Bespalov

V.V. Dokuchaev Voronezh Federal Agrarian Scientific Center, POS 2 division of the Institute Dokuchaev quart. 5, 81, Voronezh region, Talovsky district 397463, Russia

E-mail: vabespalov@bk.ru

The study of the evolutionary changes in the main properties of the chernozems of the Central Chernozem region in the conditions of agrocenoses and undisturbed ecosystems, depending on the influence of agrogenic and agroforestry factors, was carried out. The agrogenic influence was considered on the example of steppe (fallow) lands introduced into agricultural production. The forest-reclamation effect was understood as the effect of a protective forest strip on the soil cover. It is shown that the chernozems of the Stone Steppe are characterized by a significant spatial variation of the main indicators of soil fertility. An increase in the duration of anthropogenic use of chernozems led to a significant decrease in the humus potential of soils with a simultaneous decrease in spatial variation due to the homogenization of the arable horizon. The coefficient of variation of the humus content in the 0–10 cm layer of soil decreased on arable land compared to the fallow and forest strip, respectively, from 7.21 and 8.12 to 3.63%. The content of humus on arable land in a layer of 0–10 cm of soil decreased from 11.0 to 7.42% compared to the deposit. Agrogenic and forest-reclamation effects were accompanied by a change in the composition of the humus of the studied chernozem soils. In the upper layers of the soil (0–10 and 10–20 cm), the ratio of $C_{GA} : C_{FA}$ increased on arable land and in the forest strip to 4.78–6.71 compared to the deposit, in the lower layers (20–40 cm), on the contrary, there was a decrease in this ratio. There was also a decrease in the content of non-hydrolyzable residue (in % of total carbon) in arable soils compared to the deposit on average from 30 to 10%. The degree of humification in the forest strip and on arable land increased from 56 to 58 and 75%, respectively, compared to the deposit. When the deposit was introduced into agricultural and forest reclamation use, the redistribution of the composition of the exchange bases of the soil was noted not only in space, but also with depth. In the upper layers (0–10 cm), the maximum content of exchangeable calcium was found in the soils of the forest strip, the minimum – on arable land. With a depth of (20–40 cm), the minimum magnesium content is noted in the deposit. Long-term agrogenic and forest-reclamation effects on chernozem soils were accompanied by certain changes in soil acidity. In all the studied objects, except for arable land, the reaction of the soil environment for several decades shifted to the alkaline side by 0.07–0.55 pH units. Some statistical characteristics of the distribution of the main physical and chemical indicators and indicators of the humus state of chernozems were calculated. On their basis, isopleths of a two-dimensional distribution of indicators of the main properties of chernozem soils of the studied experimental site were constructed.

Key words: chernozem, humus, humus composition, exchange bases, acidity indicators, Stone Steppe.

УДК 631.417:632.115

ВЛИЯНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЕТА НА ПОДВИЖНОСТЬ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ И СВОЙСТВА ПОЧВЫ

© 2021 г. С. И. Новосёлов

Марийский государственный университет
424002 Йошкар-Ола, ул. Красноармейская 71, Марий Эл, Россия

E-mail: Serg.novoselov2011@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.05.2021 г.

После доработки 09.07.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Изучено влияние фотохимического воздействия световой энергии на изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы. Установлено, что под воздействием световой энергии в почве увеличивалось количество легкогидролизуемого азота и лабильных гумусовых веществ. В результате фотохимических реакций в составе лабильных гумусовых веществ снижалось содержание гуминовых кислот и повышалось — фульвокислот. Фотохимическое воздействие приводило к повышению в почве актуальной, обменной и гидролитической кислотности. Использование в севообороте отвальной обработки почвы и чистого пара снижало содержание гумуса и повышало почвенную кислотность. Полученные результаты свидетельствуют, что чем интенсивнее происходит обработка почвы и чем чаще она перемешивается, тем масштабнее разрушительное воздействие фотохимического фактора на гумус.

Ключевые слова: почва, световая энергия, лабильные гумусовые вещества, актуальная, обменная и гидролитическая кислотность.

DOI: 10.31857/S0002188121120097

ВВЕДЕНИЕ

Ценность почвы как средства сельскохозяйственного производства определяется ее способностью обеспечивать растения элементами питания, водой, воздухом, благоприятными условиями для произрастания. Эти свойства почвы формируют ее плодородие. В естественных условиях почвенное плодородие определяется генетическими особенностями и почвообразовательными процессами, а на обрабатываемых землях — и характером сельскохозяйственного использования. Сельскохозяйственная деятельность человека является глобальным фактором, влияющим на плодородие почвы и ее продуктивность. При распашке целинных земель изменяются физические, химические и биохимические свойства почвы, ускоряется круговорот биофильных элементов питания. Эти изменения не всегда носят положительный характер, поскольку в результате нерациональной деятельности человека могут приводить к деградации почв [1, 2].

Важным показателем плодородия почвы является содержание гумуса. Его образование и накопление зависит от типа почв, климатических условий, вида севооборотов, применяемой агро-

техники [3–8]. Увеличение содержания гумуса улучшает физические и агрохимические свойства почвы, ее биологическую активность, что приводит к повышению продуктивности агроценозов [9–11]. Потеря гумуса отрицательно сказывается на устойчивости почв к различным видам загрязнений, ведет к уменьшению биологического разнообразия [12, 13]. Дегумификация почв — это основной фактор ухудшения “здоровья почв” [14]. Исследованиями выявлено, что чистый пар снижает содержание гумуса в почве, применение поверхностной обработки почвы по сравнению с ежегодной вспашкой снижает темпы минерализации органического вещества [15, 16]. Внесение в севообороте органического вещества обеспечивает повышение микробиологической активности и увеличение содержания гумуса в почве [17]. Систематическое применение высоких доз минеральных удобрений может приводить к повышению почвенной кислотности и минерализации гумуса [18, 19]. Процесс минерализации органических соединений зависит от морфологических свойств почв, от происходящих в ней физико-химических и биохимических процессов [20–25]. Наименее изученным фактором, влияющим на

деструкцию гумусовых веществ в почве, является фотохимическое воздействие. Механизм фотохимического воздействия на почву недостаточно ясен и требует детального изучения. На данный период можно считать установленным, что на первом этапе воздействия света на почву он не является фактором окислительных процессов [26]. Очевидно, под воздействием фотонов света происходит разрыв химических связей, что приводит к частичному или полному разрушению гумусовых кислот и образованию веществ с меньшей молекулярной массой. Они более подвижны, не обладают свойствами гуминовых кислот и легко минерализуются почвенной микрофлорой. Цель работы — изучение воздействия световой энергии на подвижность гумусовых веществ и реакцию почвенной среды.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служила дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая почва. Исследование проводили с 2010 по 2018 г. в полевом, микрополе и лабораторном опытах. Полевой и микрополевой опыты проводили на опытном поле, лабораторные — в агрохимической лаборатории Марийского государственного университета. В почве при закладке опыта в 2010 г. содержание гумуса составляло 1.9%, pH 6.1, H_r — 1.9 смоль/кг. Микрополевой опыт проводили в июне—июле при наступлении сухой и теплой погоды на поле с чистым паром. Площадь микроделанки составляла 0.56 м² (0.7 м × 0.8 м). Контролем являлась почва, находящаяся в естественном состоянии. Воздействие на почву солнечного света исключали путем закрытия ее белой тканью. Продолжительность эксперимента составляла 20 сут. В лаборатории для искусственного облучения почвы использовали ртутную лампу ДРЛ-400 и ультрафиолетовую лампу 30-UVC.

Влияние фотохимического воздействия на групповой состав лабильных гумусовых веществ изучали в лабораторном опыте 1. Для облучения использовали воздушно-сухую почву, пропущенную через сито с отверстиями 0.5 мм. Облучение проводили в течение 100 ч. В процессе облучения почву несколько раз перемешивали. Для экстрагирования лабильных гумусовых веществ использовали вытяжку 0.1 н. NaOH. Содержание гуминовых кислот и фульвокислот определяли в соответствии с рекомендациями ВНИИА [6].

Влияние световой энергии на изменение реакции почвенной среды изучали с использованием лабораторной установки в опыте 2. Подготовку почвы проводили аналогично опыту 1. Время об-

лучения почвы составляло 150 ч. Контролем служила почва без облучения. Повторность лабораторных анализов была двукратной. Содержание в почве легкогидролизуемого азота определяли по Корнфилду, виды почвенной кислотности — рекомендуемыми агрохимическими методами [27].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение влияния световой энергии на почву, проведенное в условиях микрополевого опыта, показало, что во все годы исследования воздействие солнечного света повышало в верхней части пахотного слоя содержание легкогидролизуемого азота и лабильных органических веществ (табл. 1). В 2012 г. за 20 сут парования открытой почвы содержание легкогидролизуемого азота возросло с 79 до 87 мг/кг, подвижных органических веществ — с 0.198% до 0.224%. В почве, закрытой от солнечного воздействия белой тканью, эти изменения были менее значимыми. Концентрация легкогидролизуемого азота составила 0.84 мг/кг, лабильных органических веществ — 0.211%. В 2013 и 2014 гг. в течение эксперимента стояла теплая и сухая погода. В эти годы эффект от фотохимического воздействия был наибольшим. В 2013 г. содержание легкогидролизуемого азота в почве, закрытой от солнечного света в период парования, возросло с 87 до 90 мг/кг, в 2014 г. оно осталось без изменений и составило 83 мг/кг. Содержание лабильных органических веществ соответственно годам исследования составило 0.161 и 0.239%. В 2013 г. в открытой парующейся почве концентрация легкогидролизуемого азота возросла на 11 мг/кг (с 87 до 98 мг/кг), в 2014 г. — на 5 мг/кг (с 83 до 88 мг/кг). Количество лабильных органических веществ соответственно возросло с 0.154 до 0.176% и с 0.232 до 0.252%. В среднем за 3 года исследования за счет фотохимического воздействия в верхнем слое почвы содержание легкогидролизуемого азота повысилось на 5 мг/кг, лабильных органических веществ — на 0.013%.

Исследованиями, проведенными с облучением почвы в лабораторном опыте 1, было выявлено, что при фотохимическом воздействии на почву изменялось как количество лабильных органических веществ, так и соотношение гуминовых и фульвокислот. В облученной в течение 100 ч почве содержание углерода лабильных органических веществ возросло с 0.181 до 0.198%. При этом количество углерода гуминовых кислот снизилось на 0.059%, а количество углерода фульвокислот возросло на 0.076%. Соотношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ снизилось с 0.75 до 0.10.

Таблица 1. Содержание в парующей почве лабильных органических веществ и легкогидролизуемого азота, (микрополевой опыт, слой 0–2 см почвы)

Год	Вариант	N _{лг} (по Корнфилду), мг/кг		Лабильные органические вещества (0.1 н. NaOH), C _{лав} , %	
		до закладки	через 20 сут парования	до закладки	через 20 сут парования
2012	Закрытая почва	79	84	0.198	0.211
	Открытая почва	79	87	0.198	0.224
2013	Закрытая почва	87	90	0.154	0.161
	Открытая почва	87	98	0.154	0.176
2014	Закрытая почва	83	83	0.232	0.239
	Открытая почва	83	88	0.232	0.252
В среднем	Закрытая почва	83	86	0.195	0.204
	Открытая почва	83	91	0.195	0.217

Образовавшиеся под воздействием световой энергии лабильные органические вещества с пониженным содержанием гуминовых кислот и повышенным — фульвокислот изменяли реакцию почвенной среды (табл. 2). После 150 ч облучения произошло подкисление почвы. Актуальная кислотность почвы изменилась с pH 6.34 до 6.16, обменная — с pH 5.94 до 5.84, гидролитическая кислотность возросла с 1.64 до 1.94 смоль/кг.

Показано, что под воздействием световой энергии в почве происходило снижение содержания гуминовых кислот и образование фульвокислот, что привело к повышению актуальной, обменной и гидролитической кислотности. Подтверждают вышесказанное и результаты, полученные в стационарном полевом опыте. Мониторинг агрохимических показателей почвы в конце 2-й ротации 4-польных севооборотов показал зависимость между их изменениями и агротехникой возделывания. Максимальные изменения в содержании гумуса, обменной и гидролитической кислотности произошли в почве севооборота с чистым паром при использовании ежегодной отвальной вспашки. Содержание гумуса в почве снизилось на 0.12% (с 1.90 до 1.78%). Обменная кислотность повысилась на 0.2 ед. pH (с 6.1 до 5.9), гидролитическая кислотность — на 0.3 смоль/кг (с 1.9 до 2.2 смоль/кг). В почве с комбинированной обработкой в севообороте с чистым паром содержание гумуса снизилось на 0.08%, обменная кислотность возросла на 0.1 ед. pH, гидролитическая кислотность — на 0.2 смоль/кг.

Содержание гумуса в почве севооборота с занятым паром и отвальной основной обработкой почвы составило 1.80%, при применении комбинированной обработки — 1.83%. Обменная кис-

лотность при примененных обработках почвы за 8 лет не изменилась и составила 6.1 ед. pH, гидролитическая кислотность возросла при применении комбинированной обработки почвы до 2.0, при использовании ежегодной вспашки — до 2.1 смоль/кг.

Использование в севообороте отвальной обработки почвы и чистого пара, которые обеспечивали наибольшее воздействие световой энергии на почву, ускоряло процессы деструкции гумуса, что приводило к повышению почвенной кислотности. Аналогичные результаты были получены в исследовании [28]: “... интенсивная обработка пашни без компенсирующего внесения органического вещества вела к уменьшению общего количества гумуса в дерново-подзолистой почве, где концентрация гумуса снизилась за 25 лет с 1.90 в исходной почве до 1.34%. При этом происходило разрушение сложных по составу и ценных по свойствам гуминовых кислот и накопление гумусовых веществ кислой природы”. Полученные результаты объясняют причины снижения содер-

Таблица 2. Влияние световой энергии на реакцию почвенной среды (лабораторный опыт 2)

Вариант	Виды кислотности		
	актуальная pH _{H₂O}	обменная pH _{KCl}	гидролитическая (CH ₃ COONa), смоль/кг
До облучения (контроль)	6.34	5.94	1.64
После облучения	6.16	5.84	1.94
HCP ₀₅	0.15	0.09	0.12

жания гумуса и изменения реакции среды в сторону подкисления в опытах с многолетним парованием, а также изменения агрохимических показателей почвы в длительных стационарных опытах.

Проведенными исследованиями выявлено, что под воздействием световой энергии в почве повышалось содержание легкогидролизуемого азота и лабильных гумусовых веществ. Снижение концентрации гуминовых кислот и увеличение концентрации фульвокислот приводило к повышению почвенной кислотности. Изменение реакции среды обрабатываемых почв зависело не только от выноса урожаями сельскохозяйственных культур обменных катионов, эрозионных процессов, но и от фотохимического воздействия на почву. Поскольку фотохимическое влияние — явление поверхностное, то его эффект зависит от количества механических воздействий с вовлечением на поверхность все новых и новых слоев почвы. Чем интенсивнее происходит обработка почвы, чем чаще она перемешивается, тем масштабнее проявляется разрушительное воздействие фотохимического фактора на состояние гумуса.

ВЫВОДЫ

1. Под воздействием солнечного света в слое 0–2 см почвы повышалось содержание легкогидролизуемого азота и лабильных органических веществ.

2. При фотохимическом воздействии на почву изменялся групповой состав лабильных органических веществ. В облученной в течение 100 ч почве содержание углерода гуминовых кислот снизилось на 0.0595%, а количество углерода фульвокислот возросло на 0.0764%. Соотношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ снизилось с 0.75 до 0.10.

3. Образовавшиеся под воздействием световой энергии лабильные органические вещества с пониженным содержанием гуминовых кислот и повышенным — фульвокислот повышали в почве актуальную, обменную и гидролитическую кислотность.

4. Использование ежегодной отвальной вспашки в качестве основной обработки почвы и введение в севооборот чистого пара активизировало процессы деструкции гумусовых веществ и повышало почвенную кислотность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудяров В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации // Почвоведение. 2019. № 1. С. 109–121.

2. FAOSTAT — 2017. <http://www.fao.org/faostat/ru/#data/GL>
3. Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Телеснина В.М. Содержание углерода в залежных почвах различных природно-климатических зон европейской части России // Ноосфера. 2017. № 1. С. 128–142.
4. Борисов Б.А., Ганжара Н.Ф. Географические закономерности распределения и обновления легко-разлагаемого органического вещества целинных и пахотных почв зонального ряда европейской части России // Почвоведение. 2008. № 9. С. 1071–1078.
5. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 232 с.
6. Chan K.Y. Soil particulate organic carbon under different land use and management // Soil Use Manag. 2001. V. 17. № 4. P. 217–221. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2001.tb00030.x>
7. Corsi S., Friedrich T., Kassam A., Pisante M., J. de Moraes Sà. Soil organic carbon accumulation and greenhouse gas emission reductions from conservation agriculture: Integrated crop management. Rome: FAO, 2012. V. 16. 88 p.
8. Магдофф Ф., Вейль Р. Р. стратегии управления органическим веществом почвы // Органическое вещество почвы в устойчивом сельском хозяйстве. N.Y.: CRC Press, 2004. С. 45–65.
9. Минеев В.Г., Ремне Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагропромиздат, 1990. 206 с.
10. Bayer C., Mielniczuck J., Amado T.J.C., Martin-Neto L., Fernandes S.B.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil // Soil Till. Res. 2000. V. 54. P. 101–109.
11. Krull E.S., Skjemstad J.O., Baldock J.A. Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Australia, Glen Osmond: CSIRO, 2004. 129 p.
12. Семенов В.М., Лебедева Т.Н., Паутова Н.Б. Дисперсное органическое вещество в необрабатываемых и пахотных почвах // Почвоведение. 2019. № 4. С. 440–450.
13. Cates A.M., Ruark M.D., Hedtcke J.L., Posner J.L. Long-term tillage, rotation and perennialization effects on particulate // Soil Till. Res. 2016. V. 155. P. 371–380. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.008>
14. Соколов М.С., Спиридонов Ю.Я., Торопова Е.Ю., Глинушкин А.П., Семенов А.М. Экологические и фитосанитарные функции почвенного органического вещества // Агрохимия. 2018. № 5. С. 83–100.
15. Новоселов С.И., Завалин А.А. Роль фотохимического фактора в деструкции гумусовых веществ почвы // Агрохимия. 2013. № 1. С. 59–64.
16. Franzluebbers A.J., Arshad M.A. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture // Soil Sci. Soc. Am. J. 1997. V. 61. № 5. P. 1382–1386. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100050014x>

17. *Paul E.A.* The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization // *Soil Biol. Biochem.* 2016. V. 98. P. 109–126. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.04.001>
18. *Шевцова Л.К.* Изменение гумусного состояния и азотного фонда основных типов почв при длительном применении различных систем удобрения: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М.: ВИУА, 1986. 36 с.
19. *Шеуджен А.Х.* Агробиогеохимия чернозема. 2-е изд. доп. и перераб. Майкоп: ООО “Полиграф-ЮГ”, 2018. 308 с.
20. *Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Тулина А.С.* Минерализуемость органического вещества и углеродсеквестирующая емкость почв зонального ряда // *Почвоведение.* 2008. № 7. С. 819–832.
21. *Семенов В.М., Иванникова Л.А., Тулина А.С.* Стабилизация органического вещества в почве // *Агрохимия.* 2009. № 10. С. 77–96.
22. *Gosling P., Parsons N., Bending G.D.* What are the primary factors controlling the light fraction and particulate soil organic matter content of agricultural soils? // *Biol. Fertil. Soils.* 2013. V. 49. № 8. P. 1001–1014. <https://doi.org/10.1007/s00374-013-0791-9>
23. *Li J., Ramirez G.H., Kiani M., Quideau S., Smith E., Janzen H., Larney F., Puurveen D.* Soil organic matter dynamics in long-term temperate agroecosystems: rotation and nutrient addition effects // *Can. J. Soil Sci.* 2018. V. 98. P. 1–14. <https://doi.org/10.1139/cjss-2017-0127>
24. *Marriott E.E., Wander M.* Qualitative and quantitative differences in particulate organic matter fractions in organic and conventional farming systems // *Soil Biol. Biochem.* 2006. V. 38. № 7. P. 1527–1536. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.11.009>
25. *Marriott E.E., Wander M.M.* Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006. V. 70. № 3. P. 950–959. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0241>
26. *Novoselov S.I.* Influence of photochemical reactions on the content and transformation of mineral nitrogen in sod-podzol soil // *Key Engin. Materials* ISSN: 1662-9795. V. 781. P. 195–199. Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.781.195
27. Практикум по агрохимии / Под ред. Ягодина Б.А. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
28. *Завьялова Н.Е., Косолапова А.И., Соснина И.Д.* Гумусное состояние и азотный фонд дерново-подзолистой почвы Предуралья в условиях интенсивного землепользования // *Агрохимия.* 2004. № 9. С. 21–25.

Effect of Photochemical Exposure Light on the Mobility of Humus Substances and Soil Properties

S. I. Novoselov

Mari State University

Krasnoarmeyskaya ul. 71, Yoshkar-Ola 424002, Mari El, Russia

E-mail: Serg.novoselov2011@yandex.ru

The influence of photochemical exposure to light energy on changes in agrochemical parameters in sod-podzolic soil (Glossic Retisol (Loamic, Aric)) was studied. It was found that under the influence of light energy, the amount of easily hydrolyzable nitrogen and labile humus substances in the soil increased. As a result of photochemical reactions in the composition of labile humic substances, the content of humic acids decreased and the content of fulvic acids increased. Photochemical exposure led to an increase in the actual, metabolic and hydrolytic acidity in the soil. The use of dump tillage and pure steam in crop rotation reduced the humus content and increased soil acidity. The results obtained indicate that the more intensively the soil is cultivated, the more often it is mixed, the greater the destructive effect of the photochemical factor on humus.

Key words: soil, light energy, humus, actual, exchange and hydrolytic acidity.

УДК: 631.559:635.1/.8:631.812

УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНОЙ, ОРГАНИЧЕСКОЙ И ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ

© 2021 г. В. А. Борисов¹, О. Н. Успенская^{1,*}, И. Ю. Васючков¹¹ Федеральный научный центр овощеводства, Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства
140153 Московская обл., Раменский р-н, д. Верея, стр. 500, Россия

*E-mail: vniioh@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.05.2021 г.

После доработки 12.07.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

В условиях интенсивного овощеводства, при использовании высоких доз минеральных удобрений, капельного орошения, новых гибридов, фертигации водорастворимыми удобрениями, применении ГМО и пестицидов, регуляторов роста и интенсивных гибридов появилась возможность резкого повышения урожайности овощных культур. В то же время качество овощной продукции в этих условиях имеет тенденцию к существенному снижению. Важнейшим фактором регулирования продуктивности и качества овощных культур является оптимизация питания овощных растений за счет научно обоснованных систем удобрения. Целью работы был выбор наиболее перспективной системы удобрения овощных культур на основе обобщения многолетних данных отдела земледелия и агрохимии ВНИИО и его опытных станций. Исследования проводили с 16 основными овощными культурами в 1988–2020 гг. при использовании минеральной, органической и органо-минеральной систем удобрения. Выявлено, что наиболее перспективной является органо-минеральная система, при которой наибольшая урожайность сочетается с достаточно высокими качественными показателями продукции. При применении органо-минеральной системы удобрения получено овощной продукции в среднем (для 16-ти культур) 45.0 т/га, что на 9–12% превышало урожайность при минеральной и органической системах удобрения. Среднее содержание витаминов в овощах при применении органо-минеральной системы удобрения (44.6 мг%) было меньше, чем при органической (46.9 мг%), но больше, чем при минеральной (42.8 мг%). Среднее содержание сахаров в продукции сохранялось на одном уровне (4.3–4.4%) при применении всех 3-х систем удобрения. Содержание нитратов в овощах было наиболее высоким при минеральной системе удобрения (в среднем для 16-ти культур – 359 мг/кг), в отдельных культурах превышало ПДК. При органической системе удобрения нитратное загрязнение продукции практически отсутствовало, при органо-минеральной – было существенно меньше, чем при минеральной (315 мг/кг).

Ключевые слова: овощные культуры, минеральная, органическая, органо-минеральная системы удобрения, урожайность, качество.

DOI: 10.31857/S000218812112005X

ВВЕДЕНИЕ

Овощи являются важнейшим источником питания человека благодаря высокому содержанию углеводов, растительного белка, минеральных элементов и биологически активных веществ. На продуктивность и качество овощей большое влияние оказывает применение органических и минеральных удобрений [1–3]. Следует отметить и особое значение овощей для укрепления здоровья людей и борьбы с различными заболеваниями [4]. Для получения экологически безопасной овощной продукции важнейшее значение имеет выяснение эффективности различных систем

удобрения, применяемых в настоящее время в нашей стране [5–7]. Использование чисто органической системы, интенсивно пропагандируемой в ведущих странах Европы и Северной Америки, в нашей стране практически невозможно из-за дефицита и дороговизны высококачественных органических удобрений, опасности развития болезней овощей в период зимнего хранения при их применении, а также из-за накопления в овощах тяжелых металлов и радионуклидов [6–9].

Наиболее разумным в этих условиях является применение комплексной органо-минеральной системы удобрения в овоще-кормовых и овоще-

сидеральных севооборотах с овощными культурами различных ботанических семейств [5–7, 10]. Термин “органо-минеральная система удобрения” понимается нами в классическом смысле – в применении к севообороту. Цель работы – изучение влияния применения минеральной, органической и органо-минеральной систем удобрения на урожайность и качество овощных культур.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в отделе земледелия и агрохимии ВНИИ овощеводства и на Западно-Сибирской опытной станции института в условиях многолетних и краткосрочных опытов на аллювиальных луговых почвах Подмоскovie и выщелоченных черноземах Западной Сибири с 16 овощными культурами [11–20].

Почвы для опытов были достаточно окультуренные, типичные для овощеводческих хозяйств регионов. Аллювиальные луговые почвы имели реакцию среды в диапазоне 6.2–6.9, содержание гумуса – 3.4–4.2%, азота общего – 0.20–0.25%, фосфора подвижного – 150–250 мг/кг, калия обменного – 140–160 мг/кг. Выщелоченные черноземы имели реакцию среды в диапазоне 6.3–6.7, содержание гумуса – 3.8–4.9%, азота общего – 0.25–0.30%, фосфора подвижного – 306–358 мг/кг, калия обменного – 160–215 мг/кг. Все опыты проводили под методическим руководством профессора Борисова В.А., и они были заложены в условиях, рекомендуемых для овощных и овоще-кормовых севооборотов, согласно существующим методическим разработкам [15–17].

За 33 года исследования (1988–2020 гг.) во ВНИИО и ЗСОС обобщено более 100 опытов. Опыты с белокочанной капустой, морковью, свеклой столовой, капустой цветной, брокколи, петрушкой, сельдереем, кабачками, патиссонами, репой, редькой, брюквой проведены ВНИИО на аллювиальных луговых почвах Подмоскovie, с томатом, огурцом, луком – на выщелоченных черноземах Западно-Сибирской овощной опытной станции, где для этих культур были лучшие климатические условия, и где с 1942 г. действует многолетний стационар.

Дозы удобрений рассчитывали в соответствии с требованиями культуры к питательным элементам и их содержанием в исходной почве. При минеральной системе удобрения использовали в основном расчетные дозы удобрений в форме аммиачной селитры, суперфосфата и хлористого калия. При применении органической и органо-минеральной систем в качестве органических удобрений использовали полуперепревший навоз

и биокомпост согласно существующим рекомендациям ВНИИО [16]. Все исследования проводили в орошаемых условиях, что позволило добиться хорошего уровня урожайности культур и высокой эффективности удобрений.

В данной статье проведено обобщение исследований за 1988–2020 гг. с целью выяснения перспективности различных систем удобрения в российском овощеводстве. Были также использованы данные ВНИИО и АФИ [18–20].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены данные средней урожайности 16-ти овощных культур и средних показателей содержания суммы сахаров, витаминов и нитратов в продукции, выращенной при применении 3-х разных систем удобрения. При органо-минеральной системе удобрения получена наибольшая средняя урожайность культур (45.0 т/га), при минеральной и органической – сниженная (41.4 и 40.2 т/га соответственно). Однако для отдельных культур разница в средней урожайности была еще более существенной, причем как в отрицательную, так и в положительную сторону. Например, урожайность капусты белокочанной при органической системе удобрения снизилась на 18% по сравнению с минеральной, столовой свеклы – на 15%, дайкона – на 14%. С другой стороны, урожайность сельдерея при органической системе удобрения была на 22% больше, чем при минеральной, брюквы – на 17, лука – на 6, огурца – на 5%.

Качественные показатели 16-ти овощных культур также имели значительные различия. В целом органическая система удобрения способствовала более высокому содержанию в овощах витаминов (на 10%), сахаров (на 2.5%) по сравнению с минеральной. Особенным было преимущество органической системы в накоплении аскорбиновой кислоты над минеральной, что сказалось на луковичах лука репчатого – 34, зелени петрушки – 25, корнеплодах дайкона – 8, головках брокколи – 7 мг%. Томат, сельдерей, патиссон, наоборот, накапливали больше витамина С при минеральной системе удобрения.

Особенно четкие различия были получены при анализе овощей на содержание нитратов. Было выявлено, что большинство овощных культур накапливали значительно больше нитратов при применении минеральной системы удобрения по сравнению с органической, в среднем для всех культур – больше на 53%. Особенно резко эта разница проявилась на культурах капусты белокочанной (в 5.5 раза), свеклы столовой (в 2.5 ра-

Таблица 1. Эффективность применения минеральной, органической и органо-минеральной систем удобрения в российском овощеводстве (1988–2020 гг.)

		Система удобрения												HCP ₀₅ урожай- ности
		минеральная				органическая				органо-минеральная				
Культура		урожай- ность, т/га	сахара, %	витамин С	NO ₃ ⁻	урожай- ность, т/га	сахара, %	витамин С	NO ₃ ⁻	урожай- ность, т/га	сахара, %	витамин С	NO ₃ ⁻	
				мг%				мг%						
Капуста белокочанная		79.2	4.6	33.0	385	64.9	4.8	32.0	70	85.8	4.7	32.0	165	4.3
Капуста цветная		22.5	2.9	78.0	251	21.7	2.5	72.0	244	23.9	2.5	62.2	271	1.3
Брокколи		13.4	2.4	85.0	172	13.0	2.2	90.7	166	14.8	2.2	83.8	200	1.1
Морковь столовая		46.5	6.7	12.1*	269	46.6	6.8	11.4*	250	48.7	7.0	12.0*	230	1.6
Свекла столовая		54.1	8.7	20.0	1317	46.0	9.9	20.0	522	59.0	8.6	21.0	1210	3.7
Томат		40.5	2.9	17.8	37	38.3	2.9	15.8	25	43.4	2.9	17.9	60	2.0
Огурец		35.2	1.9	15.0	211	36.9	1.9	15.8	233	28.9	1.9	14.6	269	3.3
Лук		57.6	6.5	3.8	29	60.8	6.3	5.1	17	66.4	6.3	4.4	14	3.7
Петрушка		39.2	5.8	214	693	41.3	5.9	268	334	42.7	5.9	265	392	1.4
Сельдерей		41.8	2.2	114	276	51.1	2.3	95	141	51.9	2.5	111	213	2.6
Кабачок		38.2	2.6	4.0	498	37.5	2.4	2.9	455	40.8	2.7	4.2	395	3.4
Пагиссон		37.9	2.9	8.1	468	37.1	2.2	2.7	423	42.1	2.5	7.7	398	3.6
Репа		24.8	4.6	18.3	162	24.4	4.5	18.1	101	24.7	4.5	18.4	157	1.2
Редька		34.1	4.4	19.0	262	26.9	4.7	18.1	304	36.4	4.4	16.3	404	2.5
Дайкон		53.1	3.3	13.6	460	45.5	3.5	14.7	466	48.5	3.5	15.6	424	3.3
Брюква		43.6	6.6	29.1	252	50.9	5.8	27.3	167	53.1	6.0	27.4	239	2.6
Средние		41.4	4.3	42.8	359	40.2	4.4	46.9	234	45.0	4.4	44.6	315	—

*Каротин.

за), петрушки (в 2.1 раза), репы (в 1.6 раза), брюквы (в 1.5 раза).

Увеличить урожайность овощных культур при сохранении достаточно высокого качества продукции можно при использовании комплексной органо-минеральной системы удобрения. Экспериментальные данные убедительно показали, что именно совместное использование минеральных и органических удобрений позволило получить высокую урожайность овощей, в среднем на 9% больше, чем при минеральной системе, и на 12% больше, чем при органической. Наибольшая урожайность белокочанной капусты, свеклы столовой, томата, репчатого лука, кабачка, петрушки, патиссона и других культур получена при применении этой системы удобрения.

Качественные показатели продукции, полученные при применении органо-минеральной системы удобрения, близки к тем, какие были отмечены при применении органической системы, а содержание нитратов было намного меньше, чем при минеральной системе, и несколько большее, чем при применении органической системы удобрения.

ВЫВОДЫ

1. Результаты использования в российском овощеводстве различных систем удобрения овощных культур показали, что наилучшей из них является комплексная органо-минеральная система, при которой существенно повышается урожайность овощей при сохранении достаточно высокого качества продукции.

2. При органо-минеральной системе удобрения получено в среднем (для 16-ти культур) овощной продукции 45.0 т/га, что на 9–12% превышало урожайность при применении минеральной и органической систем удобрения.

3. Среднее содержание витаминов в овощах при применении органо-минеральной системы удобрения (44.6 мг%) было меньше, чем при органической системе (46.9 мг%), но больше, чем при минеральной (42.8 мг%).

4. Среднее содержание сахаров в продукции сохранялось на одном уровне (4.3–4.4%) при выращивании овощей при применении всех 3-х систем удобрения.

5. Содержание нитратов в овощах было наиболее высоким при минеральной системе удобрения (в среднем для 16-ти культур – 359 мг/кг), в отдельных культурах превышало ПДК. При органической системе удобрения нитратное загрязнение продукции практически отсутствовало, при

органо-минеральной было существенно меньше, чем при минеральной (315 мг/кг).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Журбицкий З.И.* Физиологические и агрохимические основы применения удобрений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 293 с.
2. *Авдонин Н.С.* Почвы, удобрения и качество растениеводческой продукции. М.: Колос, 1979. 307 с.
3. *Борисов В.А., Литвинов С.С., Романова А.В.* Качество и лежкость овощей. М.: ВНИИО, 2003. 625 с.
4. *Рабинович А.М., Борисов В.А.* Целебные овощные и пряно-ароматические растения России. М.: Арнебия, 2008. 525 с.
5. *Борисов В.А.* Система удобрения овощных культур. М.: Росинформагротех, 2016. 392 с.
6. *Борисов В.А., Сирота С.М., Беляков М.А.* Влияние длительного систематического применения удобрений на урожайность и качество овощных культур на черноземе выщелоченном Западной Сибири // *Агрохимия*. 2006. № 3. С. 22–27.
7. *Литвинов С.С.* Научные основы современного овощеводства. М.: РАСХН, 2008. 776 с.
8. *Солдатенко А.В.* Экологические аспекты регулирования накопления радионуклидов овощными культурами. М.: ФНЦО, 2019. 344 с.
9. Современные проблемы радиологии в сельскохозяйственном производстве / Под ред. Мешерского Ю.А. Рязань: Мешер. филиал ВНИИГИМ, 2010. 344 с.
10. *Литвинов С.С.* Проблемы экологизации овощеводства России. М.: РАСХН, 1988. 363 с.
11. *Лысенко И.А.* Урожайность, качество и сохранность капусты цветной и брокколи в зависимости от применения удобрений и регуляторов роста: Дис. ... канд. с.-х. наук. М.: ВНИИО, 2015. 150 с.
12. *Скрипник А.В.* Действие удобрений на урожайность, качество и лежкость корнеплодов брюквы и репы: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: ВНИИО, 2012. 21 с.
13. *Кулиш В.Ф.* Урожайность и качество петрушки и сельдерея при рациональном использовании удобрений: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: ВНИИО, 1988. 20 с.
14. *Гренадеров Н.В.* Действие удобрений на урожайность, качество и лежкость редьки зимней и дайкона: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: ВНИИО, 2010. 21 с.
15. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве / Под ред. Белика В.Ф. М.: Агропромиздат, 1992. 319 с.
16. *Иванов А.Л., Сычев В.Г., Чекмарев П.А., Державин Л.М., Борисов В.А.* Методическое руководство по проектированию применения удобрений в интенсивном овощеводстве открытого грунта. М.: Росинформагротех, 2012. 476 с.
17. *Литвинов С.С.* Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: РАСХН, 2011. 648 с.
18. *Конашенков А.А.* Научное обоснование систем удобрения для прецизионного применения в усло-

- виях Северо-Запада России: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. СПб.: АФИ, 2014. 40 с.
19. *Конашенков А.А.* Эффективность точной органо-минеральной системы удобрения в овощном севообороте // Мат-лы координац. совещ. и научн. сессии Агрофизического ин-та. СПб.: АФИ РАСХН, 2009. С. 177–184.
20. *Иванов А.И., Конашенков А.А.* Агроэкологические исследования неравномерного внесения навоза в овощном севообороте // Агрохимия. 2012. № 6. С. 66–72.

Productivity and Quality of Vegetable Crops when Using Mineral, Organic and Organo-Mineral Fertilizer Systems

V. A. Borisov^a, O. N. Uspenskaya^{a, #}, and I. Yu. Vasyuchkov^a

^a *Federal Scientific Center of Vegetable Growing, All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing 140153 Moscow region, Ramensky district, d. Vereya, 500, Russia*

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

In the conditions of intensive vegetable growing, with the use of high doses of mineral fertilizers, drip irrigation, new hybrids, fertigation with water-soluble fertilizers, the use of GMOs and pesticides, growth regulators and intensive hybrids, the possibility of a sharp increase in the yield of vegetable crops has appeared. At the same time, the quality of vegetable products in these conditions tends to significantly decrease. The most important factor in regulating the productivity and quality of vegetable crops is the optimization of the nutrition of vegetable plants through scientifically based fertilizer systems. The aim of the work was to select the most promising system for fertilizing vegetable crops based on the generalization of long-term data from the Department of agriculture and agrochemistry of VNIIO and its experimental stations. Studies were carried out with 16 main vegetable crops in 1988–2020 using mineral, organic and organo-mineral fertilizer systems. It is revealed that the most promising is the organo-mineral system, in which the highest yield is combined with sufficiently high quality indicators of products. When using the organic-mineral fertilizer system, vegetable products were obtained on average (for 16 crops) 45.0 t/ha, which was 9–12% higher than the yield with mineral and organic fertilizer systems. The average content of vitamins in vegetables when using the organo-mineral fertilizer system (44.6 mg%) was less than with organic (46.9 mg%), but more than with mineral (42.8 mg%). The average sugar content in the products remained at the same level (4.3–4.4%) when using all 3 fertilizer systems. The content of nitrates in vegetables was the highest with the mineral fertilizer system (on average for 16 crops – 359 mg/kg), in some crops it exceeded the MPC. With the organic fertilizer system, nitrate contamination of products was practically absent, with the organo-mineral system, it was significantly less than with the mineral (315 mg/kg).

Key words: vegetable crops, mineral, organic, organo-mineral fertilizer systems, yield, quality.

УДК 633.71:631.816

ОТЗЫВЧИВОСТЬ ТАБАКА НА ПРИМЕНЕНИЕ В РАССАДНЫЙ ПЕРИОД СОВРЕМЕННОГО ВИТАМИНИЗИРОВАННОГО УДОБРЕНИЯ ВИТАНОЛЛ

© 2021 г. Т. В. Плотникова^{1,*}, Н. В. Сидорова¹¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий
350072 Краснодар, ул. Московская, 42, Россия***E-mail: agrotobacco@mail.ru*

Поступила в редакцию 16.03.2021 г.

После доработки 17.05.2021 г.

Принята к публикации 23.05.2021 г.

Изучено влияние полимерного удобрения Витанолл NP (N – 9–12, P – 28–30%) (в дозе 0.3 мл/м²), примененного совместно с поливной водой (1.0 л/м²) в рассадный период в фазах развития растений табака “крестик”, “ушки” и “годная к высадке рассада”, на биометрические показатели рассады. Посев табака проведен на длительно несменяемый питательный субстрат с искусственно созданным азотным фоном из расчета 50% от оптимального содержания N35. За счет выращенной более качественной рассады данный прием существенно повышал урожайность и качество табачного сырья. Достоверная прибавка урожайности сорта табака Крупнолистный 9М достигала 7.8 ц/га или 19% ($HCP_{05} = 2.3$ ц/га), сорта Крупнолистный 11 – 6.8 ц/га или 16% ($HCP_{05} = 2.4$ ц/га) к контролю. Экономический эффект в полевой период за счет полученного дополнительного урожая составлял 156 и 136 тыс. руб./га соответственно сортам.

Ключевые слова: питательная смесь, табак, рассада, удобрение Витанолл NP, урожайность, качество табачного сырья.

DOI: 10.31857/S0002188121120115

ВВЕДЕНИЕ

Табак — очень пластичный вид растений, чутко реагирующий на условия произрастания. Технология возделывания этой культуры предусматривает комплекс агротехнических приемов, от выполнения которых зависит продуктивность культуры и качество получаемого сырья. Важнейшим звеном при этом является использование удобрений [1]. При этом внесение оптимальной дозы минеральных удобрений является эффективным приемом, но высокая стоимость и отношение агрохимикатов химической природы к потенциальным источникам загрязнения окружающей среды (стресс-индекс, отражающий меру экологической опасности равен 63) [2] сдерживает их использование особенно в полевой период.

Возделывание табака начинается с выращивания рассады — самого ответственного периода, т.к. этот этап является основой успешного производства табачного сырья [3]. Уровень урожайности в значительной степени зависит от качества полученного здорового посадочного материала, т.е. так называемого “продолговатого эффекта качественной рассады”. В этом случае приме-

няют все меры для выращивания крепкого посадочного материала.

Исходя из вышесказанного, альтернативой для замены традиционных удобрений стала инновационная продукция — современные комплексные водорастворимые удобрения, содержащие в своем сбалансированном составе макро-, мезо- и микроэлементы пролонгированного действия (медленнодействующие). Экологичность данных препаратов определяется небольшими дозировками при их использовании, а экономичность — низкой стоимостью технологического приема.

Во ВНИИТТИ в течение ряда лет был испытан разнообразный ассортимент перспективных удобрительных смесей нового поколения как российского, так и зарубежного производства. Все испытываемые удобрения в различной степени влияли на формирование табачной рассады. Среди них по положительному эффекту выделяли препарат Витанолл NP.

Витанол NP (ООО “АгроСил”) — азотно-фосфорное витаминизированное удобрение на основе полимерного комплекса макро- (NP + Mg и S) и микроэлементов (Mn, B, Zn, Mo). Содержание азота в препарате — 9–12, фосфора — 28–30, аскор-

биновой кислоты — 0.01–0.05, янтарной — 0.1–0.2 и гуминовых кислот — 0.05–0.1%. Удобрение обладает качествами поверхностно-активного вещества, мощными адгезивными, стимулирующими и антиоксидантными свойствами, высокой степенью проникновения в растение, что обеспечивает максимально равномерное и длительное его питание [4]. В литературных источниках недостаточно информации о влиянии данного удобрения на различные сельскохозяйственные культуры. Однако известно, что обработки препаратом Витанолл NP растений в фазе кущения способствуют увеличению урожая озимой пшеницы на 34, озимого ячменя — на 26, ярового ячменя — на 21% [5, 6].

Аналогичные исследования по влиянию удобрений на табачные растения проводят и за рубежом. Например, в Китае изучено влияние сложных биоорганических удобрений в соответствующем сочетании с химическими удобрениями на рост и развитие растений табака, устойчивость к болезням, содержание калия в листьях, накопление сухого вещества, повышение урожайности и качества сырья. По сравнению с однократным внесением химических удобрений, обработка биоудобрениями увеличивает урожай табачных листьев на 6.2–9.0% и доходность — на 15.9–24.7% [7]. Применение химических удобрений в сочетании со штаммами солубилизирующих фосфор арбускулярных микоризных грибов и калий-мобилизирующих бактерий последовательно увеличивает доступность P и K в почве, улучшает показатели качества листьев табака и улучшает рост растений [8]. В Иране изучено влияние органических и химических удобрений на увеличение площади листьев, скорости ассимиляции, урожая и сухого веса табачного сырья. Максимальный сухой вес сырья был получен на фоне химических удобрений (в 3 раза больше по сравнению с контрольной обработкой) [9].

Поэтому цель работы — определение отзывчивости табака на применение удобрения Витанолл NP при выращивании рассады, а именно влияния на качество табачной рассады, формирование продуктивности данной культуры, величину урожайности и курительные достоинства табачного сырья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Табачную рассаду (сорта табака Крупнолистный 9 М и Крупнолистный 11) выращивали в парниках без обогрева. Опыт закладывали (2019–2020 гг.) на длительно несменяемой деградированной питательной смеси с предварительным созданием азотного фона из расчета 50% от оптимального содержания лабильного азота в парни-

ковом хозяйстве ВНИИТТИ. Такая питательная смесь являлась контролем и фоном. Эталон — вариант с расчетно-оптимальным содержанием главных питательных элементов в парниковой смеси: сумма нитратного и аммиачного азота — 70 мг/100 г смеси, подвижного фосфора — 60, обменного калия 70 мг/100 г смеси, созданного за счет использования традиционных однокомпонентных минеральных удобрений на основании проведенных агрохимических анализов [10, 11]. Удобрения (N_{aa} , P_{cd} и K_c) в эталонном варианте вносили за 5–6 сут до посева семян табака. Содержание нитратного и аммонийного азота определяли по методу Мещерякова [12], подвижного фосфора — по методу Чирикова и обменного калия — по Масловой [13]. Расчет доз удобрений проводили согласно разработанной методике [11]. Площадь учетной делянки в парнике — 1 м², повторность четырехкратная, норма высева — 0.3 г/м² с глубиной заделки семян 0.4–0.5 см. Испытанное удобрение Витанолл NP (0.3 мл/м²) в парниковых условиях вносили в основных фазах развития табачной рассады: “крестик”, “ушки” и “годная к высадке”, расход рабочего раствора — 1.0 л/м².

Перед выборкой рассады оценивали ее качество по следующим биометрическим показателям: длина до точки роста, длина до конца листьев, количество листьев, толщина стебля, длина корневой системы, масса надземной и корневой частей [11]. Оценку степени развития корневой системы растений по способности удерживать на корнях питательную смесь проводили по методу Еремеева [14].

Для дальнейшего изучения влияния удобрения, внесенного в рассадный период, растения высаживали из парника в поле строго в зависимости от варианта. Полевые опыты проводили на опытно-селекционном участке института. Почва участка — западно-предкавказский чернозем выщелоченный. Агрохимическая характеристика почвы: рН 6.8, содержание гумуса — 3.8%, содержание подвижного фосфора — 134, обменного калия — 259 мг/кг. Повторность в опытах четырехкратная, густота стояния растений — 70 × 25 см, площадь учетной делянки — 14 м².

В полевой период определяли высоту растений через 45 и 60 сут после посадки и в конце периода уборки после последней ломки листьев. Для определения средней площади листа на каждой делянке проводили измерения на 25-ти растениях одного листа среднего яруса (во время 3-й ломки). Для определения площади листа измеряли его длину от стебля до верхушки пластинки и ширину — в наиболее широком месте [15, 16]. Также

подсчитывали количество технических листьев (после последней ломки), недоразвитых растений, цветущих и семенных продуктивных растений (имеющих соцветия с побуревшими коробочками и плодоножкой бурого цвета [17]).

Урожай убирали вручную во время ломок по мере созревания листьев. За вегетационный период проведено 5 ломок табака. При каждой ломке в варианте отбирали 50 типичных листьев, взвешивали их, закрепляли на шнуры и высушивали до воздушно-сухого состояния, определяли массу сухих листьев. Для учета урожайности рассчитывали коэффициент усушки табака делением сырой массы на сухую массу листьев табака. Далее коэффициент усушки сырья применяли для расчета урожайности табака в сухом весе на учетной площади делянки. Материальность (содержание сухого вещества в единице поверхности листа табака) оценивали методом отбора пробы листа среднего яруса с последующим высушиванием [18]. В табачном сырье определяли содержание водорастворимых углеводов, белков и никотина [19, 20]. Для оценки достоверности полученной прибавки урожая использовали методы статистической обработки результатов по [21] с применением компьютерной программы однофакторного дисперсионного анализа Microsoft Excel.

Метеорологические условия в годы проведения опытов в основном можно охарактеризовать как малоблагоприятные. В 2019 г. отмечено, что среднесуточная температура воздуха в весенне-летний период была выше среднегодовой нормы от 0.1 до 6.0°C. Сумма осадков превышала норму на 8.2–102.2 мм. В июле наблюдали наибольшее количество выпавших осадков. Дефицит влаги определен в мае (2.2 мм) и июне (31.6 мм). Погода в 2020 г. была жаркой и сухой. Среднемесячная температура (май–сентябрь) превышала норму на 1.5–3.9°C. Количество осадков находилось в дефиците в июне (–44.1 мм, поэтому проводили дополнительный полив растений табака), в августе (35.2 мм) и сентябре (15.6 мм) от месячной нормы. Сумма осадков в мае практически отмечена на уровне нормы (превышение – 2.8 мм), в июле выпало максимальное количество осадков за сезон с превышением среднемесячной нормы на 98.1 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Использование современного удобрения Витанолл NP в рассаднике обеспечило существенное усиление роста табачной рассады. На удобренных делянках растения были мощными, ровными, зеленой и темно-зеленой окраски с

хорошо развитой корневой системой, что было важным условием оптимального ведения культуры.

Эффективность применения испытанного удобрения в основных фазах развития рассады “крестик”, “ушки” и “годная к высадке рассада” (перед выборкой) подтверждена биометрическими показателями растений. Например, длина обработанных растений до точки роста увеличилась на 69 и 40% и до конца вытянутых листьев – на 58 и 31%, корневая масса рассады превысила контроль на 31 и 34%, наземная – на 61 и 52% (сорт Крупнолистный 9 М и Крупнолистный 11 соответственно) (табл. 1). Толщина стебля удобренных растений у корневой шейки превысила контроль на 0.7 и 0.6 мм соответственно. При этом в эталонном варианте с использованием полной оптимальной дозы минеральных удобрений все показатели оказались очень близкими полученным в варианте, где рассада была обработана препаратом Витанолл NP.

Кроме качества выращенной табачной рассады большое значение имеет также обеспечение оптимального выхода стандартных растений с единицы площади и, что важно, к запланированному сроку посадки в поле. Выход стандартной рассады к моменту высадки при использовании комплексного удобрения составил 905 шт./м² (в эталоне – 873 шт./м²) (сорт Крупнолистный 9 М) и 874 шт./м² (в эталоне – 891 шт./м²) (сорт Крупнолистный 11), что превысило контроль на 60 и 33% соответственно.

Применение комплексного удобрения в рассаднике не только способствовало повышению выхода стандартной рассады, но и позволило сократить сроки ее выгонки до 8 сут. Это важно, т.к. при затягивании с посадкой значительно снижается урожай и качество листьев, а их созревание и сушка проходят в менее благоприятных условиях.

Косвенная оценка развития корневой системы (способность корней удерживать питательную смесь после выборки) позволила оценить степень ее развития. Табачная рассада, трехкратно обработанная современным удобрением, имела хорошо развитые мочковатые корни, и поэтому они удерживали массу субстрата в 1.9 (сорт Крупнолистный 9 М) и 1.5 раза (сорт Крупнолистный 11) больше по сравнению с контрольными растениями (табл. 2).

В полевых опытах растения высаживали строго в соответствии с вариантами опыта в рассаднике, наблюдая за их дальнейшим ростом и развитием, для оценки продуктивности культуры в целом. Было отмечено, что рассада, выращенная с применением удобрения Витанолл NP, раньше

Таблица 1. Влияние удобрения Витанолл NP на формирование и выход стандартной рассады табака

Вариант	Длина (см) до		Количество листьев, шт./растение	Диаметр стебля, мм	Масса (г) 25-ти сырых		Выход стандартной рассады, шт./м ²
	точки роста	конца вытянутых листьев			стеблей	корней	
Сорт Крупнолистный 9 М (2019 г.)							
Контроль	9.9	17.0	5	4.2	104	5.4	565
НРК (эталон)	15.6	25.6	5	5.0	160	7.5	873
Витанолл NP	16.7	26.9	5–6	4.9	168	7.1	905
НСР ₀₅	1.4	1.8	—	0.1	30	0.6	36
Сорт Крупнолистный 11 (2020 г.)							
Контроль	7.2	15.0	5	4.2	84.2	3.5	658
НРК (эталон)	10.4	20.2	5–6	4.7	127	4.7	891
Витанолл NP	10.1	19.7	5–6	4.8	128	4.7	874
НСР ₀₅	1.2	1.8	—	0.1	27	0.8	34

завершала период укоренения, отличаясь хорошим темпом роста. В контроле отмечена задержка роста растений.

Дальнейшие наблюдения показали, что использование препарата в рассаднике оказало пролонгированное ростстимулирующее воздействие на растения табака в поле. Например, уже через 45 сут растения сорта Крупнолистный 9 М в контроле отстали в росте на 6 см, через 60 сут — на 10 см, к концу уборки — на 19 см (на 10%), сорта Крупнолистный 11 — на 4, 7 и 14 см соответственно. Количество технических листьев на растении — один из главных хозяйственно-ценных признаков, определяющий урожайность табака, составило соответственно сорту 40 и 38 шт. (в контроле — 37 шт.) (табл. 3).

Площадь листа среднего яруса увеличилась на делянках с использованием в парниковый период

Таблица 2. Косвенная оценка степени развития корневой системы при применении удобрения Витанолл NP

Вариант	Масса 25-ти растений, г		Разница, г (масса почвы)
	с почвой	без почвы	
Сорт Крупнолистный 9 М (2019 г.)			
Контроль	189	110	79
НРК (эталон)	318	168	150
Витанолл NP	322	175	147
<i>НСР</i> ₀₅	22	25	—
Сорт Крупнолистный 11 (2020 г.)			
Контроль	157	88	69
НРК (эталон)	252	132	120
Витанолл NP	253	133	120
<i>НСР</i> ₀₅	35	29	—

препарата на 90 см² (на 15%) (сорт Крупнолистный 9 М) и на 158 см² (на 26%) (сорт Крупнолистный 11) (в эталоне — на 10 и 29% соответственно). Отставание в росте и развитии растений на контрольных делянках отразилось и на количестве недоразвитых растений, их было больше на 7%.

Применение удобрения нового поколения в рассаднике позволило сократить вегетационный полевой период, получить более дружное формирование соцветий и, как следствие, увеличить количество продуктивных семенных растений. Количество растений с побуревшими коробочками к концу уборки составило 33–34% (в контроле — 20 и 18%) (табл. 4).

Одним из важнейших хозяйственно-ценных признаков табака является урожайность его листьев, на величине которой отразились все отмеченные различия в росте и развитии растений. Применение удобрения Витанолл NP при выращивании табачной рассады сорта Крупнолистный 9 М позволило получить достоверную прибавку и обеспечило повышение урожайности сырья на 7.8 ц/га (на 19%) по сравнению с контролем (НСР₀₅ = 2.3 ц/га), в эталоне — на 5.8 ц/га или на 14%). При выращивании рассады сорта Крупнолистный 11 использование удобрения обеспечило достоверную прибавку урожайности табака на 6.8 ц/га (на 16%) (НСР₀₅ = 2.4 ц/га), в эталоне — 7.3 ц/га или на 17% (табл. 5). Несмотря на малоблагоприятные погодные условия вегетационных периодов при проведении опытов удалось получить достаточно высокий урожай табака.

Важным показателем спелости табака, определяющим величину и качество урожая, является материальность технически зрелых листьев.

Таблица 3. Влияние применения удобрения Витанолл NP на динамику роста табака и площадь листа среднего яруса

Вариант	Высота растений, см			Количество листьев, шт./растение	Площадь листа среднего яруса, см ²
	через 45 сут	через 60 сут	в конце уборки		
Сорт Крупнолистный 9 М (2019 г.)					
Контроль	30	60	190	37	590
Эталон	34	68	205	40	651
Витанолл NP	36	70	209	40	680
HCP ₀₅	—	—	—	—	31
Сорт Крупнолистный 11 (2020 г.)					
Контроль	33	60	188	37	602
НРК (эталон)	36	68	204	39	779
Витанолл NP	37	67	202	38	760
HCP ₀₅	—	—	—	—	35

Примечание. Удобрения применяли при выращивании рассады табака.

Таблица 4. Влияние применения удобрения Витанолл NP на развитие растений и семенную продукцию табака

Вариант	Количество растений						с побуревшими коробочками, %
	на учетной делянке, шт.	нормально развитых		недоразвитых		цветущих, %	
		шт.	%	шт.	%		
Сорт Крупнолистный 9 М (2019 г.)							
Контроль	75	67	89	8	11	32	20
Эталон	74	70	95	4	5	34	30
Витанолл NP	75	72	96	3	4	36	33
Сорт Крупнолистный 11 (2020 г.)							
Контроль	67	62	93	5	7	23	18
Эталон	68	66	97	2	3	28	30
Витанолл NP	66	66	100	Нет		29	34

Определение содержания сухого вещества в единице площади листьев табака (материальность сырья) (табл. 6) показало, что у обработанных современным препаратом в рассадный период растений материальность табачных листьев увеличивалась на 7.1 (сорт Крупнолистный 9 М) и 5.3% (сорт Крупнолистный 11) по сравнению с контролем, что также не могло не повлиять на урожайность табачного сырья.

Применение удобрений повлияло и на качество сырья. Здесь уместно привести слова великого ученого прошлого века А.А. Шмука “если для других культур первостепенной задачей является получение высоких урожаев, то для табака качество — одно из основных требований”. Важными показателями при этом является содержание белков, никотина и углеводов. Например, никотин определяет уровень крепости табака (легкий табак содержит <1% никотина, средний

1.2–2.0% и крепкий — >2.5%), а углеводы и белки — его вкусовые свойства [19].

Испытанное удобрение улучшило химический состав табачного сырья за счет значительного по-

Таблица 5. Влияние применения удобрения Витанолл NP на урожайность табака

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка	
		ц/га	%
Сорт Крупнолистный 9 М (2019 г.)			
Контроль	40.3	—	—
Эталон	46.1	5.8	14
Витанолл NP	48.1	7.8	19
<i>HCP</i> ₀₅	2.3	—	—
Сорт Крупнолистный 11 (2020 г.)			
Контроль	43.6	—	—
Эталон	50.9	7.3	17
Витанолл NP	50.4	6.8	16
<i>HCP</i> ₀₅	2.4	—	—

Таблица 6. Влияние применения удобрения Витанолл NP на химический состав и материальность табачных листьев

Вариант	Содержание, %				Число Шмука	Матери- альность, г/дм ²
	никотина	углеводов	белков	хлора		
Сорт Крупнолистный 9 М (2019 г.)						
Контроль	1.1	1.2	6.3	0.15	0.19	0.575
Эталон	1.1	1.6	5.9	0.12	0.27	0.610
Витанолл NP	1.2	1.8	6.2	0.14	0.29	0.616
НСП ₀₅	—	0.2	—	—	—	0.013
Сорт Крупнолистный 11 (2020 г.)						
Контроль	2.0	4.0	5.3	0.12	0.75	0.570
Эталон	2.1	4.7	4.9	0.11	0.96	0.601
Витанолл NP	2.7	4.9	5.1	0.11	0.96	0.600
НСП ₀₅	—	0.2	—	—	—	0.011

вышения содержания углеводов (в 1.5 и 1.2 раза соответственно). Углеводно-белковое соотношение (число Шмука) — общепринятый показатель оценки качества табака — увеличилось в 1.5 раза (сорт Крупнолистный 9 М) и в 1.3 раза (сорт Крупнолистный 11). Число Шмука >1 свидетельствует о высококачественном табачном сырье. Количество хлора, влияющего на горючесть сырья, обнаружено в пределах допустимого — 0.11–0.14% (оптимальное содержание — ≤0.4%) (табл. 6).

Экономическую эффективность предлагаемого приема можно рассматривать с точки зрения экономии материальных ресурсов, которые складываются за счет уменьшения парниковой площади, необходимой для выгонки рассады с целью посадки на 1 га полевой площади. Например, для выращивания рассады табака сорта Крупнолистный 9 М на естественном фоне без применения удобрений необходимо 107 м² парниковой площади, сорта Крупнолистный 11 — 92 м² (при норме высадки 60.5 тыс. растений/га, т.е. 55 тыс. растений/га + 10% страховой фонд), при использовании препарата Витанолл NP — 67 м² и 69 м² соответственно сортам (в эталоне, т.е. при внесении расчетно-оптимальных доз минеральных удобрений — 68–69 м²).

Доход в полевой период складывался из разницы в урожае между участками, на которых были высажены растения контрольного варианта и варианта, где растения в рассадный период обрабатывали современным удобрением. Прибавка урожайности полученного сырья сорта Крупнолистный 9 М составила 7.8, сорта Крупнолистный 11 — 6.8 ц/га. При стоимости 200 руб./кг сухого табачного сырья доход достигал 156 и 136 тыс. руб./га соответственно сортам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании проведенного исследования установлено, что изученный препарат Витанолл NP по эффективности не уступал или мало уступал затратному варианту (эталону) с внесением в питательную смесь сбалансированного минерального удобрения и его вполне можно использовать в технологии возделывания табака. За счет полученной более качественной рассады, выращенной на питательном фоне с содержанием лабильного азота 35 мг/100 г субстрата (50% от оптимальной дозы), данный прием позволил улучшить все продуктивные параметры растений табака и, в конечном итоге, существенно увеличить урожайность культуры. У сорта табака Крупнолистный 9 М достоверная прибавка урожайности составила 7.8 ц/га или 19% (HCP₀₅ = 2.3 ц/га), у сорта Крупнолистный 11 — 6.8 ц/га или 16% (HCP₀₅ = 2.4 ц/га). Экономический эффект от полученного дополнительного урожая составил 156 и 136 тыс. руб./га соответственно. Важно отметить, что разработанный прием можно применять не только для выращивания табака, но и других рассадных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехин С.Н., Саломатин В.А., Мурзинова И.И., Писков В.П. Влияние основных агротехнологических приемов на урожайность и качество табака // Сб. науч. тр. ВНИИТТИ. Краснодар, 2010. Вып. 179. С. 215–229.
2. Алексеенко В.А., Бузмаков М.С., Панин М.С. Геохимия окружающей среды: учеб. пособ. для вузов. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2013. 359 с.
3. Гынку В.В. Выращивание хорошей рассады — залог высоких урожаев табака // Табак. 1987. № 1. С. 28.

4. Жидкое минеральное удобрение “Витанолл”. URL: <https://agroserver.ru/b/zhidkoe-mineralnoe-udobrenie-vitanoll-n-azotnoe-550026.htm> (дата обращения 17.12.2018).
5. Результаты испытания препарата Витанолл в ООО НПП “Агросфера” (Октябрьский р-н Ростовской обл.). URL: <https://agrarum.ru/page/1193323> (дата обращения 17.12.2018).
6. Гаврилов В.А., Федорова Ю.Н., Федотова Е.Н. Оценка влияния жидких комплексных удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы // Изв. Велюколухской ГСХА. 2020. № 2 (31). С. 13–16.
7. On the Effects of compound bioorganic fertilizer on yield and quality of flue-cured tobacco. URL: https://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotal-HN-ND200402006.htm (дата обращения 13.05.2021).
8. Subhashini D. V. Effect of NPK Fertilizers and co-inoculation with phosphate-solubilizing arbuscular mycorrhizal fungus and potassium-mobilizing bacteria on growth, yield, nutrient acquisition, and quality of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) // Commun. Soil Sci. Plant Anal. 2016. № 3 (47). P. 328–337. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1123724>
9. Reisi Z., Mahmoud Reza Tadayon, Fallah S. Effects of chemical and organic fertilizers on some of growth and quality indices of tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) // J. Plant Product. 2017. № 1 (40). P. 15–28. Doi: <https://doi.org/10.22055/PPD.2016.12451>
10. Алехин С.Н., Сидорова Н.В. Оптимальное содержание подвижных форм NPK в питательной смеси // Техн. культуры. 1993. № 1. С. 20–22.
11. Алехин С.Н., Плотникова Т.В., Саломатин В.А. Методическое руководство по проведению агротехнических опытов с табаком в рассадниках. Краснодар: ВНИИТТИ, 2013. 27 с.
12. Мещеряков А.М., Тетерина М.В. Извлечение и определение нитратов и аммония в почвах сероземной зоны Таджикистана // Агрохимия. 1972. № 6. С. 124–131.
13. ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1993. 6 с.
14. Еремеев Г.Н. Метод предпосадочного контроля приживаемости рассады табака и томатов // Докл. ВАСХНИЛ. 1950. Вып. 2. С. 25.
15. Алехин С.Н. Саломатин В.А., Исаев А.П., Рудомых В.П., Плотникова Т.В., Мурзинова И.И., Шулика Н.Г., Писклов В.П., Ларькина Н.И. Методическое руководство по проведению полевых агротехнических опытов с табаком (*Nicotiana tabacum* L.). Краснодар: ВНИИТТИ, 2011. 42 с.
16. Губенко Ф.П. Таблицы площадей табачных листьев (группа третья). Симферополь: Гос. изд-во Крымской АССР, 1936. 45 с.
17. Яковук А.С. Биологические основы культуры табака на семена. Кишинев: Штиинца, 1984. 231 с.
18. Бурлакина А.В., Дьячкин И.И., Лысенко Л.В. Метод определения сухого вещества в листьях табака в период уборки // Сб. НИР ВИТИМ. Краснодар, 1978. Вып. 167. С. 15–19.
19. Мохначев И.Г., Писклов В.П., Шерстяных Н.А., Сиروتенко А.А., Каменщикова С. В., Астахова Л.Г., Латаева Д.Н., Ковтунов В.С., Познякова Г.Н. Методы анализа табака и табачного дыма. Краснодар: ВИТИМ, 1976. 89 с. Деп. ВИНТИ № 2414-76.
20. ГОСТ 30038-93. Табак и табачные изделия. Определение алкалоидов в табаке. Спектрофотометрический метод. М.: Изд-во стандартов, 1995. 11 с.
21. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
22. Шмук А.А. Химия и технология табака. М.: Пищепромиздат, 1959. Т. 3. 187 с.

Response of Tobacco Plant to Utilizing Modern Vitaminized Fertilizer Vitanol during Seedling Period

T. V. Plotnikova^{a, #} and N. V. Sidorova^a

^a All-Russian research institute of tobacco, makhorka and tobacco products
Moskovskaya ul. 42, Krasnodar 350072, Russia

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

The effect of the polymer fertilizer Vitanol NP (N – 9–12, P – 28–30%) (at a dose of 0.3 ml/m²), applied together with irrigation water (1.0 l/m²) during the seedling period in the phases of development of tobacco plants “cross”, “ears” and “suitable for planting seedlings”, on the biometric indicators of seedlings was studied. Tobacco sowing was carried out on a long-term non-replaceable nutrient substrate with an artificially created nitrogen background at the rate of 50% of the optimal content of N35. Due to the higher-quality seedlings grown, this technique significantly increased the yield and quality of tobacco raw materials. A significant increase in the yield of the Large-leaved tobacco variety 9M reached 7.8 c/ha or 19% (the smallest significant difference or $SSD_{05} = 2.3$ c/ha), the Large-leaved variety-11 – 6.8 c/ha or 16% ($SSD_{05} = 2.4$ c/ha) to control. The economic effect in the field period due to the additional harvest was 156 and 136 thousand rubles/ha, respectively, for varieties.

Key words: seedbed soil, tobacco, seedling, fertilizer Vitanol NP, productivity, quality of cured tobacco,

УДК 631.861:631.82:631.559:631.582(470.55:571.11)

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕПРЕВШЕГО ГУСИНОГО ПОМЕТА И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОПАРОВОГО СЕВООБОРОТА В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАУРАЛЬЯ

© 2021 г. И. В. Синявский^{1,*}, А. М. Плотников², А. В. Созинов¹

¹ Южно-Уральский государственный аграрный университет
457100 Троицк, Челябинская обл., ул. Гагарина, 13, Россия

² Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т.С. Мальцева
641300 с. Лесниково, Курганская обл., Кетовский р-н, КГСХА, Россия

*E-mail: tvj_t@sursau.ru

Поступила в редакцию 22.03.2021 г.

После доработки 11.06.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Изучили влияние сочетаний птичьего помета и минеральных удобрений на урожайность зерновых культур в зернопаровом севообороте на черноземе выщелоченном лесостепного Зауралья. Показано, что данный прием позволял значительно повысить продуктивность пашни. В среднем за 3 года исследования сочетание органических и минеральных удобрений определяло продуктивность севооборота 2.07–2.17 т/га, что составило 140–147% относительно контрольного варианта. Также отмечена стабилизация в формировании фонда доступных форм элементов питания растений. Ежегодное внесение удобрений в дозе N40P40 на фоне гусиного помета 10 т/га способствовало увеличению в почве содержания P_2O_5 с 47 до 63 мг/кг относительно контроля. Содержание обменного калия выросло относительно контроля на 9%. Коэффициент использования азота удобрений в вариантах с внесением гусиного помета составил 41.0–43.5, фосфора – 26.3–30.4%.

Ключевые слова: гусиный помет, удобрения, агрохимические свойства почвы, урожайность, зерновые культуры, чернозем выщелоченный, севооборот.

DOI: 10.31857/S0002188121120140

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетное направление в повышении эффективности сельскохозяйственного производства основывается на планировании вопросов интенсификации, совершенствования экономических методов хозяйствования, переработки и реализации сельскохозяйственной продукции. Решение этой задачи можно осуществить за счет систематического повышения урожайности всех сельскохозяйственных культур, расширенного воспроизводства плодородия почвы и роста общей культуры земледелия. В связи с этим резко возрастает роль органических и минеральных удобрений. Огромный фактический материал, накопленный научно-исследовательскими учреждениями и передовыми хозяйствами нашей страны, свидетельствует о том, что при разумном применении удобрений можно получать высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур на всех типах почв [1–16].

Известно, что длительное использование пахотных почв при возрастающей интенсификации земледелия сказывается на почвообразовательных процессах. Применение в низких объемах органических и минеральных удобрений, а также химических мелиорантов в последние годы привело к значительному снижению почвенного плодородия [1, 4, 16].

Органические удобрения содержат питательные элементы в форме органических соединений растительного и животного происхождения. Систематическое их применение способствует накоплению гумуса, улучшает физико-химические свойства почвы, увеличивает запас питательных веществ, снижает кислотность, повышает содержание поглощенных оснований, поглощательную способность и буферность, создает оптимальные условия для минерального питания растений [2, 7, 9, 10].

Птичий помет является одним из самых распространенных видов удобрений органического

типа. Это наиболее концентрированное органическое удобрение с хорошим соотношением $C : N$, по скорости действия оно не уступает навозу крупного и мелкого рогатого скота и минеральным удобрениям.

В Российской Федерации и в Зауралье птичий помет является одним из основных видов сырья для получения органических и органо-минеральных удобрений. Данные виды удобрений можно применять в качестве основного, рядкового удобрения и подкормки растений. Используют помет разных сельскохозяйственных птиц, в том числе и гусей [6].

Считается, что пометные удобрения наиболее целесообразно и более эффективно использовать под пропашные, озимые культуры и однолетние травы. Но, на наш взгляд, в системе удобрения яровых культур они не менее эффективны при условии их комплексного сочетания с минеральными удобрениями, особенно в зернопаровых севооборотах или их звеньях. Следует согласиться, что в классическом случае их применения, наибольшие прибавки урожайности ранних яровых зерновых и овощных культур дает применение удобрений под основную вспашку. На этом основана большая часть рекомендованных и применяемых в Зауралье систем удобрения сельскохозяйственных культур, в том числе и зерновых [8, 12, 13]. Исследования по совершенствованию систем удобрения зерновых культур, включающих органические и органо-минеральные комплексы, полученные из птичьего помета, проведены в условиях лесостепной зоны Зауралья.

На черноземах лесостепного Зауралья повышение продуктивности агроценозов невозможно без применения удобрений. По данным агрохимических служб (ГСАС “Курганская”, САС “Шадринская” и “Центр химизации и сельскохозяйственной радиологии “Челябинский”), в черноземных почвах региона в связи с низкими объемами применяемых удобрений, отмечено снижение содержания элементов питания. В первом минимуме находятся азот и фосфор, балансу именно этих элементов должно уделяться наибольшее внимание [11, 15].

В настоящее время для лесостепной зоны Зауралья разработаны научно обоснованные системы удобрения, севооборотов и обработки почвы [14]. Однако баланс основных элементов питания в севооборотах и пути увеличения коэффициентов их использования из удобрений на черноземных почвах региона недостаточно изучены. Цель работы — изучение эффективности гусиного помета в качестве источника элементов питания в

зернопаровом севообороте на черноземе выщелоченном в условиях лесостепи Зауралья. Ранее подобные исследования на черноземе выщелоченном лесостепной зоны Зауралья не проводили.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в стационарных опытах на опытном поле Курганской ГСХА в 2017–2019 гг. Размещение вариантов в повторениях рендомизированное, повторность четырехкратная. Общая площадь делянки 15 м^2 , учетная — 12 м^2 ($2 \text{ м} \times 6 \text{ м}$). Минеральные удобрения вносили ежегодно перед посевом разбросным способом из расчета 20 и 40 кг д.в./га. В качестве удобрений применяли аммиачную селитру и суперфосфат простой. В связи с достаточно высокой обеспеченностью зерновых культур обменным калием при возделывании на черноземе выщелоченном систематическое применение калийного удобрения не рационально, поэтому оно не было включено в схему опыта. Гусиный помет вносили в запас на 3 года под предпосевную культивацию первой пшеницы в дозах 5 и 10 т/га. Состав помета: сухое вещество — 31.7, массовая доля золы в сухом веществе — 44.4, общее содержание азота — 3.8, фосфора — 1.8, калия — 1.3%. Использовали полуперепревший гусиный помет компании ООО “Племенной завод “Махалов”, г. Курган.

Предшественник первой пшеницы — черный пар. Посев яровой пшеницы проводили 28 мая (2017 г.) и 8 июня (2018 г.), овса — 5 июня (2019 г.) сеялкой СЗП-3.6. Высевали пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорт Омская 36 и овес (*Avena sativa* L.) сорта Скакун с нормой высева 5 млн всхожих семян/га. Уборку пшеницы проводили в фазе полной спелости 4 и 25 сентября, овса — 20 сентября комбайном для мелкоделяночных опытов марки “TERRION SR2010”. Учет урожая побочной продукции проводили вручную на каждой делянке методом пробного снопа и после взвешивания пересчитывали в т/га при стандартной влажности 14% и 100%-ной чистоте.

Схема опыта включала 9 вариантов: 1 — контроль (без удобрений), 2 — $N20P20$, 3 — $N40P40$, 4 — гусиный помет 5 т/га, 5 — гусиный помет 5 т/га + $N20P20$, 6 — гусиный помет 5 т/га + $N40P40$, 7 — гусиный помет 10 т/га, 8 — гусиный помет 10 т/га + $N20P20$, 9 — гусиный помет 10 т/га + $N40P40$.

Закладку опытов, проведение наблюдений и учет осуществляли согласно работе [3]. Исследование проводили полевыми и лабораторными методами. Агрохимические показатели определяли, используя следующие методы: отбор проб почвы — по ГОСТ 28168-89, содержание нитратного азота —

по ГОСТ 26951-86, подвижных форм фосфора и обменного калия — по методу Чирикова (ГОСТ 26204-91). Статистическую обработку данных учета урожая проводили методом дисперсионного анализа данных двухфакторного опыта, а также линейной корреляции по [3]. Регрессионный анализ проведен в программе STATISTICA.

Почва опытного поля Курганской ГСХА — чернозем выщелоченный малогумусный мало-мощный среднесуглинистый глубоковскипающий, по основным параметрам эффективного плодородия может быть отнесен к окультуренным типам. Сформирован на почвообразующих породах, относящихся к желто-бурым карбонатным суглинкам четвертичного возраста, элювиального происхождения. Содержание гумуса — 4.63%, pH_{KCl} 5.62, гидролитическая кислотность — 3.2, емкость поглощения — 28.4 мг-экв/100 г почвы. Содержание частиц <0.01 мм — 38.5%. Обеспеченность почвы опытных участков подвижным фосфором — низкая, обменным калием — высокая. Технология возделывания зерновых культур и использованные дозы удобрений соответствуют рекомендованным для данной зоны [14].

Сложившиеся погодные условия вегетационных периодов 2017–2018 гг. в основном можно считать неблагоприятными для пшеницы. В отдельные периоды отмечали обильное выпадение осадков, чередующееся с длительными засушливыми периодами, что не характерно для условий лесостепной зоны Зауралья. В мае 2017 г. среднемесячная температура воздуха была ниже на 0.1°C. Количество осадков составило 164% от среднееголетней нормы. В 2018 г. май был холоднее среднееголетних показателей на 2.9°C, а количество осадков выпало в 1.96 раза больше среднееголетней нормы, что отложило посев 2-й пшеницы на начало июня. Июнь был также холоднее на 1.7°C, а осадков в первой декаде после посева культуры выпало 11% от среднееголетней нормы, в целом за месяц выпало 72.9% от нормы. Июль и август характеризовались как более теплые, температура была выше среднееголетней на 1.2 и 0.5°C соответственно, но осадков выпало меньше — 59.8 и 91.1% от нормы.

Вегетационный период 2019 г. был холодным в июне и жарким в июле и августе, осадков в июне выпало 83.0% от нормы. Фактическая температура в июне, по данным наблюдений, была равна 16.9°C, отклонение от нормы составило –1.5°C. В июле осадков выпало 67.0% от нормы, отмечены суховеи с 13 по 17 июля. Июль был жарким со средней температурой 21.1°C. Осадки в 186% от нормы выпали в августе, что повлияло на удлинение вегетационного периода.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фосфатный режим неудобренной почвы за годы наблюдений был относительно стабильным. За 3 года исследования содержание подвижного фосфора в контроле менялось от 46 до 48 мг/кг почвы. Ежегодное применение суперфосфата простого повышало количество P_2O_5 в почве на 9 мг/кг (до 56 мг/кг) по сравнению с неудобренным вариантом. Внесение гусиного помета оказало влияние на накопление P_2O_5 в результате минерализации в первые 2 года исследования. В 2019 г. отмечена стабилизация его содержания в почве, а разница с контролем составила 11 мг/кг почвы.

Результаты стационарного опыта показали, что динамика содержания обменного калия во времени была выражена слабо. За период исследования исходное содержание обменного калия в почве соответствовало высокой обеспеченности этим элементом и в варианте без применения удобрений составило 155 мг/кг почвы. На его содержание оказали влияние изменения влажности почвы, состояние дисперсности коллоидной части почвы, вынос калия растениями. Применение помета повысило содержание калия за 3 года исследования на 2–9 мг/кг почвы, что находилось в пределах ошибки метода его определения и подтвердило низкую производственную эффективность применения калийных удобрений в условиях черноземных почв.

В условиях вегетационного периода 2017 г. урожайность пшеницы после пара в варианте без удобрений составила 1.57 т/га, при использовании минеральных удобрений в дозе N20P20 — 1.84 т/га, N40P40 — 1.94 т/га. Прибавки от применения минеральных удобрений составили 17.2–23.6%. На фоне применения гусиного помета 10 т/га урожайность составила 2.11 т/га, при совместном применении органических и минеральных удобрений урожайность была равна 2.35–2.43 т/га, прибавка составила 49.7–54.8% (табл. 1).

Во 2-й год исследования урожайность пшеницы без удобрений была меньше чем в 2017 г. и составила 1.50 т/га, при внесении минеральных удобрений урожайность составила 1.71–1.85 т/га. Последствие органического удобрения в дозе 10 т/га также повысило урожайность культуры до 1.63 т/га. В вариантах с совместным использованием органического и минеральных удобрений урожайность пшеницы была больше контроля на 0.69–0.73 т/га ($\text{HCP}_{05} = 0.07$ т/га).

В среднем за 2 года исследования прибавки урожайности пшеницы от использования минеральных удобрений составили 0.24–0.36, органического удобрения — 0.33, от совместного их ис-

Таблица 1. Влияние удобрений на продуктивность севооборота, т/га (Опытное поле КГСХА, 2017–2019 гг.)

Гусиный помет, т/га	Минеральные удобрения, кг/га			Средние вариантов с гусиным пометом
	0	N20P20	N40P40	
1-я пшеница				$HCP_{05} = 0.08$
0	1.57	1.84	1.94	1.78
5	2.03	2.22	2.46	2.24
10	2.11	2.35	2.43	2.30
Средние вариантов с минеральными удобрениями ($HCP_{05} = 0.08$)	1.90	2.14	2.28	2.11
HCP_{05} частных средних = 0.13				
2-я пшеница				$HCP_{05} = 0.04$
0	1.50	1.71	1.85	1.69
5	1.57	1.67	1.96	1.73
10	1.63	2.23	2.19	2.02
Средние вариантов с минеральными удобрениями ($HCP_{05} = 0.04$)	1.57	1.87	2.00	1.81
HCP_{05} частных средних = 0.07				
Овес				$HCP_{05} = 0.08$
0	1.72	1.92	1.96	1.87
5	1.76	2.16	2.22	2.05
10	1.85	2.35	2.38	2.19
Средние вариантов с минеральными удобрениями ($HCP_{05} = 0.08$)	1.78	2.14	2.19	2.04
HCP_{05} частных средних = 0.10				
Зерновые единицы, среднее за 3 года				
0	1.48	1.70	1.79	1.66
5	1.67	1.87	2.07	1.87
10	1.74	2.15	2.17	2.02
Средние вариантов с минеральными удобрениями	1.63	1.91	2.01	1.85

пользования – 0.75–0.77 т/га. Прибавка урожайности изученных в опыте зерновых культур от примененных доз удобрений была существенной по сравнению с контролем. В то же время, увеличение дозы гусиного помета с 5 до 10 т/га не вызвало достоверного роста урожайности 1-й пшеницы ($HCP_{05\text{помета}} = 0.08$ т/га), а двойная доза минерального удобрения (N40P40) не оказала существенного влияния на урожайность овса ($HCP_{05\text{мин. удобр}} = 0.08$ т/га) в сравнении с одинарной дозой N20P20.

Последействие органического удобрения в дозе 5 т/га не оказывало существенного влияния на урожайность овса ($HCP_{05} = 0.10$ т/га). В остальных вариантах опыта применение минеральных удоб-

рений на фоне птичьего помета показало существенную прибавку урожайности.

Доказуемые различия между действием всех доз гусиного помета, примененного отдельно от минерального удобрения, были отмечены только для 1-й пшеницы (HCP_{05} частных различий = 0.13 т/га). Увеличение дозы помета с 5 до 10 т/га не существенно повысило урожайность 2-й пшеницы (HCP_{05} частных различий = 0.07 т/га). Урожайность овса достоверно увеличивалась при последствии помета только при внесении его совместно с минеральным удобрением (HCP_{05} частных различий = 0.10 т/га). Видимо, на 3-й год действия помет в значительной степени утерл свою питательную способность.

Таблица 2. Вынос и поступление элементов питания растений за ротацию севооборота (Опытное поле КГСХА, 2017–2019 гг.)

Вариант	Поступление с удобрениями, кг/га			Суммарный вынос за ротацию, кг/га		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1. Контроль без удобрений	—	—	—	104	52.0	118
2. N20P20	60.0	60.0	—	124	62.7	132
3. N40P40	120	120.0	—	131	68.0	137
4. Гусиный помет 5 т/га	60.2	28.5	20.6	131	62.5	133
5. Гусиный помет 5 т/га + N20P20	120	88.5	20.6	150	71.3	142
6. Гусиный помет 5 т/га N40P40	180	149	20.6	166	78.6	151
7. Гусиный помет 10 т/га	120	57.0	41.2	154	69.3	149
8. Гусиный помет, 10 т/га + N20P20	180	117	41.2	174	82.4	162
9. Гусиный помет 10 т/га + N40P40	240	177	41.2	166	78.3	161

Примечание. Нумерация вариантов та же в табл. 4.

Сравнение действия 2-х доз минерального удобрения между собой при возделывании 1-й пшеницы показало достоверное повышение урожайности только при использовании его совместно с пометом. Для 2-й пшеницы именно на фоне применения гусиного помета 10 т/га удвоение дозы минерального удобрения не вызвало существенного отклика культуры. Третья культура севооборота (овес) вообще слабо отреагировала на двойную дозу минерального удобрения в сравнении с одинарной как отдельно, так и на фоне внесения гусиного помета.

За 3 года исследования суммарная продуктивность севооборота при внесении гусиного помета и минерального удобрения повышалась, но удвоение дозы с N20P20 до N40P40 оказало наименьшее воздействие на возделываемые культуры. По всей видимости, питательный режим выщелоченного чернозема был достаточен для возделывания зерновых культур при внесении N20P20 отдельно или совместно с перепревшим гусиным пометом в количестве 5 и 10 т/га.

В целом за ротацию севооборота в варианте без удобрений получено 4.45 т з.е./га. Применение смеси аммиачной селитры и суперфосфата увеличивало продуктивность севооборота до 5.36 т з.е. или в среднем на 14.9–21.0%. Создание благоприятных условий в результате совместного применения органических и минеральных удобрений позволило получить наибольший сбор з.е. в севообороте — продуктивность повысилась до 6.52 т з.е., а средняя составила 2.17 т з.е./га, что больше контроля на 46.6%.

Содержание минеральных веществ в растениях определяется в основном их биологическими особенностями, почвенно-климатическими условия-

ми произрастания и уровнем минерального питания. Внесение минеральных удобрений в опыте увеличивало вынос элементов питания. Химический состав растений, возделываемых в опыте, изменялся в зависимости от видов внесенных удобрений в широких пределах. Повышение содержания азота, фосфора и калия как в основной, так и в побочной продукции, отмечено при использовании минеральных удобрений.

Вынос элементов питания за ротацию севооборота определялся урожаем культур и химическим составом растений. Его величина составила в контрольном варианте: азота — 105, фосфора — 52.0, калия — 118 кг/га. При ежегодном внесении азотных и фосфорных удобрений в дозе 40 кг д.в./га вынос элементов увеличивался соответственно на 26.8 кг N и 16.0 кг P₂O₅. Наибольшим он был при внесении гусиного помета 10 т/га + N20P20 (табл. 2).

При увеличении доз удобрений отмечен положительный баланс соответствующих элементов. Особенно это заметно при внесении фосфорных удобрений — баланс фосфора становился положительным при увеличении доз суперфосфата (вариант 3), что свидетельствовало о его благоприятном влиянии на фосфатный режим почвы.

Примененные удобрения по-разному влияли на хозяйственный баланс элементов питания в севообороте. Например, ежегодная доза N40 компенсировала вынос азота только на 91.5%. При этом дефицит элемента составил 11.2 кг/га. Внесение суперфосфата в той же дозе привело к положительному балансу фосфора в севообороте — компенсация выноса составила 176%.

Коэффициенты использования элементов питания из удобрений, рассчитанные разностным

Таблица 3. Хозяйственный баланс и коэффициенты использования элементов из удобрений (Опытное поле КГСХА, 2017–2019 гг.)

Вариант	Баланс $\pm$, кг/га		Коэффициент использования из удобрений, %	
	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
1. Контроль без удобрений	–104	–52.0	–	–
2. N20P20	–64.0	–2.7	32.7	17.8
3. N40P40	–11.2	52.0	22.3	13.3
4. Гусиный помет 5 т/га	–70.4	–34.0	43.5	26.3
5. Гусиный помет 5 т/га + N20P20	–30.0	17.2	38.1	21.8
6. Гусиный помет 5 т/га + N40P40	14.2	69.9	34.2	17.9
7. Гусиный помет 10 т/га	–33.4	–12.3	41.0	30.4
8. Гусиный помет 10 т/га + N20P20	6.2	34.6	38.7	26.0
9. Гусиный помет 10 т/га + N40P40	74.7	98.7	25.5	14.9

методом при совместном внесении минеральных удобрений (N20P20) и помета (5 т/га) составили 38.1 (N), 21.8% (P). Наиболее высокий коэффициент использования азота был при применении помета в дозе 5 т/га – 43.5%. Это связано с хорошим последствием помета, оно было эффективнее по сравнению с минеральными удобрениями, т.к. часть азота в почве находится в органической форме и постепенно переходит в доступное для растений состояние.

В то же время с увеличением доз минеральных удобрений наблюдали снижение коэффициентов использования культурами азота и фосфора. Коэффициент использования фосфора из суперфосфата был равен 17.8% в варианте с применением N20P20, в варианте применения помета в дозе 10 т/га – 26.0%. Внесение суперфосфата в дозе P40 обеспечивало положительный баланс фосфора, при этом коэффициент использования питательных элементов за ротацию севооборота составил 13.3%. Такой коэффициент свидетельствовал о слабом усвоении фосфатов растениями из-за неблагоприятных погодных условий. Большая часть фосфора в гусином помете представлена органическими соединениями, слабо закреплявшимися в почве в виде фосфатов Fe, Al и Ca, и по мере минерализации органического вещества усваивалась растениями. Поэтому фосфор помета усваивался лучше по сравнению с фосфором минеральных удобрений (табл. 3).

Повышение уровня минерального питания в вариантах с сочетанием органических и минеральных удобрений способствовало процессу формирования биомассы и тем самым – активному накоплению калия в основной и побочной продукции, при этом в данный процесс был вовлечен как почвенный калий, так и из гусиного

помета, при этом коэффициент его использования превысил 100%. На наш взгляд, это может происходить в условиях тех почв, где не отмечен дефицит элемента питания, а фонд его подвижных форм достаточно высок. Таковыми являются черноземные почвы Зауралья, а полученный результат расчета подтверждает, что содержание K₂O в них не лимитирует биопродуктивность культурных растений. Использование питательных веществ из удобрений изменялось в широких пределах и было обусловлено в основном дозами внесенных удобрений.

Для выявления существующих зависимостей между изученными показателями была составлена корреляционная матрица (табл. 4). Подтверждены парные линейные корреляционные зависимости практически между всеми показателями. Регрессионный анализ зависимости средней продуктивности севооборота за 2017–2019 гг. от среднего содержания в почве подвижного фосфора и обменного калия при применении минеральных и органических удобрений показал наличие прямой линейной множественной зависимости (рис. 1). Выявленная зависимость выражается уравнением регрессии (1):

$$Y = -1.9657 + 0.029X_1 + 0.0134X_2, \quad (1)$$

где Y – средняя продуктивность севооборота за 2017–2019 гг., т з.е./га, X_1 – среднее содержание подвижного фосфора в почве, мг/кг, X_2 – среднее содержание обменного калия в почве, мг/кг.

Сопоставление фактических и расчетных данных средней продуктивности севооборота показало различия >5% в 4-х вариантах из 9-ти (табл. 5).

Таблица 4. Корреляционная матрица изученных показателей в опыте

Показатель	Вариант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Поступление азота с удобрениями, кг/га	—								
Поступление фосфора с удобрениями, кг/га	0.94	—							
Поступление калия с удобрениями, кг/га	0.71	0.43	—						
Среднее содержание подвижного фосфора, мг/кг	0.90	0.82	0.71	—					
Среднее содержание обменного калия, мг/кг	0.87	0.68	0.91	0.81	—				
Средняя продуктивность севооборота, т з.е./га	0.96	0.91	0.66	0.89	0.84	—			
Коэффициент использования азота удобрений, %	0.36	0.21	0.54	0.63	0.34	0.38	—		
Коэффициент использования фосфора удобрений, %	0.34	0.12	0.64	0.57	0.39	0.33	0.96	—	
Коэффициент использования калия удобрений, %	0.70	0.56	0.70	0.81	0.81	0.74	0.55	0.48	—

Регрессионный анализ зависимости суммарной продуктивности севооборота за 2017–2019 гг. от количества внесенных за 3 года минеральных и органических удобрений в пересчете на действующее вещество показал наличие прямой линей-

ной множественной зависимости (рис. 2). Выявленная зависимость выражена уравнением регрессии (2):

$$Y = 4.4311 + 0.0047X_1 + 0.005X_2, \quad (2)$$

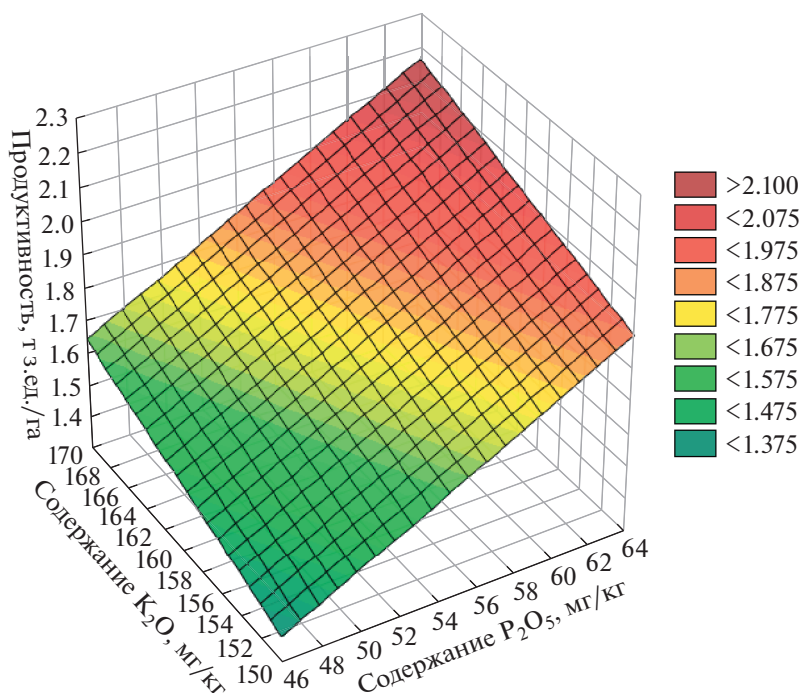


Рис. 1. Зависимость средней продуктивности севооборота (т з.е./га) от содержания в почве подвижного фосфора и обменного калия, мг/кг.

Таблица 5. Верификация уравнения регрессии (1)

Вариант	X_1	X_2	$Y_{\text{факт}}$	$Y_{\text{расч}}$	Отклонение	
					т/га	%
1. Контроль без удобрений	47	155	1.48	1.47	−0.01	0.39
2. N20P20	54	152	1.70	1.64	−0.06	3.70
3. N40P40	56	156	1.79	1.75	−0.04	2.31
4. Гусиный помет 5 т/га	55	157	1.67	1.73	0.06	3.78
5. Гусиный помет 5 т/га + N20P20	62	162	1.87	2.00	0.13	7.12
6. Гусиный помет 5 т/га + N40P40	61	164	2.07	2.00	−0.07	3.34
7. Гусиный помет 10 т/га	58	164	1.74	1.91	0.17	9.99
8. Гусиный помет 10 т/га + N20P20	61	167	2.15	2.04	−0.11	5.07
9. Гусиный помет 10 т/га + N40P40	53	169	2.17	1.84	−0.33	15.4

где Y — общая продуктивность севооборота за 2017–2019 гг., т з.е./га, X_1 — доза минеральных удобрений за 3 года, кг д.в./га, X_2 — норма птичьего помета, кг д.в./га.

Сопоставление фактических и расчетных данных средней продуктивности севооборота показало различия $>5\%$ только в 2-х вариантах из 9-ти (табл. 6).

Выявленные зависимости позволили прогнозировать продуктивность зернопарового севооборота при использовании птичьего помета и минеральных удобрений с учетом содержания подвижного фосфора и обменного калия в почве.

В целом за 3 года применения органо-минеральной системы удобрения продуктивность зернопарового севооборота находилась на достаточно низком уровне. На наш взгляд, этому способствовали складывающиеся погодные условия в периоды роста и развития зерновых культур в годы проведения исследования, которые были отмечены как не благоприятные и не характерные для центральной черноземной зоны Зауралья. Косвенным подтверждением этого были достаточно низкие коэффициенты использования азота как из минеральных удобрений, так и из органических. Их величины не превышали 43.5%, а в

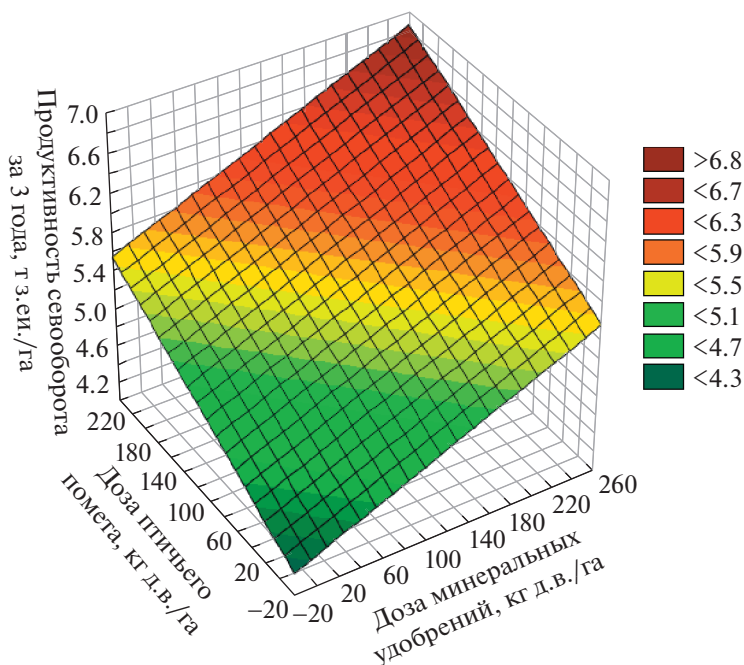


Рис. 2. Зависимость общей продуктивности севооборота за 3 года, т з.е./га от доз минеральных удобрений и птичьего помета, кг д.в./га.

Таблица 6. Верификация уравнения регрессии (2)

Вариант	X_1	X_2	$Y_{\text{факт}}$	$Y_{\text{расч}}$	Отклонение	
					т/га	%
1. Контроль без удобрений	0	0	4.45	4.43	–0.02	0.42
2. N20P20	120	0	5.09	5.00	–0.09	1.86
3. N40P40	240	0	5.36	5.56	0.20	3.71
4. Гусиный помет 5 т/га	0	109.3	5.01	4.98	–0.03	0.65
5. Гусиный помет 5 т/га + N20P20	120	109.3	5.62	5.54	–0.08	1.40
6. Гусиный помет 5 т/га + N40P40	240	109.3	6.20	6.11	–0.09	1.52
7. Гусиный помет 10 т/га	0	218.6	5.22	5.52	0.30	5.83
8. Гусиный помет 10 т/га + N20P20	120	218.6	6.46	6.09	–0.37	5.76
9. Гусиный помет 10 т/га + N40P40	240	218.6	6.52	6.65	0.13	2.03

ряде вариантов находились на уровне 22–25%. Это свидетельствовало о том, что процесс минерализации органических веществ гусиного помета и высвобождение минерального азота из азотных удобрений проходил с низкой интенсивностью. При этом в сопутствующих наблюдениях отметили значительное снижение микробиологической активности, причем во все годы температурный режим и водный баланс складывались таким образом, что в составе минеральных форм азота преобладали аммонийный азот, что не характерно для черноземной зоны Зауралья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, показано, что урожайность зерновых культур за ротацию зернопарового севооборота в варианте без применения удобрений была достаточно низкой и составила 1.48 т з.е./га, при использовании минеральных удобрений в дозах N20–40 и P20–40 она увеличилась до 1.70–1.79 т/га. Сочетание органических и минеральных удобрений позволило поднять продуктивность до 2.07–2.17 т/га, что составило 140–147% относительно контроля. Это свидетельствовало о том, что даже в не благоприятных погодных условиях при применении органо-минеральной системы удобрения этот технологический прием остается эффективным и позволяет значительно повысить продуктивность пашни.

За 3 года исследования отмечена стабилизация в формировании фонда доступных форм элементов питания растений. При ежегодном внесении N40P40 на фоне применения гусиного помета 10 т/га содержание P_2O_5 составило 63 мг/кг относительно 47 мг/кг в контроле. Содержание K_2O в черноземных почвах Зауралья находится на достаточно высоком уровне, но применение орга-

нического удобрения в виде перепревшего гусиного помета способствовало его увеличению, применению повышенной дозы органического удобрения. За 3 года содержание обменного калия выросло относительно контроля на 9%.

Сочетание органических и минеральных удобрений способствовало более полному использованию элементов питания зерновыми культурами относительно вариантов применения минеральных форм, но максимальный коэффициент использования азота отмечен в вариантах с внесением гусиного помета: он составил 41.0–43.5%. Наиболее интенсивное использование фосфора удобрений зерновыми культурами отмечено в варианте с внесением гусиного помета 10 т/га, коэффициент использования достиг 30.4%. При этом наиболее низкие величины данного показателя отмечены в вариантах с применением минеральных удобрений в чистом виде.

Выявленные зависимости позволили прогнозировать продуктивность зернопарового севооборота при использовании птичьего помета и минеральных удобрений с учетом содержания подвижного фосфора и обменного калия в почве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамов Н.В.* Земледелие Западной Сибири. 2 изд. Тюмень: ТГСХА, 2009. 348 с.
2. *Аристархов А.Н.* Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. М.: ЦИНАО, 2000. 522 с.
3. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. *Егоров В.П., Кривонос Л.А.* Почвы Курганской области. Курган: Изд-во “Зауралье”, 1995. 176 с.
5. *Еремин Д.И., Уфимцева М.Г.* Рациональное применение минеральных удобрений как фактор экологической безопасности агроценозов // Аграр. вестн. Урала. 2013. № 12 (118). С. 63–66.

6. Кидин В.В. Органические удобрения. М.: РГАУ—МСХА им. К.А. Тимирязева, 2012. 166 с.
7. Кидин В.В. Особенности питания и удобрения сельскохозяйственных культур. М.: РГАУ—МСХА им. К.А. Тимирязева, 2009. 412 с.
8. Кузнецов П.И., Егоров В.П. Научные основы экологизации земледелия в лесостепи Зауралья. Курган: Изд-во “Зауралье”, 2001. 366 с.
9. Панников В.Д., Минеев В.Г. Почва, климат, удобрения и урожай. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
10. Петербургский А.В. Агрохимия и физиология питания растений. М.: Россельхозиздат, 1981. 184 с.
11. Плотников А.М., Кабдунова Г.С. Баланс элементов питания и продуктивность зернопарового севооборота при применении минеральных удобрений // Пробл. агрохим. и экол. 2018. № 1. С. 38–41.
12. Синявский И.В., Чиняева Ю.З., Калганов А.А. Последствие минеральных и органо-минеральных удобрений на микрофлору почвы и урожайность яровой пшеницы в условиях северной лесостепи Зауралья // Изв. Высш. уч. заведений. Урал. регион. 2017. № 1. С. 110–117.
13. Система адаптивно-ландшафтного земледелия Курганской области / Под ред. Иванова А.Л. Куртамыш: Куртамышская типография, 2012. 494 с.
14. Системы удобрения в агротехнологиях Зауралья / Под ред. Волынкиной О.В. Куртамыш: Куртамышская типография, 2017. 284 с.
15. Созинов А.В., Горбунов М.Ю. Методология мониторинга подвижных форм азота и фосфора в черноземе выщелоченном // Вестн. Курган. ГСХА. 2013. № 1 (5). С. 24–26.
16. Шильников И.А., Сычев В.Г., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Бондарева Т.Н., Кузнецов С.В. Потери элементов питания растений в агробиогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации. М.: ВНИИА, 2012. 351 с.

Influence of Rotted Goose Droppings and Mineral Fertilizers on the Productivity of Grain-Steep Crop Rotation in the Conditions of the Forest-Steppe Zone of the Trans-Urals

I. V. Sinyavskiy^{a, #}, A.M. Plotnikov^b, and A.V. Sozinov^a

^a South-Ural State Agrarian University

ul. Gagarina 13, Chelyabinsk region, Troitsk 457100, Russia

^b T. S. Maltsev Kurgan State Agricultural Academy, KGSHA

Kurgan region, Ketovsky district, s. Lesnikovo 641300, Russia

[#]E-mail: tvl_t@sursau.ru

The influence of combinations of bird droppings and mineral fertilizers on the yield of grain crops in the grain-steep crop rotation on the leached chernozem of the forest-steppe Trans-Urals was studied. It is shown that this technique allowed to significantly increase the productivity of arable land. On average, over the 3 years of the study, the combination of organic and mineral fertilizers determined the crop rotation productivity of 2.07–2.17 t/ha, which was 140–147% relative to the control variant. The stabilization in the formation of the fund of available forms of plant nutrition elements was also noted. The annual application of fertilizers at a dose of N40P40 against the background of goose droppings of 10 t/ha contributed to an increase in the content of P₂O₅ in the soil from 47 to 63 mg/kg relative to the control. The content of exchangeable potassium increased by 9% relative to the control. The coefficient of nitrogen use of fertilizers in the variants with the introduction of goose droppings was 41.0–43.5, phosphorus – 26.3–30.4%.

Key words: goose droppings, fertilizers, agrochemical properties of the soil, yield, grain crops, leached chernozem, crop rotation.

УДК 631.811.98:631.559:633.11“324”

ВЛИЯНИЕ НОВОГО РЕГУЛЯТОРА РОСТА РАСТЕНИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ¹

© 2021 г. Л. В. Дядюченко^{1,*}, В. В. Тараненко¹, В. С. Муравьев¹

¹ Федеральный научный центр биологической защиты растений
350039 Краснодар, п/о 39, Россия

*E-mail: ludm.dyadiuchenko@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.05.2021 г.

После доработки 07.06.2021 г.

Принята к публикации 12.07.2021 г.

Целью работы был поиск новых действующих веществ, которые могут послужить основой создания рострегуляторов озимой пшеницы. Для скрининга была синтезирована группа новых производных пиразоло[3,4-*b*]пиридинов, в числе которых выявлено вещество, проявлявшее в условиях лабораторного опыта существенное ростстимулирующее действие. Отобранное соединение было изучено в полевых мелкоделяночных опытах на растениях озимой пшеницы сортов Гром и Безостая-100 в период с 2017 по 2020 г. Опыты проводили на экспериментальном поле ФНЦБЗР, г. Краснодар (центральная зона Краснодарского края). Вегетирующие растения озимой пшеницы обрабатывали водным раствором регулятора роста дважды: в фазе кущения и фазе флагового листа при норме применения 30 г/га. Использование рострегулятора позволило увеличить урожайность культуры на 7.9–12.1%, при этом содержание сырого белка в зерне превосходило уровень контроля. Отмечено также положительное влияние изученного соединения на рост и развитие органов, формирующих структуру урожая, и фотосинтетическую деятельность растений.

Ключевые слова: регулятор роста растений, продуктивность, озимая пшеница.

DOI: 10.31857/S0002188121100070

ВВЕДЕНИЕ

Самым популярным злаком на Земле была и остается пшеница, ее яровые и озимые сорта. Озимая пшеница отличается высокой продовольственной ценностью, великолепными вкусовыми качествами и содержит большое количество веществ, необходимых для полноценного функционирования человеческого организма: белки, крахмал, жиры, зольные вещества, витамины группы В, РР, Е, провитамины – каротин и эргостерин.

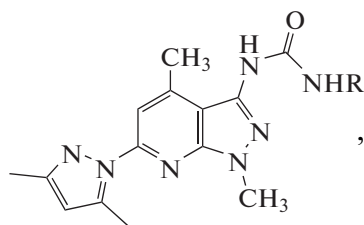
В структуре посевных площадей РФ наибольшую долю среди зерновых культур занимает пшеница (озимая и яровая) ~37% всех площадей, она является стратегической культурой. В Краснодарском крае, одном из основных производителей зерна озимой пшеницы в нашей стране, в 2021 г. под посевами этой культуры занято ~1.6 млн га. В связи с этим повышение урожайности и качества зерна имеет важное значение в увеличении его производства. В мировой практике

сельского хозяйства для формирования высокого урожая применяют регуляторы роста растений (*PPP*) [1, 2]. Рострегуляторы воздействуют на интенсивность и направленность процессов жизнедеятельности растений, позволяют им более эффективно использовать все, что запланировано генотипом растений, но в силу ряда причин осталось нереализованным. *PPP* дают возможность повышать урожай культур, улучшать качество, условия уборки и хранения продукции. За рубежом регуляторы роста разрабатывают и используют широко [3–5], но в России говорить об их широком применении еще рано.

Цель работы – скрининг регуляторов роста озимой пшеницы в ряду производных пиразолопиридинов. Ранее в числе производных азотсодержащих гетероциклов были найдены соединения с рострегулирующей [6], антидотной активностью по отношению к гербицидам гормонального типа действия [7, 8], а также с иммуномодулирующим действием на растения [9].

¹ Работа выполнена в соответствии с государственным заданием № 075-00376-19-00 Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0013.

Для поиска регуляторов роста нами синтезирована серия замещенных пиразолопиридинов общей формулы I:



Вегетирующие растения обрабатывали водным раствором регулятора роста дважды: в фазе кушения и в фазе флагового листа при норме расхода 30 г/га. Опрыскивание проводили с помощью опрыскивателя ОЭМП-16. В качестве эталона сравнения использовали препарат Ретацел,

Первичная оценка синтезированных веществ в условиях лабораторного опыта позволила установить, что N-[6-(3,5-диметил-1H-пиразолил-1)-1,4-диметил-1H-пиразоло[3,4-b]пиридинил-3]-3,3-диметилбутанамид (соединение **Ie**) проявляло рострегулирующую активность на уровне 22–24%:

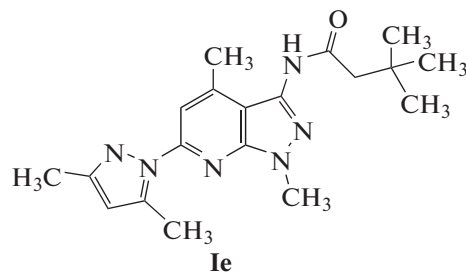


Таблица 1. Влияние регулятора роста (соединения **Ie**) на урожайность и качество зерна озимой пшеницы при норме расхода 30 г/га (2017–2020 гг.)

Шифр соединения, норма применения, г/га	Урожайность зерна	Прибавка к контролю		Белок	Клейковина
	ц/га		%		
2017 г., сорт Гром					
Соединение Ie	56.9	4.2	7.9	13.8	28.0
Ретацел	55.4	2.7	5.1	13.4	27.4
Контроль	52.7	—	—	12.6	26.4
<i>HCP</i> ₀₅	2.0	0.9	—	0.3	0.9
2018 г., сорт Гром					
Соединение Ie	62.1	6.6	12.0	13.9	28.0
Ретацел	61.2	5.7	10.3	13.6	27.2
Контроль	55.5	—	—	13.0	26.1
<i>HCP</i> ₀₅	2.7	0.8	—	0.5	1.0
2019 г., сорт Гром					
Соединение Ie	58.3	6.4	12.4	13.6	27.0
Ретацел	57.0	5.1	9.8	13.0	26.7
Контроль	51.9	—	—	12.3	25.7
<i>HCP</i> ₀₅	1.2	0.6	—	0.3	0.9
2020 г., сорт Безостая-100					
Соединение Ie	44.4	5.2	13.2	15.7	33.3
Ретацел	41.3	2.1	5.4	15.5	31.7
Контроль	39.2	—	—	14.3	29.7
<i>HCP</i> ₀₅	1.7	0.8	—	0.2	1.2

В 2017–2019 гг. отобранное вещество **Ie** изучали в полевых условиях на растениях озимой пшеницы сорта Гром. Полученные данные урожайности и качества зерна представлены в табл. 1. Урожайность культуры по годам несколько отличалась из-за неодинаковых погодных условий, но применение регулятора роста обеспечило стабильную и существенную прибавку урожая относительно контроля, которая одновременно превосходила таковую в вариантах с использованием эталона Ретацел. Средняя прибавка урожая от применения рострегулятора за трехлетний период составила 10.8%. Положительное влияние изученное соединение **Ie** оказало и на качество зерна. Например, содержание белка в зерне увеличилось на 0.9–1.3% в сравнении с контрольным вариантом, содержание клейковины — на 1.3–1.9%.

В 2020 г. полевые эксперименты проводили с растениями сорта Безостая-100. Вследствие неблагоприятных погодных условий (засухи) урожай культуры был меньше среднего. Однако обработка регулятором роста, очевидно, позволила растениям адаптироваться к стрессовой ситуации и увеличить урожайность на 5.2 ц/га, что составило 13.2% к контролю.

В эксперименте установлено, что применение соединения **Ie** в качестве регулятора роста увеличивало количество продуктивных стеблей в среднем на 5–7% относительно контроля, высота растений превышала на 3–6 см контрольный вариант. Длина колоса увеличилась на 6.1%, количество колосков в колосе — на 6.9%, количество зерен в колосе — на 7.8% (средние показатели за период испытаний). Масса зерна в колосе и масса 1000 зерен превышала также контрольный вариант (табл. 2).

В последние годы появляется все больше работ, свидетельствующих о важной роли фотосинтетических пигментов, в частности хлорофилла *b*, в регуляции развития растений [15]. Хлорофилл *b* важен не только для фотосинтетической функции, но его недостаток вызывает снижение скорости роста и уменьшение размера листьев и биомассы растений, задержку цветения и преждевременный запуск программ онтогенетического и индуцированного старения [15].

Динамика изменения общего содержания пигментов в листьях озимой пшеницы отображена на рис. 1. Показано, что в растениях, обработанных соединением **Ie**, содержание пигментов на протяжении всего периода вегетации было больше, чем

Таблица 2. Влияние регулятора роста (соединения **Ie**) на структуру урожая озимой пшеницы (2017–2020 гг.)

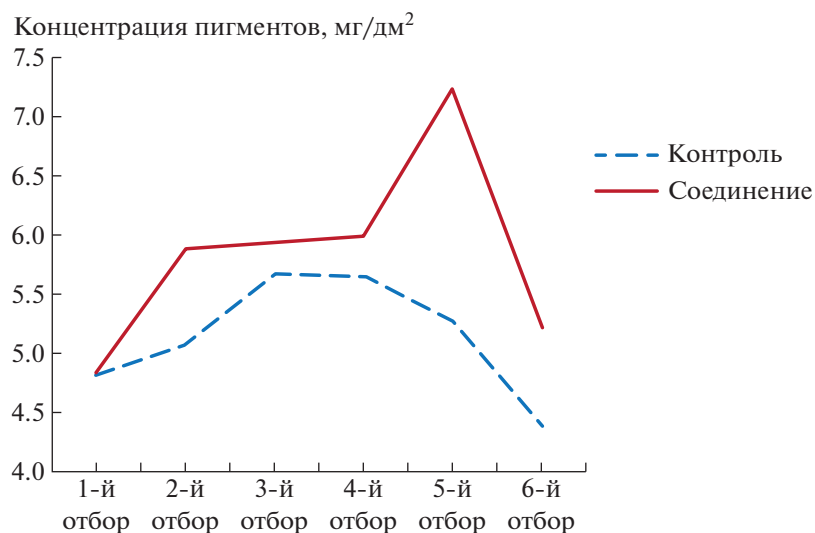
Вариант (доза, г/га)	Длина колоса, мм	Количество колосков в колосе, шт.	Количество зерен в колосе, шт.	Масса зерна в колосе, г	Масса 1000 семян, г
2017 г., сорт Гром					
Соединение Ie	96.6	26.1	37.5	1.70	42.0
Контроль	92.5	24.0	36.6	1.50	40.1
<i>HCP</i> ₀₅	2.9	1.5	0.7	0.2	1.6
2018 г., сорт Гром					
Соединение Ie	99.7	28.5	43.5	2.18	43.2
Контроль	96.2	27.0	41.8	2.10	39.8
<i>HCP</i> ₀₅	0.4	1.1	1.2	0.1	2.4
2019 г., сорт Гром					
Соединение Ie	83.4	24.5	36.0	1.74	44.0
Контроль	74.0	23.0	32.1	1.45	40.7
<i>HCP</i> ₀₅	4.2	2.1	2.2	0.1	2.4
2020 г., сорт Безостая-100					
Соединение Ie	74.4	23.7	37.1	1.2	36.8
Контроль	71.4	22.2	32.6	1.1	34.2
<i>HCP</i> ₀₅	2.6	0.2	2.4	0.1	2.0

в контрольном варианте. Таким образом, усиление фотосинтетического потенциала растений при использовании регулятора роста внесло свой вклад в увеличение продуктивности культуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате скрининга новых регуляторов роста озимой пшеницы в ряду синтезированных производных пиразоло[3,4-*b*]пиридинов выявлено соединение (**Ie**), обладающее вы-

соким рострегулирующим эффектом. Четырехрехлетние испытания **Ie** на растениях озимой пшеницы сортов Гром и Безостая-100 в условиях полевого мелкоделяночного опыта позволили установить, что при двукратном применении регулятора роста при норме применения 30 г/га в фазе кущения и фазе флагового листа существенно и достоверно увеличивалась урожайность культуры. Повышение урожайности было следствием положительного влияния регулятора роста на развитие органов, формирующих структуру

**Рис. 1.** Содержание фотосинтетических пигментов в листьях вегетирующих растений озимой пшеницы, мг/дм² (2019 г.).

урожая. Под воздействием регулятора роста улучшалось также качество урожая — содержание сырого белка и клейковины в зерне озимой пшеницы обоих сортов превосходило таковое в зерне контрольного варианта (без обработки).

Таким образом, синтезированное соединение **1e** перспективно в качестве действующего вещества для нового отечественного регулятора роста озимой пшеницы. Целесообразно также дальнейшее его изучение на других сортах пшеницы кубанской селекции и на более масштабных площадях. Планируется также проведение исследований на других культурах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nickell L.G. Plant Growth Regulating Chemicals. CRC Press, 2018. 266 p.
2. Захарычев В.В. Гербициды и регуляторы роста растений. М.: ПХТУ им. Менделеева, 2007. 204 с.
3. Isaichev V.A., Andreyev N.N., Toigildin A.L., Podsevalov M.I., Toigildina I.A. Influence of growth regulators and macroelements on dynamic pattern of nitrogen and protein content in wheat grain // Res. J. Pharmaceut. Biol. Chem. Sci. 2016. № 6. P. 62–68.
4. Peng J., Yang X., Luo M.-N., Liu X.-P. Effects of spraying a blended plant growth regulator on the tillering, growth, and the cold-resistance of different wheat varieties // Agricult. Res. Arid Areas. 2019. № 1. P. 137–143.
5. Provalova E.V., Toigildin A.L., Erofeev S.E. The application of new generation growth regulators to increase the grain productivity of winter wheat // Res. J. Pharmaceut. Biol. Chem. Sci. 2015. № 6. P. 117–120.
6. Дядюченко Л.В., Тараненко В.В., Дмитриева И.Г. Изучение рострегулирующих свойств производных пиридин-2-сульфанилацетанилидов на растениях сои // Агрохимия. 2020. № 5. С. 12–16.
7. Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г., Назаренко Д.Ю., Стрелков В.Д. Антидотная и рострегулирующая активность N1-арил-N2-(замещенный нитрилонитрил)гидразонов // Агрохимия. 2014. № 7. С. 33–37.
8. Стрелков В.Д., Дядюченко Л.В., Дмитриева И.Г., Исакова Л.И. Синтез и скрининг гербицидных антидотов на подсолнечнике // Международная научно-практическая конф. “Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем”, г. Краснодар. 2010. С. 503–516.
9. Дядюченко Л.В., Назаренко Д.Ю., Ткач Л.Н., Тосуннов Я.К., Дмитриева И.Г. Поиск новых иммуномодуляторов сахарной свеклы в ряду производных пиридилгидразонов // Политемат. электр. научн. журн. КубГАУ. 2016. № 122 (08). С. 461–470.
10. Дмитриева И.Г., Дядюченко Л.В., Стрелков В.Д., Кайгородова Е.А. Синтез и превращения замещенных 4,6-диметилпиразоло[3,4-*b*]-пиридил-3-азидов и -сульфонилхлоридов // Химия гетероцикл. соед. 2008. № 10. С. 1556–1565.
11. Гост 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Введ. 19.12.1984. М.: Изд-во стандартов, 1985. 57 с.
12. Руководство проведения регистрационных испытаний регуляторов роста растений, дефолиантов и десикантов в сельском хозяйстве // М.: Минселхоз РФ, 2018. 223 с.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по требованию, 2012. 352 с.
14. Lichtenthaler H.K., Wellburn A.R. Determinations of total extracts in different solvents // Biochem. Soc. Transact. 1983. № 5. P. 591–592.
15. Тютерева Е.В., Дмитриева А.А., Войцеховская О.В. Хлорофилл *b* как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений // Сел.-хоз. биол. 2017. № 5. С. 843–855.

Effect of the New Growth Regulator on Winter Wheat Productivity

L. V. Dyadyuchenko^{a, #}, V. V. Taranenko^a, and V. S. Muravyov^a

^a Federal Research Center of Biological Plant Protection, p/o 39, Krasnodar 350039, Russia

[#]E-mail: ludm.dyadyuchenko@yandex.ru

The aim of the work was to search for new active substances that can serve as the basis for creating growth regulators of winter wheat. For screening, a group of new pyrazolo[3,4-*b*]-pyridine derivatives was synthesized, including a substance that showed a significant growth-stimulating effect in laboratory conditions. The selected compound was studied in field small-scale experiments on winter wheat plants of the Grom and Bezostaya-100 varieties in the period from 2017 to 2020. The experiments were carried out on the experimental field of the Federal Research and Development Center, Krasnodar (the central zone of the Krasnodar Territory). Vegetative plants of winter wheat were treated with an aqueous solution of the growth regulator twice: in the tillering phase and the flag leaf phase at a rate of 30 g/ha. The use of the growth regulator allowed to increase the crop yield by 7.9–12.1%, while the content of raw white in the grain exceeded the control level. The positive effect of the studied compound on the growth and development of organs that form the structure of the crop and the photosynthetic activity of plants is also noted.

Key words: plant growth regulator, productivity, winter wheat.

УДК 632.95.028:633.1

ДЕГРАДАЦИЯ МЕФЕНТРИФЛУКОНАЗОЛА И ФЛУКСАПИРОКСАДА В ЗЕРНОВЫХ КОЛОСОВЫХ КУЛЬТУРАХ

© 2021 г. В. В. Человечкова^{1,*}, А. С. Комарова¹, Т. Д. Черменская¹

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
196608, Санкт-Петербург—Пушкин, ш. Подбельского, 3, Россия*

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

Поступила в редакцию 06.04.2021 г.

После доработки 21.04.2021 г.

Принята к публикации 12.07.2021 г.

Изучена динамика поведения мефентрифлуконазола и флуксапироксада в зерновых колосовых культурах в условиях 3-х почвенно-климатических зон России с использованием хроматографических методов анализа. Характер динамик разложения действующих веществ препарата (100 г/л мефентрифлуконазола + 50 г/л флуксапироксада) практически не менялся в зависимости от зоны проведения опыта. Показана безопасность использования многокомпонентного фунгицида при различных кратностях обработки.

Ключевые слова: мефентрифлуконазол, флуксапироксад, зерно, солома, высокоэффективная жидкостная хроматография с масс-спектрометрическим детектором.

DOI: 10.31857/S0002188121100045

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря применению пестицидов человечество не испытывает проблем с продовольствием, однако эти вещества могут быть токсичными, канцерогенными и мутагенными. Исходя из этого очень важно контролировать их содержание в продукции.

Известно множество болезней зерновых колосовых культур. Их вредоносность во многом зависит от погодных условий, устойчивости сорта, предшественника и от состояния самого растения в целом. Болезни вызывают частичную или полную гибель растения, недосозревание урожая и уменьшение урожайности зерновых культур ухудшают качество продукции. Комплекс болезней поражает растение на всех стадиях его развития.

Помимо агрохимического метода борьбы с болезнями зерновых культур важно применять препараты, предотвращающие массовое развитие возбудителя болезни и ограничивающие распространение самой болезни.

Ассортимент химических фунгицидов для зерновых культур достаточно широк. Чередование фунгицидов, относящихся к разным химическим классам, позволяет уменьшать вероятность возникновения у патогенов устойчивости к отдельным действующим веществам препарата.

Мефентрифлуконазол представляет собой триазольный фунгицид, относящийся к группе ингибирующих биосинтез стерина — эргостерина. Это основной стерин многих видов грибов, он играет важную роль в стабилизации и функционировании клеточных мембран, влияет на процессы клеточного деления, стимуляции роста и полового размножения. Триазолы при проникновении в фитопатогенные грибы нарушают их рост, что приводит их к гибели [1]. Препараты, в состав которых входит мефентрифлуконазол, рекомендуют к использованию в качестве протравителей семян злаковых культур для борьбы с широким спектром патогенов, ржавчиной и септориозом.

Флуксапироксад относится к группе карбоксамидов и характеризуется системной активностью. Механизм действия карбоксамидов основан на ингибировании дыхательного фермента сукцинатдегидрогеназы в митохондриях возбудителя болезни. Способность передвигаться по растению определяет не только профилактическое, но и лечебное действие препаратов [2]. Флуксапироксад применяют для обработки вегетирующих растений против комплекса болезней зерновых культур.

В литературе [3, 4] приведены методы количественного определения флуксапироксада в сель-

скохозяйственных культурах с применением высокоэффективной жидкостной хроматографии, основанные на экстракции ацетонитрилом, промывкой хлористым метилом и последующей очисткой на патроне для твердофазной экстракции (ТФЭ) на основе силикагеля [3]. Также применяют аналогичный метод, только с экстракцией подкисленным 0.2%-ной муравьиной кислотой ацетонитрилом с последующей очисткой на патронах для ТФЭ на сорбенте С18 [4].

Для определения мефентрифлуконазола в яблках и винограде используют метод экстракции образца подкисленным метанолом, с промывкой подщелоченным циклогексаном, концентрированием аликвоты и последующим перерастворением в смеси метанол–вода и анализе образца на хромато-масс-спектрометре [5]. Имеются данные по применению метода пробоподготовки QuEChERS с последующим анализом на газовом или жидкостном хроматографе с масс-спектрометрическим детектором. Пробы зерновых культур экстрагировали смесью ацетонитрил–вода в присутствии сульфата магния и хлорида натрия и цитратного буфера, после чего экстракты замораживали и проводили очистку методом дисперсионной ТФЭ с добавлением PSA [6].

Цель работы — изучение поведения мефентрифлуконазола и флуксапироксада в зерновых колосовых культурах из разных почвенно-климатических зон России с использованием хроматографических методов анализа.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Препарат, содержащий мефентрифлуконазол 100 г/л + флуксапироксад 50 г/л, применяли в 2-х вариантах — однократное и двукратное (через 10 сут после первой обработки) опрыскивание вегетирующих растений с помощью ранцевого опрыскивателя, с расходом рабочей жидкости 300 л/га. Норма применения по препарату — 1.0 л/га, по действующим веществам — мефентрифлуконазол 100 г/га и флуксапироксад 50 г/га. Опыт был проведен в четырехкратной повторности в каждом регионе. Работу проводили в 3-х почвенно-климатических зонах — в Московской и Волгоградской обл. и в Краснодарском крае.

Отбор проб производили в соответствии с правилами отбора проб [7] через 0, 14 и 28 (зеленая масса), 40 и 50 (зерно, солома) сут после применения фунгицида. Пробы отбирали отдельно с каждой делянки в вариантах, из них готовили средний образец (по одному в варианте), аналогично пробы отбирали в контрольных вариантах, без обработки пестицидами. Отобранные пробы хра-

нили в морозильной камере при температуре — 18°C. Отобранные пробы зерна и соломы хранили в бумажных пакетах при комнатной температуре.

Анализ образцов на содержание мефентрифлуконазола проводили в соответствии с методом, разработанным в Федеральном научном центре гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана. Пробоподготовку образцов растительной продукции для определения мефентрифлуконазола и флуксапироксада проводили по следующей схеме: навеску (зеленая масса — 10 г, зерно — 5 г, солома — 2 г) экстрагировали 20 мл смеси ацетонитрил : вода = 1 : 1, в присутствии смеси солей (4 г сульфата магния, 1 г хлорида натрия и 1 г цитрата натрия). После перемешивания и центрифугирования 5 мл верхнего ацетонитрильного слоя переносили в пробирку для очистки методом дисперсионной ТФЭ с применением смеси сорбентов (150 мг PSA (смесь первичных и вторичных аминов), 150 мг силикагеля и 900 мг сульфата магния). От очищенного экстракта отбирали аликвоты, соответствующие 1-му г пробы (1 мл), упаривали досуха и растворяли в подходящих подвижных фазах.

Количество мефентрифлуконазола определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на обращенной фазе с тройным квадрупольным масс-спектрометрическим детектором, флуксапироксада — методом ВЭЖХ с использованием УФ-детектора [8]. Предел определения мефентрифлуконазола в зеленой массе и зерне — 0.0016 мг/кг, в соломе зерновых колосовых культур — 0.004 мг/кг. Предел определения флуксапироксада в зеленой массе — 0.02 мг/кг, зерне — 0.005 мг/кг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что содержание действующих веществ препарата было максимальным в день обработки в образцах зеленой массы во всех почвенно-климатических зонах и находилось на уровне 0.03–0.17 мг/кг для мефентрифлуконазола и 0.5–1.7 мг/кг для флуксапироксада.

После однократной и двукратной обработок в почвенно-климатической зоне I (Московская обл.) было показано, что на 14-е сут содержание мефентрифлуконазола в зеленой массе растений уменьшилось в 2 раза в обоих вариантах (рис. 1а), тогда как для флуксапироксада отмечено небольшое уменьшение концентрации с 0.63 до 0.53 мг/кг при однократной обработке, в то время как при двукратной обработке содержание уменьшилось в 5 раз. На 28-е сут при однократной обработке количество мефентрифлуконазола

уменьшилось в 11 раз и составило 0.003 мг/кг, при двукратной — в 8 раз и составило 0.002 мг/кг. Для флуксапироксада в первом варианте обработки количество уменьшилось в 18 раз и составило 0.03 мг/кг, во втором варианте — в 17 раз и было <0.02 мг/кг. К 40-м сут после однократной обработки содержание мефентрифлуконазола в соломе составило 0.01 мг/кг, флуксапироксада — 0.04 мг/кг, после двукратной — 0.022 мг/кг и <0.05 мг/кг соответственно. В соломе (на 50-е сут) присутствовали только следы обоих фунгицидов, которые были на уровне значительно меньшем пределов определения: для мефентрифлуконазола и флуксапироксада — 0.001 мг/кг, за исключением мефентрифлуконазола при двукратной обработке — 0.006 мг/кг. В зерне на 40-е и 50-е сут после обработки следов действующих веществ мефентрифлуконазола и флуксапироксада обнаружено не было.

В пробах, полученных в почвенно-климатической зоне II (Краснодарский край), отмечено высокое содержание мефентрифлуконазола в день обработки — 0.103 мг/кг, и его содержание плавно уменьшалось к 14-м сут до 0.079 мг/кг, затем — еще в 3 раза к 28-м сут после обработки. При двукратной обработке содержание мефентрифлуконазола было максимальным в день обработки — 0.122 мг/кг, уменьшалось в 5 раз к 14-м сут до 0.023 мг/кг и еще в 2 раза до 0.01 мг/кг к 28-м сут после обработки. Содержание флуксапироксада в день обработки составило 0.76 мг/кг при однократной обработке препаратом, затем к 14-м сут уменьшилось до 0.43 мг/кг и еще в 3 раза до 0.14 мг/кг к 28-м сут после обработки. Содержание флуксапироксада при двукратной обработке снижалось с 0.46 мг/кг до 0.02 мг/кг к 14-м сут и затем еще в 2 раза до 0.11 мг/кг к 28-м сут после обработки. В зерне на 40-е и 50-е сут после применения фунгицида следов действующих веществ не обнаружено, кроме как при двукратной обработке, когда количество флуксапироксада снижалось с 0.04 мг/кг до 0.03 мг/кг, что было уже значительно меньше максимально допустимого уровня (МДУ) — 0.5 мг/кг. Также в соломе при однократной обработке на 40-е сут был обнаружен мефентрифлуконазол, и его количество составило 0.009 мг/кг и уменьшилось на 50-е сут до 0.001 мг/кг, что было меньше предела определения. В пробах соломы при двукратной обработке на 40-е и 50-е сут мефентрифлуконазол не был обнаружен.

В почвенно-климатической зоне III (Волгоградская обл.) (рис. 1в) в образцах зеленой массы растений после однократной обработки содержание мефентрифлуконазола со дня обработки и до 14-х сут незначительно уменьшалось с 0.07 до

0.05 мг/кг, к 28-м сут — до 0.019 мг/кг. В пробах соломы на 40-е сут его содержание составило 0.006 мг/кг и к 50-м сут уменьшилось до 0.005 мг/кг, что было меньше предела определения. Для этой же кратности обработки содержание флуксапироксада снизилось в 9 раз с 0.99 мг/кг до 0.11 мг/кг к 28-м сут опыта. Флуксапироксада в пробах зерна и соломы на 40-е и 50-е сутки не обнаружили. При двукратной обработке проб фунгицидом содержание мефентрифлуконазола в день обработки было самым высоким для всех зон наблюдения и составило 0.172 мг/кг. Далее наблюдали его уменьшение в 3 раза до 0.061 мг/кг и затем еще в 2 раза до 0.033 мг/кг к 28-м сут. На 40-е сут в зерне содержание мефентрифлуконазола составило 0.021 мг/кг, на 50-е сут — 0.002, что было близко к пределу определения. В соломе на 40-е сут его содержание составило 0.006 мг/кг, на 50-е сут его следы не обнаружены. Содержание флуксапироксада с 1.37 мг/кг в день обработки далее в каждой временной точке отбора проб уменьшалось в 2 раза и составило 0.46 мг/кг к 28-м сут. Наличие флуксапироксада в пробах зерна и соломы на 40-е и 50-е сутки не было установлено.

Препараты на основе мефентрифлуконазола являются новыми не только в нашей стране, но и в мире. Поэтому информация о деградации и остаточных количествах этого соединения в сельскохозяйственных культурах, особенно в зерновых, практически отсутствует. Известно, что при изучении динамики поведения мефентрифлуконазола после трехкратной обработки (0.06 г д.в./л), его количество через 7 сут в среднем составляло 0.25 мг/кг для яблок и винограда, при МДУ 1.0 мг/кг [5]. Имеются данные, что в урожае пшеницы, редиса, моркови, цветной капусты, брокколи, салате и шпинате при использовании препарата с содержанием мефентрифлуконазола 100 г/л, остатков действующего вещества не было обнаружено [9].

На данный момент в РФ зарегистрировано 7 препаратов, содержащих флуксапироксад [10], 5 из которых разрешены для применения на зерновых культурах. Однако опубликованных данных об особенностях разложения этого вещества в зерновых культурах нет. Известно, что при двукратном опрыскивании яблонь препаратом, содержащим флуксапироксад (11.7%, суспензионный концентрат) с интервалом 10 сут и нормой расхода 78 г/га по д.в., остаточное содержание в плодах снижалось с 0.093 до 0.002 мг/кг за 28 сут, тогда как МДУ составляет 0.8 мг/кг [11].

Имеются данные [12] по изучению поведения флуксапироксада (15.3%-ная суспензия, разведение в 2000 раз) в листьях периллы (*Perilla frutescens*

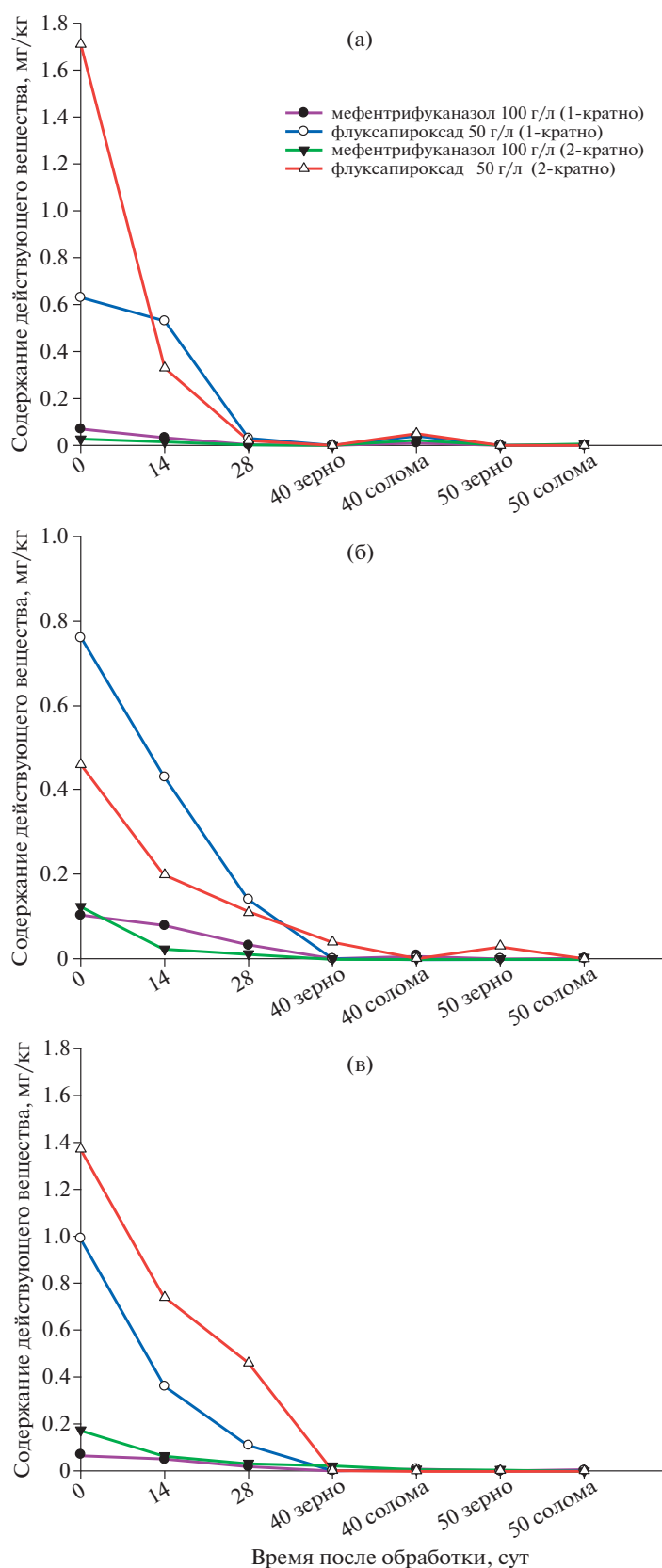


Рис. 1. Динамика разложения мефентрифлуконазола и флуксапироксада в растениях озимой пшеницы после обработки фунгицидом (мефентрифлуконазол 100 г/л + флуксапироксад 50 г/л) при разных кратностях обработок: (а) – Московская обл. (I зона), (б) – Краснодарский край (II зона) (в) – Волгоградская обл. (III зона).

var. *japonica* Hara) в теплице. Проводили трехкратное опрыскивание с интервалом в 7 сут, отбор проб листьев проводили на 0, 1, 3, 5 и 7-е сут после последней обработки. За неделю количество флуксапироксада снизилось на 50% и составило 10 мг/кг.

В России величина МДУ для мефентрифлуконазола пока не установлена. Для Европы установлены следующие МДУ для мефентрифлуконазола: в зерне — 4.0 мг/кг, в соломе — 30 мг/кг [13]. В России и в Европе МДУ флуксапироксада соизмеримы и составляют 0.5 и 0.4 мг/кг, соответственно [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, характер деградации действующих веществ фунгицида (мефентрифлуконазол 100 г/л + флуксапироксад 50 г/л) практически не менялся в зависимости от зоны проведения опыта, однако наблюдали некоторые отличия в скорости деградации в зеленой массе растений, обусловленные сортавыми особенностями зерновых культур и погодными условиями. Несмотря на количество обработок, существенной разницы в количественном содержании остатков действующих веществ в зерне и соломе не отмечено.

Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод, что препарат, содержащий мефентрифлуконазол 100 г/л и флуксапироксад 50 г/л, вне зависимости от количества обработок можно безопасно применять на зерновых колосовых культурах. Соблюдение технологий использования пестицидных препаратов, их норм применения, а также выдерживание сроков ожидания позволяет в значительной степени гарантировать получение урожая, безопасного для здоровья человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tesh S.A., Tesh J.M., Fegert I., Buesen R., Schneider S., Mentzel T., van Ravenzwaay B., Stinchcombe S. Innovative selection approach for a new antifungal agent mefentrifluconazole (Revisol) and the impact upon its toxicity profile // Regul. Toxicol. Pharmacol. 2019. V. 106. P. 152–168.
2. Тютерев С.Л. Механизмы действия фунгицидов на фитопатогенные грибы. СПб.: ВИЗР, 2010. 170 с.
3. Kwon J.E., Kim H., Do J., Park H., Yoon J., Lee J., Chang M.-I., Rhee G.-S. Development of an analytical method for fluxapyroxad determination in agricultural commodities by HPLC-UVD // J. Food Hygiene Safety. 2014. V. 29. № 3. P. 234–240.
4. Chen X., Dong F., Xu J., Liu X., Wu X., Zheng Y. Effective monitoring of fluxapyroxad and its three biologically active metabolites in vegetables, fruits, and cereals by optimized QuEChERS treatment based on UPLC–MS/MS // J. Agricult. Food Chem. 2016. V. 64. № 46. P. 8935–8943.
5. Public release summary on the evaluation of the new mefentrifluconazole in the product Belanty Fungicide. APVMA Product Number 84344. 2019. 44 p.
6. Herrmann S.S., Poulsen M.E. Validation Report 32. Determination of pesticide residues in wheat, rye, oat and rice by LC-MS/MS and GC-MS/MS (QuEChERS method). EUR-CF, DTU, National Food Institute, 2019. 16 p.
7. Унифицированные правила отбора проб сельскохозяйственной продукции, продуктов питания, объектов окружающей среды для определения микроколичеств пестицидов. МУ № 2051-79. М., 1980. 45 с.
8. Долженко В.И., Цибульская И.А., Журкович И.К., Черменская Т.Д., Комарова А.С. Измерение концентраций флуксапироксада в воде, почве, зеленой массе, зерне и соломе зерновых культур методом высокoeffективной жидкостной хроматографии. МУК 4.1.3021–12 // Сб. метод. указ. по методам контроля. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2013. С. 4–17.
9. European Food Safety Authority (EFSA). Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance BAS 750 F (mefentrifluconazole) // EFSA J. 2018. V. 16. № 7. e05379. 25 p.
10. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Справ. изд.-е. М., 2020. 832 с.
11. He M., Jia Ch., Zhao E., Chen L., Yu P., Jing J., Yongquan Z. Concentrations and dissipation of difenconazole and fluxapyroxad residues in apples and soil, determined by ultrahigh–performance liquid chromatography electrospray ionization tandem mass spectrometry // Environ. Sci. Pollut. Res. 2016. V. 23. P. 5618–5626.
12. Noh H. H. Dissipation, persistence, and risk assessment of fluxapyroxad and penthiopyrad residues in perilla leaf (*Perilla frutescens* var. *japonica* Hara) // Plos one. 2019. T. 14. № 4. P. e0212209.
13. Mefentrifluconazole; tolerances for residues // Title 40 – Protection of Environment. Chap. I. P. 180. Subpart C – Specific Tolerances. https://www.customsmobile.com/regulations/title40_chapterI_part180_subpartC_section180.705
14. European Food Safety Authority (EFSA). Review of the existing maximum residue levels for fluxapyroxad according to Article 12 of Regulation (EC) No 396/2005 // EFSA J. 2020. V. 18. № 1. P. 99.

Degradation of Mefentrifluconazole and Fluxapyroxad in Cereals

V. V. Chelovechkova^{a, #}, A. S. Komarova^a, and T. D. Chermenskaya^a

^a *All-Russian Institute of Plant Protection
shosse Podbelskogo, 3, St. Petersburg—Pushkin 196608, Russia*

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

The dynamics of mefentrifluconazole and fluxapyroxad in cereal crops from three soil-climatic zones of Russia has been studied using chromatographic methods of analysis. The decomposition dynamics image of the active substances of the pesticide (mefentrifluconazole 100 g/l + fluxapyroxad 50 g/l) practically does not change depending on the experiment zone. The safety of a multicomponent fungicide using is shown at different rates of treatment.

Key words: mefentrifluconazole, fluxapyroxad, grain, straw, high performance liquid chromatography with a mass spectrometric detector.

УДК 631.51:631.43:(470.44/.47)

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ЕЕ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА В УСЛОВИЯХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

© 2021 г. Е. В. Семинченко

*Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН
400062 Волгоград, Университетский просп., 97, Россия*

E-mail: eseminchenko@mail.ru

Поступила в редакцию 25.03.2021 г.

После доработки 27.04.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Изучили влияние способов обработки почвы на агрофизические и агрохимические показатели светло-каштановых почв Нижнего Поволжья. Учет и наблюдения вели согласно рекомендациям ведения наблюдений и исследований в полевых условиях. Дана оценка влияния способов обработки почвы на накопление НРК в светло-каштановых почвах в паровых полях Волгоградской обл. Выявлены изменения питательного режима почвы под воздействием различных метеоусловий года. Установлено более высокое содержание элементов питания в паровых полях преимущественно при безотвальной обработке почвы. Почва в этом варианте и в контроле (отвальная обработка) характеризовалась оптимальной влагообеспеченностью по сравнению с вариантом поверхностной обработки во все годы исследования. Содержание в почве азота составило при безотвальной обработке – 7.53–9.03, отвальной – 7.79–8.24 и поверхностной – 5.93–6.87 мг/100 г почвы, содержание подвижного фосфора при минимальной обработке увеличилось с 5.93 до 8.22 мг/100 г почвы, содержание калия при безотвальной обработке было равно 36.8, поверхностной – 36.0, отвальной – 35.1 мг/100 г почвы. Изменение содержания питательных веществ в паровых полях определял главным образом способ обработки почвы. Запасы влаги в осенне-зимний период в 1-метровом слое почвы также изменялись в зависимости от способа обработки почвы и составили при отвальной обработке – 69.3, безотвальной – 75.7 и поверхностной – 62.6 мм. В черном пару к моменту посева озимой пшеницы в слое почвы 0–30 см запасы влаги составили 10.7 – при отвальной, 12.1 – при безотвальной и 6.3 мм – при поверхностной обработке, в 1-метровом слое – 44.2, 53.8, 32.4 мм соответственно.

Ключевые слова: способ обработки почвы, черный пар, влагообеспеченность почвы, подвижные формы элементов питания, агрегатный состав.

DOI: 10.31857/S0002188121120139

ВВЕДЕНИЕ

В условиях развития адаптивно-ландшафтных систем земледелия большое значение имеет совершенствование систем обработки почвы, их дифференциация в зависимости от ландшафтных условий, типов почв и их свойств, выбора возделываемых культур, применяемых приемов биологизации и т.п. Правильная, соответствующая почвенно-климатическим условиям обработка почвы является важным средством регулирования агрофизического состояния почвы, ее биологических свойств, питательного и водного режимов, содержание и запасов гумуса, урожайности сельскохозяйственных культур и качества продукции [1–3].

Особую актуальность в современных условиях хозяйствования приобретает изучение наиболее экономически и экологически эффективных приемов минимизации основной обработки почвы при длительном и краткосрочном ее применении в севооборотах с зерновыми культурами в почвенно-климатических условиях светло-каштановых почв Нижнего Поволжья [4–7].

Стратегически важным лимитирующим фактором в богарном земледелии является влага, поэтому накоплению их должна быть подчинена вся технологическая цепь возделывания культур. В Волгоградской обл. тенденция к увеличению накопления влаги в почве в зависимости от обработки подтверждена практикой в пользу стернового фона. Также она более значима в засушливые годы, когда накопление влаги в зимний период по

стерне значительно больше, чем на открытой почве, что положительно сказывается на величине весеннего влагозапаса в пользу полей со стерневыми остатками [8–10]. Одним из способов антропогенного воздействия на биологическую активность почвы и ее плодородие является способ ее обработки [11, 12]. Цель работы — изучение влияния способов обработки почвы на ее водно-физические свойства в условиях сухостепной зоны нижнего Поволжья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2016–2020 гг. на экспериментальном участке НВ НИИСХ в условиях сухостепных равнинных агроландшафтов. Участок расположен в системе ложбинного водосбора на склоне западной экспозиции с уклоном до 2° на площади 12 га. Почва опытного участка — светло-каштановая с содержанием гумуса в пахотном слое 1.74%, общего азота и фосфора — 0.12 и 0.11% соответственно. Сумма поглощенных оснований составляла 25.7 мг-экв/100 г почвы, т.е. почва обладала невысокой обменной активностью. Реакция почвенного раствора — слабощелочная, pH 8.1. По классификации Качинского, почва по гранулометрическому составу — иловато-крупнопылеватый тяжелый суглинок, содержит физического песка 49.3 и физической глины — 50.7%. Засоленность почвообразующей породы и различная степень солонцеватости почвенного профиля обусловили неблагоприятные водно-физические свойства почвы.

Для данной зоны характерна сухая осень и влажная весна, среднегодовая температура воздуха составляет $\approx 10^\circ\text{C}$, среднегодовое количество осадков — 339.2 мм. Продолжительность безморозного периода изменяется в пределах 180–200 сут. Зима — малоснежная, теплая, однако нередко пониженные температуры до -35°C . Ежегодно во время вегетации растений наблюдают продолжительные засушливые периоды, которые наиболее часты в июле и августе.

Объектом исследования были способы основной обработки почвы. В опыте изучали следующие виды основных обработок почвы: отвальная на глубину 25–27 см плугом ПН-4-35, безотвальная на глубину 25–27 см орудием ОЧО-5-40 и многофункциональными рабочими органами модульного типа “РАНЧО” (отвал и широкое доло-то), поверхностная на глубину 8–10 см орудием БДМ-3. Размещение вариантов — блоками в 3 яруса. Учет и наблюдения вели, применяя методики [13–15]. Водно-физические свойства почвы определяли по содержанию влаги (%), плотность

(г/см³) — по методу Качинского, объем режущего кольца — 100 см³, в трехкратной повторности на глубину 0–100 см. Агрегатный состав почвы изучали методом Савинова в средней пробе, взятой из 10-ти ямок в одной повторности в каждом варианте. Пробы брали в 4-польном севообороте без обработок: в черном пару — после закрытия влаги после посева озимой пшеницы, под посевами озимой пшеницы — после боронования и перед уборкой. Определение содержания в почве нитратного азота определяли колOMETрическим методом с дисульфифеноловой кислотой по Грандваль–Ляжу. Для этого почвенные пробы отбирали в слоях 0–25 и 25–50 см в 10-ти местах по диагонали делянки почвенным буром в сроки определения влажности почвы под зерновыми культурами, из 10-ти почвенных проб после их перемешивания составляли среднюю пробу массой 1 кг для анализов. Содержание в почве подвижного фосфора определяли по Мачигину в 1%-ном растворе карбоната аммония, содержание обменного калия — в вытяжке по Мачигину фотометрическим методом. Метод принят стандартным для карбонатных каштановых почв сухостепной зоны, основан на извлечении подвижных соединений калия из почвы раствором углекислого аммония концентрации 10 г/дм³ при отношении почвы к раствору 1 : 20 и последующем определении калия методом пламенной фотометрии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенная влага является одним из главных элементов плодородия почвы и важнейшим фактором, определяющим условия произрастания сельскохозяйственных культур. В условиях непромывного водного режима светло-каштановых почв атмосферные ирригационные осадки служат практически единственным источником пополнения почвенных влагозапасов [12].

Активным средством улучшения водного режима почвы является ее механическая обработка, с помощью которой, с одной стороны, облегчается проникновение влаги осадков в почву и, с другой, уменьшаются непроизводительные потери в результате стока, снегноса и физического испарения. Все технологические операции, выполняемые в процессе обработки почвы, в той или иной степени влияют на ее водный режим, но особенно заметно — рыхление и оборачивание. Глубина рыхления почвы оказывает прямое и косвенное положительное влияние: прямое — увеличивается водопроницаемость, водовместимость и водоотдача почвы, косвенное — формируется глубокий

Таблица 1. Количество продуктивной влаги после основной обработки и при уходе за паром в слое 0–100/0–30 см (среднее за 2016–2020 гг.), мм

Способ обработки почвы	Осенне-зимний период	Весенний период	Динамика почвенной влаги в черном пару			
			июнь	июль	август	сентябрь
Отвальная ПН-4-35	69.3	116.0	108.4	70.7	51.9	44.2
	23.5	39.7	22.3	17.9	12.2	10.7
Безотвальная стойкой “Ранчо”	75.7	125.4	113.7	84.6	67.9	53.8
	19.9	41.4	30.6	22.4	16.5	12.1
Поверхностная БДМ-3	62.6	103.2	85.1	58.3	46.5	32.4
	13.4	31.3	15.2	14.1	10.4	6.3

Примечание. Над чертой – слой 0–100, под чертой – слой 0–30 см.

окультуренный слой, в котором растения развивают более мощную корневую систему и полнее используют ее водные ресурсы, активнее уничтожаются сорняки – потребители почвенной влаги, улучшается питательный режим почвы, и растения экономнее расходуют влагу.

При анализе влагонакопительной роли различных способов основной обработки почвы, большее внимание уделяли изменению приходной части водного баланса в период осенне-зимнего влагонакопления и миграции продуктивной влаги в период летнего ухода за парами.

Наши исследования влияния основной обработки почвы на накопление продуктивной влаги в черном пару показали (табл. 1), что запасы влаги в 1-метровом слое почвы изменялись в зависимости от приема обработки почвы: содержание продуктивной влаги в осенне-зимний период составило при отвальной обработке 69.3, безотвальной – 75.7 и поверхностной – 62.6 мм. Весной, после закрытия влаги продуктивная влага увеличилась за счет зимних осадков, но преимущество имели глубокие обработки: ее содержание составило 116.0 мм при отвальной, 125.4 мм – при безотвальной и 103.2 мм – при поверхностной обработке соответственно.

Вследствие того, что в июле, августе были неблагоприятные засушливые погодные условия, когда осадков выпало всего 1.3–4.7 мм, а температура воздуха была высокой, почвенная влага активно испарялась и к моменту посева озимой пшеницы в слое почвы 0–10 см составила 7.8 при отвальной, 8.85 – при безотвальной и 1.61 мм – при поверхностной обработке, запасы в 1-метровом слое составили 34.7, 52.15, 36.38 мм соответственно.

Один из важнейших диагностических показателей уровня эффективного плодородия почвы – интенсивность накопления в ней доступных форм элементов минерального питания расте-

ний, и прежде всего минерального азота. Этот показатель весьма динамичен и тесно связан с урожайностью и многими другими элементами почвенного плодородия, в частности, водным режимом.

Интенсивность накопления усвояемых растениями форм азота зависит от целого ряда факторов внешней среды: влажности, температуры, аэрации почвы и пр., из которых определяющим в засушливых условиях является влажность почвы, оптимальная величина которой для нитрификации, аммонификации, азотофиксации и других почвенно-мобилизационных процессов находится в пределах 50–70% ее общей влагоемкости.

Содержание подвижных форм фосфора и калия менее динамично. Обработка почвы при этом оказывает влияние на формирование ее питательного режима, прежде всего через складывающиеся в ней условия жизни почвенной биоты, интенсивность и направленность физических, химических и биологических процессов, связанных с состоянием водного, теплового и воздушного режимов почвы, а также через количество и качество поступающих остатков и метаболитов растений, степень их измельчения и дислокацию в почве.

Анализ содержания элементов минерального питания в весенний период показал, что, наиболее благоприятный азотный режим обеспечивали поверхностная и безотвальная обработки почвы в черном пару (табл. 2). При поверхностной обработке он составил 3.36–2.78, при безотвальной – 2.63–0.93 и отвальной – 2.31–0.78 мг/100 г почвы в период начала парования. Наиболее благоприятный азотный режим в конце парования на момент посева озимой пшеницы обеспечивала безотвальная и отвальная обработки за счет более благоприятного температурного и водно-воздушного режима в верхнем слое почвы и, как следствие, более активных процессов обмена, аммонифика-

Таблица 2. Влияние обработки почвы в паровом поле на содержание подвижных форм элементов питания в слое 0–30 см почвы (среднее за 2016–2020 гг.), мг/100 г

Вариант обработки почвы	Элементы питания					
	N-NO ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	весна	осень	весна	осень	весна	осень
Отвальная обработка						
Посев СЗ-3,6	0.78	8.24	6.30	7.21	32.0	35.1
Посев СЗС-2,1	2.31	7.79	5.03	6.59	34.1	34.2
Безотвальная обработка						
Посев СЗ-3,6	0.93	7.53	5.56	6.83	31.3	29.2
Посев СЗС-2,1	2.63	9.03	4.89	5.81	26.9	36.8
Поверхностная обработка						
Посев СЗ-3,6	3.36	6.87	5.84	6.77	34.3	35.2
Посев СЗС-2,1	2.78	5.93	7.14	8.22	32.9	36.0

ции и нитратонакопления. За период парования этот показатель составил при безотвальной обработке 7.53–9.03, при отвальной – 7.79–8.24 и поверхностной – 5.93–6.87 мг/100 г почвы соответственно. Согласно приведенным данным, в наибольшей степени на фосфатный режим светло-каштановой почвы повлияло использование минимальной обработки: по сравнению с поверхностной увеличение содержания фосфатов было с 5.93 до 8.22 мг/100 г почвы. При этом ни глубина обработки, ни водный режим не оказывали существенного влияния на количество фосфатов в почве, различия между обработками были не существенными и составили 0.5–1.5 мг/100 г.

Обеспеченность почвы обменным калием была высокой при всех вариантах обработки почвы, наибольшей она была при безотвальной обработке (36.8 мг/100 г почвы), при поверхностной и отвальной – несколько меньше (36.0 и 35.1 мг/100 г почвы соответственно).

Микробиологическую активность почвы при применении прямого посева и основных обработок изучали методом разложения льняного полотна, который позволил судить о мобилизационных процессах почвы. Наблюдения за микробиологической активностью почвы в опыте показали различную интенсивность разложения льняного полотна. На деятельность микроорганизмов в почве влияло много факторов, но основные – это количество выпавших осадков, тепловой режим вегетационного периода, пищевой режим и структурность почвы. Доказано, что на микробиологическую активность в засушливой зоне негативно влияют высокие температуры в

период вегетации растений, и разложение льняного полотна замедлялось.

Интенсивность разложения полотна увеличилась во второй половине вегетации (после фазы колошения) и доля разложения полотна возросла на 60% по отношению к периоду первой половины вегетации. Интенсивность разложения льняного полотна в почве под посевом озимой пшеницы и химического пара была равномерной за весь период исследования (табл. 3). Показано, что растительные остатки почвопокровных культур для переработки биомассы использовали большее количество азота почвы, что привело к азотному дефициту в почве, и микробиологическая активность была не высокой, всего 9.3% за весь период наблюдений.

В почве химического пара происходило более активное разложение льняного полотна (в среднем 60.8%), чем в почве, занятой зерновыми культурами за аналогичный период исследования. Самая низкая доля разложения льняного полотна отмечена в почве под ячменем при прямом посеве – 0.7% за 50 сут. Более интенсивную микробиологическую активность среди паровых полей наблюдали в варианте отвальной обработки (17.9%).

От способа обработки почвы зависят агрофизические характеристики почвы, определяющие водно-воздушные и термические условия почвенного климата, степень и глубину заделки растительных остатков. В зависимости от приемов основной обработки формируется то или иное строение почвенного профиля по распределению в нем частиц твердой фазы, запасов питательных веществ, перемещению углекислого газа и влаги. Все это может сказаться на динамике и соотношении синтеза и минерализации гумуса, образовании подвижных форм питательных веществ и питания растений. В настоящее время вопрос о способах и глубине обработки почвы как приемах регулирования физического состояния верхнего слоя почвы обсуждается с позиции перехода к сберегающему земледелию, связывается со структурированием и образованием мульчирующего слоя из растительных остатков разной степени разложения.

Изменение агрегатного состава приводит к изменению физических свойств почвы. Образование структурных агрегатов – сложный естественный процесс, а механические воздействия на почву орудиями обработки, как правило, разрушают ее структуру. Выделяют следующие структурные отдельности: глыбистые (>10 мм), комко-

Таблица 3. Микробиологическая активность почвы в различных вариантах основной обработки почвы и посевах культур (среднее за 2016–2020 гг.)

Вариант (дата начала исследования)	Дата наблюдения	Разложение полотна, %			Осадки за период, мм	Влажность почвы в слое 0–30 см, мм
		за период, сут		за 1 сут		
Ячмень (почвопо- кровные культуры) (24.04)	11.06	50	2.2	0.04	53.1	0
	24.07	90	9.3	0.1	114	0.5
Озимая пшеница прямой посев (24.04)	11.06	50	2.1	0.04	53.1	5.6
	22.07	90	3.4	0.04	114	10.2
Пар химический (16.05)	22.07	67	11.2	0.2	77.5	26.6
	21.08	96	15.9	0.2	45.5	7.4
Пар отвальная обра- ботка (8.05)	26.06	50	5.0	0.1	44.8	19.3
	19.08	103	17.9	0.17	63.7	8.9
Пар безотвальная обработка (08.05)	26.06	50	8.55	0.17	44.8	23.4
	19.08	103	14.3	0.14	63.7	8.8
Пар поверхностная обработка (08.05)	26.06	50	2.2	0.04	44.8	21.6
	19.08	103	15.3	0.15	63.7	10.6
Ячмень прямой посев (29.05)	22.07	50	0.7	0.01	62.0	8.8

HCP₀₅ = 0.3

вато-зернистые (10–0.25 мм), зернистые (3–1 мм) и микроагрегаты (<0.25 мм).

Сухой рассев показал, что при подготовке почвы под посев озимых и яровых культур, а также после их уборки в обрабатываемом слое сохранилось значительное количество (>65%) эрозионно-устойчивых фракций >0.25 мм (табл. 4). Показано, что во всех вариантах опыта содержание воздушно-сухих агрономически ценных агрегатов изменялось в зависимости от вида обработки почвы и сроков наблюдения, что свидетельствовало о неустойчивости, характерной для светло-каштановых почв условно-прочной структуры. Судя по полученным данным, общее содержание макроагрегатов в слое 0–30 см почвы под влиянием способа обработки изменялось в интервале 61.8–77.4%. Во время ухода за паром происходило интенсивное воздействие механических обработок на почву, вследствие чего разрушались макроагрегаты во всех вариантах обработки. Также было установлено, что глубокие и особенно отвальная обработка приводили к увеличению глыбистой фракции, наиболее высоким этот показатель был весной и составил 14.7%, к окончанию парования он уменьшился до 10.1%. При безотвальной обработке этот показатель был меньше и составил 10.4% весной при снижении к осени до 5.1%. При поверхностной обработке содержание

глыб было самым низким: 1.3% – весной, 0.8% – осенью.

При мокром просеивании большая часть макроагрегатов расплывалась и уходила во фракцию размером <0.25 мм, поэтому структурное состояние зональных почв в определяющей степени зависит от их влажности. Содержание водопрочных агрегатов менялось в пределах 6.6–16.1% в зависимости от основной обработки почвы, наименьшим оно было при поверхностной обработке.

Структурность почвы можно охарактеризовать коэффициентом структурности, который показывает отношение содержания агрономически ценных агрегатов к сумме содержания глыбистой и пылевой фракций. В нашем исследовании наиболее высокий коэффициент структурности почвы в среднем в севообороте был в варианте поверхностной обработки и составил 3.5, при глубоких обработках коэффициент составил 3.4. В варианте севооборота с основными обработками почвы он был меньше и составил 2.6 при отвальной, 3.4 – при безотвальной и 2.8 – при поверхностной обработке. В связи с этим можно сделать вывод, что при снижении механического воздействия машин и орудий на почву происходило увеличение содержания макроагрегатов и улучшение структурности почвы.

Таблица 4. Динамика структурно-агрегатного состояния почвы в паровых полях в зависимости от способа обработки почвы, %

Период наблюдения	Сухой рассев				Мокрый рассев
	%				
	Глыбы, >10 мм	Макроструктура, 0.25–10 мм	Микро- структура, <0.25мм	Коэффициент структурности	Водопрочные агрегаты, 3–0.25 мм
<u>Отвальная обработка</u>					
Без обработки					
Начало парования	<u>14.7</u>	<u>66.7</u>	<u>18.6</u>	<u>2.0</u>	<u>10.8</u>
	11.1	75.1	13.8	3.0	14.4
Конец парования	<u>10.1</u>	<u>61.8</u>	<u>28.1</u>	<u>1.6</u>	<u>7.9</u>
	9.2	73.1	17.7	2.7	15.2
<u>Безотвальная обработка</u>					
Без обработки					
Начало парования	<u>10.4</u>	<u>69.7</u>	<u>19.9</u>	<u>2.3</u>	<u>14.6</u>
	4.8	78.0	17.2	3.5	12.4
Конец парования	<u>5.1</u>	<u>77.4</u>	<u>18.5</u>	<u>3.4</u>	<u>10.6</u>
	5.4	74.9	19.7	3.0	12.1
<u>Поверхностная обработка</u>					
Без обработки					
Начало парования	<u>1.3</u>	<u>71.2</u>	<u>27.5</u>	<u>2.5</u>	<u>7.2</u>
	5.6	79.7	14.7	3.9	8.9
Конец парования	<u>0.8</u>	<u>70.1</u>	<u>29.1</u>	<u>2.3</u>	<u>6.6</u>
	4.4	73.1	22.5	2.7	9.5

ВЫВОДЫ

Таким образом, показано, что сохранение стерни на поверхности почвы позволяет накопить большее количество снега и, как следствие, создать бóльший запас влаги за счет зимних осадков. Влагозапасы изменялись в вариантах опыта от 101.2 мм при поверхностной обработке до 133.8 мм в варианте с безотвальной обработкой. При этом в вариантах с основной обработкой почвы влаги накопилось меньше, что составило при отвальной обработке 112.7 мм, безотвальной – 123.4 мм и поверхностной – 97.5 мм. Выявлено влияния основной обработки почвы на накопление продуктивной влаги в черном пару: показано, что преимущество имели глубокие обработки, что составило 116.0 мм при отвальной, 125.4 мм – при безотвальной и 103.2 мм – при поверхностной обработке.

Также было установлено, что глубокие и особенно отвальная обработка приводили к увеличению содержания глыбистой фракции, наиболее высокий показатель отмечен весной в черном па-

ру, что составило 14.7%. К окончанию парования он уменьшился до 10.1%. При безотвальной обработке этот показатель был меньше и составил 10.4% весной при снижении к осени до 5.1%. При поверхностной обработке содержание глыб было самым низким (1.3% – весной, 0.8% – осенью). В среднем в севообороте при отвальной обработке слой 0–30 см почвы весной содержал макроагрегатов (частиц от 0.25 до 10 мм) 70.7, при безотвальной обработке – 74.8, при поверхностной – 74.2%. К концу вегетации культур средний показатель содержания макроагрегатов в зависимости от способа обработки составил 71.2, 76.5, 74.1% соответственно. В севообороте без обработок эти величины к концу вегетации были больше и составили 77.7, 77.3 и 76.4% соответственно. Содержание водопрочных агрегатов менялось в пределах 6.6–16.1% в зависимости от варианта основной обработки почвы, наименьшим оно было при поверхностной обработке в черном пару, наибольшим – при безотвальной обработке после яровых культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы земледелия Нижнего Поволжья: уч. пособ. / Под ред. Сухова А.Н. Волгоград: Волгоград. ГСХА, 2007. 344 с.
2. Сухов А.Н. Агрофизические показатели светлоскопических почв и их регулирование приемами основной обработки почвы // Изв. Нижневолжск. Агроуниверс. комплекса. Волгоград, 2011. № 1. С. 72–78.
3. Тагиров М.Ш., Шакиров Р.С., Гилаев И.Г. Влияние способов основной обработки на водно-физические показатели почвы и продуктивность яровой пшеницы // Земледелие. 2015. № 8. С. 20–21.
4. Азизов З.М. Ресурсосберегающие системы основной обработки почвы в плакорно-равнинном ландшафте и сухой степи Заволжья // Сб. научн. тр. НВНИИСХ. Волгоград, 2004. С. 12–18.
5. Беляков А.М., Солонкин А.В. Региональная адаптивно-ландшафтная система земледелия Нижнего Поволжья. Волгоград: Принт-Волгоград, 2012. С. 22–24.
6. Клопперанц И.В. Эффективность нулевой обработки почвы при возделывании яровой пшеницы в сухостепной зоне // Вестн. сел.-хоз. науки. 2007. С. 18–19.
7. Шурыгин А.В. Влага в богарном земледелии – это дар // Фермер. 2017. № 2. С. 28–30.
8. Кашианов А.И. Земледелие. Избр. тр. М.: РАСХН, 2008. 685 с.
9. Колкова И.А. Влияние обработки почвы на плодородие и агрофизические свойства // Молод. ученый. 2017. № 29 (163). С. 39–42. <https://moluch.ru/archive/163/45167/> (дата обращения: 23.04.2021).
10. Ленточкин А.М., Ширококов П.Е., Ленточкина Л.А. Нулевая, минимальная или отвальная обработка почвы // Земледелие. 2016. № 3. С. 9–13.
11. Плескачев Ю.Н., Борисенко И.Б. Использование “Ранчо” при выращивании ячменя // Научн.-агроном. журн. Волгоград: НВНИИСХ РАСХН, 2012. № 2. С. 30.
12. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы. М.: ВНИИА 2012. 171 с.
13. Смирнов Б.М. Рекомендации по методике проведения наблюдений и исследований в полевом опыте. Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1973. 223 с.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропроимиздат, 1985. 315 с.
15. Кулинцев В.В., Дридигер В.К. Научное обеспечение системы земледелия без обработки почвы в Ставропольском крае // Сб. докл. Всерос. научн.-практ. конф. ВНИИЗиЗПЭ, 10–12 сентября 2014 г. Курск, 2014. С. 37–38.

Influence of Treatment on the Physical and Chemical Properties of the Soil in the Conditions of the Dry-Steppe Zone of the Lower Volga

E. V. Seminchenko

*Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the RAS
Universitetskii prosp. 97, Volgograd 400062, Russia*

E-mail: eseminchenko@mail.ru

The influence of tillage methods on the agrophysical and agrochemical indicators of light chestnut soils of the Lower Volga region was studied. Records and observations were carried out in accordance with the recommendations of conducting observations and research in the field. Yes-on assessment of the influence of tillage methods on the accumulation of NPK in light chestnut soils in the fallow fields of the Volgograd region. Changes in the nutrient regime of the soil under the influence of various weather conditions of the year are revealed. A higher content of nutrients in steam fields has been established, mainly during non-fallow tillage. The soil in this variant and in the control (dump treatment) was characterized by optimal moisture supply compared to the surface treatment option in all the years of the study. The nitrogen content in the soil was 7.53–9.03 during non-dump treatment, 7.79–8.24 during dump treatment and 5.93–6.87 mg/100 g of soil during surface treatment, the content of mobile phosphorus during minimal treatment increased from 5.93 to 8.22 mg/100 g of soil, the potassium content during non-dump treatment was 36.8, surface – 36.0, dump – 35.1 mg/100 g of soil. The change in the nutrient content in the steam fields was determined mainly by the method of tillage. The moisture reserves in the autumn-winter period in the 1-meter soil layer also changed depending on the method of tillage and amounted to 69.3 mm during dump treatment, 75.7 mm during non – dump treatment and 62.6 mm during surface treatment. In the black steam, by the time of sowing winter wheat in the soil layer of 0–30 cm, moisture reserves were 10.7 – at the dump, 12.1 – at the dump and 6.3 mm – at the surface treatment, in the 1-meter layer – 44.2, 53.8, 32.4 mm, respectively.

Key words: the method of tillage, black steam, soil moisture supply, mobile forms of batteries, aggregate composition.

УДК 634.723.1(470.341)

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ СМОРОДИНЫ ЧЕРНОЙ В УСЛОВИЯХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2021 г. Г. А. Бережная^{1,*}, О. В. Мухина¹, Н. П. Григорьева², М. Г. Скареева¹

¹ Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия
603107 Нижний Новгород, просп. Гагарина, 97, Россия

² Лысковский государственный сортоиспытательный участок Нижегородской области
606240 Нижегородская обл., Лысковский р-н, с. Чернуха, ул. Центральная, Россия

*E-mail: Berezhnaya-galina@inbox.ru

Поступила в редакцию 14.04.2021 г.

После доработки 24.06.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Представлены данные оценки хозяйственно-ценных показателей 10 сортов черной смородины различных селекционных центров в условиях Нижегородской обл. Установлено, что изученные сорта хорошо адаптировались к погодным условиям региона, не проявляли признаков засухоустойчивости и подмерзания, не поражались мучнистой росой и почковым клещом, но имели разную степень заболеваемости антракнозом и септориозом, что определяло общее состояние растений, оцененное для большинства сортов как “хорошее”. Исключение составил сорт Искушение, имевший высокую степень заболеваемости. Наибольшей урожайностью и уровнем рентабельности характеризовались сорта Орловская серенада (133%), Верность (97.7%), Добрыня (87.8%) и Муравушка (85.3%), рекомендованные для промышленного выращивания в условиях Нижегородской обл.

Ключевые слова: смородина черная, подмерзание, засухоустойчивость, болезни, антракноз, септориоз, урожайность, крупноплодность, дегустационная оценка, рентабельность.

DOI: 10.31857/S0002188121120036

ВВЕДЕНИЕ

Смородина черная является ведущей ягодной культурой в промышленном и любительском садоводстве России. Ее популярность определяется высокой, стабильной урожайностью, скороплодностью, неприхотливостью к почвенно-климатическим условиям и содержанием большого количества биологически активных веществ, главным из которых является витамин С [1–3].

В течение последнего столетия сортимент черной смородины активно пополняется в результате успешной работы отечественных и зарубежных селекционеров и на сегодняшний момент составляет >1000 образцов. Перечень рекомендуемых сортов для закладки насаждений постоянно обновляется: малоценные устаревшие сорта уступают место более совершенным, урожайным, крупноплодным, выносливым к вредителям и болезням [4, 5].

Большое разнообразие новых сортов требует комплексной оценки хозяйственно-полезных признаков в условиях средней полосы России, для которой характерна неустойчивость погодных условий, что оказывает существенное влия-

ние на урожайность и степень заболеваемости смородины черной. Поэтому изучение адаптивных возможностей высокопродуктивных, районированных сортов смородины черной с высокими качественными характеристиками, устойчивых к болезням и вредителям, а также пригодных к употреблению в свежем виде и для переработки представляет большой интерес. Цель работы – выявление наиболее перспективных сортов смородины черной, пригодных для выращивания в условиях Нижегородской обл., изучение степени поражения болезнями и вредителями, продуктивности и товарности черной смородины разных сортов и сроков созревания, а также рентабельности ее возделывания.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Лысковском государственном сортоиспытательном участке (ГСУ) Нижегородской обл. Объектом исследования служили 10 сортов смородины черной разных сортов и сроков созревания. При высадке смородины рядки располагали с востока на запад.

Таблица 1. Агрохимические свойства почвы сорто-участка

Агрохимические показатели			
рН _{KCl} , ед. рН	P ₂ O ₅ (по Кирсанову)	K ₂ O (по Масловой)	Гумус (по Тюрину), %
	мг/кг		
5.4	182	142	1.1—2.9

В каждом из них высаживали 150 кустов по схеме: расстояние между кустами — 0.75 м, между рядами — 3 м. Уход за саженцами, внесение минеральных и органических удобрений проводили в соответствии общепринятым методикам для черной смородины [6–9].

Рельеф местности Лысковского ГСУ Нижегородской обл. — выровненный, почвы — светло-серые лесные, по гранулометрическому составу — легкосуглинистые. Агрохимические показатели почвы представлены в табл. 1. Показано, что почвы госсортоучастка благоприятны для возделывания черной смородины.

Определение общего состояния растений, их устойчивость к заболеванию антракнозом и септориозом, поражение почковым клещом, вкусовые и дегустационные качества ягод оценивали по 5-бальной шкале в соответствии с общепринятыми методическими руководствами [10, 11]. Определение витамина С в плодах черной смородины проводили методом Мурри, оценку общей кислотности — методом титрования, содержание сахаров определяли по Бертрану [12]. Повторность анализов — трехкратная, данные обработаны методами математической статистики в программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наряду с селекционной работой по созданию новых сортов, сочетающих крупноплодность с высокой урожайностью, высоким содержанием биологически активных веществ, главными из которых является витамин С в плодах, устойчивость к болезням и вредителям, определяющим фактором ценности сортов является устойчивое сохранение этих признаков при интродукции в другие регионы.

Определение степени поражения болезнями и вредителями исследованных сортов смородины позволило установить, что независимо от сортов и сроков созревания каждый из них характеризовался устойчивостью к мучнистой росе и почковому клещу на фоне разной степени поражения антракнозом и септориозом как в зависимости от сорта, так и от года наблюдения (табл. 2). Поэтому общее состояние растений определялось степенью заболеваемости антракнозом и в большей

степени — септориозом. Общая оценка сортов по 5-бальной шкале показала, что поражение антракнозом и септариозом ухудшали качественные характеристики плодов. У большинства изученных сортов степень поражения антракнозом достигала 10%. Сорт Орловская серенада проявил признаки заболевания антракнозом только в 2020 г. при более значительном поражении септориозом (до 30% в 2019 г.). Самая значительная степень заболеваемости этими болезнями была у среднераннеспелого сорта Искушение (30–40%), в результате чего кусты смородины этого сорта были ослаблены, листья недостаточно развиты, а общее состояние сорта в отличие от всех остальных было оценено как среднее (3.5 балла). Таким образом, полученные данные позволили установить, что в 2018–2020 гг. плоды черной смородины изученных сортов в разной степени поражались антракнозом и септориозом на фоне их устойчивости к мучнистой росе и почковому клещу. Результаты соответствовали литературным данным, согласно которым черная смородина наиболее сильно поражается именно этими болезнями [7, 8].

Урожайность является основным показателем, характеризующим ценность сорта и определяющим его экономическую эффективность (табл. 3). Показано, что наибольшей урожайностью в условиях Нижегородской обл. характеризовались среднеспелые сорта, среди которых можно выделить Верность и Орловскую серенаду, каждый из которых, несмотря на наибольшую вариабельность этого признака по годам, превосходил по урожайности все остальные сорта. Незначительно уступали им сорта Добрыня и Муравушка, урожайность которых была в среднем на 16% меньше.

Урожайность является интегральным показателем, определяющим взаимодействие генотипа и среды обитания. На фенотипическое проявление этого количественного признака большое влияние оказывают погодные условия года выращивания, главными из которых являются температура и количество осадков. Именно эти факторы в значительной степени определяют продолжительность периода роста и созревания, а также массу плодов [13–15]. В средней полосе России черную смородину обычно собирают с конца июня до начала августа. В северных регионах с прохладным климатом процесс вегетации и созревания ягод более продолжительный, в результате чего период созревания может увеличиваться на 2–3 нед. [16]. Согласно имеющимся данным, урожайность черной смородины в среднем составляет 10–12 т/га, максимально — до 15 т/га [13–15], что подтверждено результатами настоящей работы. Проведенное исследование позволило выявить наиболее перспективные сорта смородины черной, пригодные для выращивания в условиях Нижегородской обл. Такими сортами

Таблица 2. Степень пораженности черной смородины болезнями (2018–2020 гг.)

Сорт	Болезни и вредители, % поражения										Общая оценка сорта, балл		
	мучнистая роса			антракноз			септориоз			почковый клещ			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2018–2020 гг.	1	2	3
Раннеспелые сорта													
Селечинская	0	0	0	10	10	0	10	10	10	0	5.0	5.0	4.5
Среднераннеспелые сорта													
Креолка	0	0	0	10	30	10	20	30	40	0	4.5	4.0	4.5
Искушение	0	0	0	30	30	20	30	40	40	0	4.0	4.0	3.5
Чудное мгновение	0	0	0	20	20	10	20	0	10	0	4.5	4.5	4.5
Верность	0	0	0	0	10	10	0	40	40	0	5.0	5.0	4.5
Добрыня	0	0	0	10	10	10	30	20	20	0	4.0	4.5	4.5
Орловская серенада	0	0	0	0	0	10	10	30	20	0	5.0	5.0	5.0
Муравушка	0	0	0	10	10	0	10	10	10	0	4.5	4.5	4.5
Тамерлан	0	0	0	0	10	20	0	20	10	0	5.0	5.0	4.0
Позднеспелые сорта													
Чернавка	0	0	0	0	0	10	0	10	10	0	5.0	5.0	4.5

Примечание. В графе 1 – 2018, 2 – 2019, 3 – 2020 г.

были Добрыня и Муравушка, урожайность которых по 3-летним данным достигала 13–14 т/га, сорта Верность и Орловская серенада – 14 и 17 т/га соответственно.

Абиотические факторы оказывали существенное влияние на урожайность, что хорошо прослежено для всех изученных сортов. Например, урожайность сорта Орловская серенада изменялась по годам в 1.7 раза (с 13 до 22 т/га), сорта Верность – в 1.9 раза (с 10 до 19 т/га). Таким образом, повышение стабильности урожайности черной смородины является одной из приоритетных задач, которую можно достичь в результате селекции на совмещение высокой продуктивности с устойчивостью к главным лимитирующим факторам – температуре и уровню влажности почв.

Масса плодов определяет продуктивность смородины и является одним из важнейших ее характеристик. Полученные данные показали, что по величине массы плодов изученные сорта имели значительные различия (табл. 4). При одинаковых условиях выращивания и погодных условиях, плоды черной смородины имели существенные различия массы. Наибольшей массой ягод, оцененной как “высокая”, характеризовался сорт Верность, масса 100 плодов которого достигала 180–210 г. Все остальные сорта имели “среднюю” массу. Крупноплодность существенно изменялась по годам. Например, максимальная масса 100 плодов сорта Верность была в 2019 г. и достигала 210 г, сорта Креолка и Чудное мгновение имели среднюю массу ягод, которая имела наибольшую величину в 2020 г. – 120 и 150 г соответственно. Остальные сорта имели менее вари-

бельный этот признак. Согласно литературным данным, средняя масса 100 ягод высокопродуктивных сортов достигает 200–260 г, что соответствовало некоторым изученным сортам [13–15].

Товарность является интегральным показателем, включающим не только массу плодов, но и такие показатели, как одновременность созревания, привлекательность внешнего вида, оценка вкуса, дегустационная оценка, а также биохимический состав. Показано, что товарность всех изученных сортов была максимальной и оценена в 100%.

Таблица 3. Урожайность черной смородины различных сортов, т/га

Сорт	Урожайность, т/га			
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	Средние по годам, т/га
Селечинская	11.4	10.0	7.2	9.5
Креолка	2.4	20.7	12.2	11.8
Искушение	2.9	2.14	2.0	2.3
Чудное мгновение	8.5	5.0	4.3	5.9
Верность	13.1	19.3	9.9	14.1
Добрыня	12.4	16.4	11.2	13.3
Орловская серенада	13.3	22.0	15.9	17.0
Муравушка	12.1	17.1	10.2	13.1
Тамерлан	10.4	9.3	4.4	8.0
Чернавка	7.2	21.4	7.4	12.0
НСР ₀₅	1.7	4.7	1.0	–

Таблица 4. Масса плодов черной смородины и их товарность

Сорт	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
	масса, г/100 шт.			товарность, %		
Раннеспелые сорта						
Селечинская	150	150	140	100	100	100
Среднераннеспелые сорта						
Креолка	90	90	120	100	100	100
Искушение	80	90	70	100	100	100
Среднеспелые сорта						
Чудное мгновение	110	110	150	100	100	100
Верность	180	210	190	100	100	100
Добрыня	120	100	120	100	100	100
Орловская серенада	130	110	130	100	100	100
Муравушка	110	110	110	100	100	100
Тамерлан	140	120	110	100	100	100
Среднепозднеспелые сорта						
Чернавка	170	140	140	100	100	100

Определение вкусовых качеств ягод черной смородины и дегустационную оценку проводили по общепринятой 5-бальной шкале [10] (табл. 5).

Общепринятые органолептические исследования позволили установить, что вкусовые качества и дегустационная оценка всех сортов была высокой и составляла 4.0–4.9 балла. Наибольшие показатели этого признака были отмечены в 2020 г., что определялось благоприятными погодными условиями года выращивания. Исключение составили сорта Добрыня и Тамерлан, вкус которых в 2019 и 2020 гг. был оценен в 3.9 балла (вкус посредственный, сладко-кислый). Самые

низкие вкусовые качества и дегустационная оценка была у плодов сорта Искушение в 2020 г. (3.4 балла, плоды средние, не очень крупные, недостаточно окрашенные).

Важнейшими качественными характеристиками плодов является их сочность, уровень кислотности, содержание витамина С (аскорбиновой кислоты) и сахаров (табл. 6). Установлено, что сочность плодов, которую определяет степень гидратации, не имела существенных различий в зависимости от сорта и достигала 80–84%, за исключением сорта Добрыня, уровень оводненности ягод которого незначительно уступал всем остальным и составлял 79.9%.

Согласно имеющимся литературным данным, наличие большого количества органических кислот в растениях, в том числе и плодах смородины, определяется их участием в цикле Кребса, т.е. в процессах внутриклеточного дыхания растений, и биосинтезе различных соединений. Наибольшую группу органических кислот в ягодах черной смородины составляют водорастворимые кислоты, определяющие кислотность плодов, главными из которых являются лимонная, яблочная и аскорбиновая [18].

Установлено, что в плодах черной смородины уровень общей кислотности не имел существенных различий в зависимости от сорта и достигал 2.3–3.1%. Сравнив результаты настоящей работы с литературными данными, отметили, что они были соизмеримы и находились в пределах 2.1–3.2% и в значительной степени зависели от региона произрастания. Например, кислотность черной смородины, выращенной в южных регионах, могла составлять 1.5–2.3%, в северных – увеличиваться до 3.9–5.4% [3, 8]. Органические кислоты, содержащиеся в растительных тканях, имеют

Таблица 5. Дегустационная оценка плодов черной смородины

Сорт	Оценка вкуса, балл			Дегустационная оценка, балл		
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Раннеспелые сорта						
Селечинская	4.2	4.1	4.9	4.3	4.1	4.6
Среднераннеспелые сорта						
Искушение	4.0	4.1	3.4	4.1	4.0	3.4
Креолка	4.0	4.1	4.8	4.1	4.1	4.8
Среднеспелые сорта						
Чудное мгновение	4.0	4.0	4.4	4.0	4.1	4.5
Верность	4.4	4.5	4.6	4.4	4.5	4.6
Добрыня	4.2	3.9	4.5	4.1	4.1	4.5
Орловская серенада	4.3	4.8	4.6	4.3	4.4	4.9
Муравушка	4.0	4.2	4.6	4.0	4.0	4.8
Тамерлан	4.5	4.4	3.9	4.4	4.5	3.9
Позднеспелые сорта						
Чернавка	4.3	4.3	4.5	4.3	4.4	4.8

Таблица 6. Биохимический состав плодов черной смородины (2020 г.)

Сорт	Влажность, %	Витамин С, мг%	Сумма сахаров, %	Кислотность, %
Селечинская	84.8	199	8.4	2.3
Искушение	82.3	203	10.9	3.1
Креолка	83.0	199	7.5	2.7
Чудное мгновение	83.5	180	7.7	3.1
Верность	81.0	188	9.2	2.9
Добрыня	79.9	180	9.2	2.5
Орл. серенада	81.4	196	9.6	2.5
Муравушка	80.9	195	10.5	2.3
Тамерлан	83.7	180	9.9	2.9
Чернавка	82.7	178	10.2	3.0

большое значение для организма человека. Они активируют деятельность пищеварительных желез, способствуют лучшему усвоению организмом пищи и очень важны при ряде заболеваний, сопровождающихся пониженной желудочной кислотностью, поскольку отчасти компенсируют недостаток соляной кислоты желудочного сока [19].

Среди органических кислот наибольший интерес представляет витамин С (аскорбиновая кислота), который относится к группе водорастворимых витаминов и не синтезируется в организме человека. Роль аскорбиновой кислоты во внутриклеточных процессах многочисленна и сложна. Она принимает участие в тканевом дыхании, усвоение углеводов и белков, повышает сопротивляемость организма к инфекциям, интоксикациям, химическим веществам, участвует в выработке стрессового гормона адреналина и многих метаболических процессах [11, 16]. Показано, что все изученные сорта смородины черной имели высокий уровень содержания витамина С, достигавший 180–202 мг%, (мг/100 г ягод), при суточной потребности человека в этом витамине 60–100 мг. При технической переработке плодов черной смородины в них хорошо сохраняется витамин С, благодаря низкой активности фермента аскорбиназы, препятствующей окислению аскорбиновой кислоты в плодах, поэтому при варке варения и производстве соков утрачивается не более 6.0–8.3 и 4.2–8.6% витамина С соответственно [18, 20]. Таким образом, свежие плоды черной смородины и продукты ее переработки способны удовлетворять потребности организма в этом витамине практически полностью.

В ягодах черной смородины в большом количестве присутствуют простые сахара, преимущественно в форме глюкозы и фруктозы [21], которые хорошо растворимы в воде и имеют сладкий вкус. В сочетании с органическими кислотами и витамином С они определяют вкус ягод. Результаты настоящей работы соответствовали литературным данным [3, 19, 21] и показали, что суммарное содержание саха-

ров в плодах черной смородины достигало 7.5–10.9%. К сортам, обладающим высокой сахаристостью (10% и более), относятся Искушение – 10.9, Муравушка – 10.5 и Чернавка – 10.2%.

Одной из важнейших характеристик сортов, внедряемых в сельскохозяйственное производство, является экономическая эффективность. Расчет экономической эффективности выращивания черной смородины 10 сортов разных сроков созревания в условия Лысковского ГСУ Нижегородской обл. показал высокую рентабельность большинства изученных сортов. Исключение составили 2 сорта – Искушение и Чудное мгновение, сорт Тамерлан имел рентабельность 18.5, сорт Селечинская – 38.8%, остальные сорта – ≥70%. Максимальная рентабельность была у сортов Орловская серенада (133%) и Верность (97.7%). Таким образом, полученные результаты позволили установить, что независимо от сроков созревания, производственное выращивание черной смородины в условиях Нижегородской обл. рентабельно при урожайности ягод >8 т/га.

ВЫВОДЫ

1. Независимо от сроков созревания, изученные сорта смородины в условиях Нижегородской обл. были хорошо адаптированы к абиотическим факторам (подмерзанию и засухоустойчивости) и не проявляли признаков поражения мучнистой росой и почковым клещом.

2. Все сорта черной смородины характеризовались высокими качественными характеристиками ягод, главными из которых были содержание аскорбиновой кислоты и сахаристость, достигавшие 178–203 и 7.5–10.9% соответственно.

3. Наибольшей урожайностью ягод (13–17 т/га) и уровнем рентабельности отличались сорта Орловская серенада (133%), Верность (97.7%), Добрыня (87.8%) и Муравушка (85.3%), которые можно рекомендовать для выращивания в промышленных масштабах в условиях Нижегородской обл.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жидехина Т.В. Оценка новых сортов смородины черной // Сад-во и виноград-во. 2007. № 5. С. 15–16.
2. Куденков М.И. Сорта смородины и крыжовника, районированные в России // Сад-во и виноград-во. 1995. № 3. С. 9–13.
3. Жбанова Е.В., Зацепина И.В. Вкус и химический состав плодов смородины черной. М.: Изд-во Агрорус, 2014. № 1–3 (98). С. 17–19.
4. Беляев Л.С. Селекция черной смородины на новом этапе // Сад-во и виноград-во. 1985. № 1. С. 3–7.
5. Жидехина Т.В. Перспективные направления селекции черной смородины // Сад-во и виноград-во. 2001. № 3. С. 29–35.
6. Володина Е.В. Современные приемы возделывания черной смородины. М: ВНИИЕЭИСХ, 1981. 75 с.
7. Куминов Е.П., Сорокопудов В.Н. Оценка селекционного материала черной смородины на устойчивость к болезням // Селекция и сортоизучение черной смородины. Мичуринск: ВНИИС им. И.В. Мичурина, 1988. С. 50–54.
8. Ефремова М.И. Почти все о смородине и крыжовнике // Приусадеб. хоз-во. 1997. № 2. С. 15–20.
9. Поздняков А.Д. Проблемы и перспективы промышленного возделывания смородины в Нечерноземной зоне РСФСР // Сад-во и виноград-во. 1990. № 1. С. 3–5.
10. Седова Е.Н. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / Под ред. Н.Е. Седовой, Т.П. Огольцовой Т.П. Орел.: ВНИИСПК, 1999. 606 с.
11. Дроздовский Э.М. Болезни смородины и крыжовника // Защита и карантин раст. 2000. № 12. С. 33–37.
12. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. Л.: Колос, 1972. 456 с.
13. Сазонов Ф.Ф. Селекционный потенциал продуктивности смородины черной и реализация его в новых сортах // Агро-XXI. 2011. № 1–3. С. 20–22.
14. Сазонов Ф.Ф., Подгаецкий М.А. Потенциал продуктивности исходных форм и гибридов смородины черной // Вестн. Орел ГАУ. 2011. № 3. С. 32–35.
15. Забелина Л.Н. Селекция смородины черной на стабильную урожайность // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. науч. работ. М.: ВСТИСП, 2012. Т. XXXI. Ч. 1. С. 203–208.
16. Жидехина Т.В., Родюкова О.С., Гурьянова И.В. Влияние био- и абиотических факторов на продуктивность черной смородины // Достиж. науки и техн. АПК. 2017. Т. 31. № 4. С. 68–71.
17. Бережная Г.А. Динамика изменения степени оводненности в гипантии созревающих плодов облепихи четырех климатиков, интродуцированных в условиях Нижегородской области // Мат-лы Международ. научн. конф. “Научные основы системы земледелия и их совершенствование” Н. Новгород, 2007. С. 269–273.
18. Тимирханова Г.А. Витамин С: Классические представления и новые факты о механизмах биологического действия // Вятский мед. аестн. 2007. № 4. С. 158–161.
19. Лифляндский В.Г. Лечебные свойства пищевых продуктов. М.: Терра, 1999. 540 с.
20. Ших Е.В. Роль аскорбиновой кислоты и токоферола с точки зрения доказательной медицины // Терапевт. архив. 2015. № 87 (4). С. 98–102.
21. Макаркина М.А. Характеристика сортов смородины черной по содержанию сахаров и органических кислот // Совр. сад-во. Генетика. Селекция. Сортоизучение. 2010. № 2. С. 9–12.

Comprehensive Assessment of Economic and Valuable Assets Indicators and Adaptive Capabilities Promising Varieties of Black Currant in the Conditions of the Nizhny Novgorod Region

G. A. Berezhnaya^{a, #}, O. V. Mukhina^a, N. P. Grigorieva^b, and M. G. Skaredova^a

^a Nizhny Novgorod State Agriculture Academy
prosp. Gagarina 97, Nizhny Novgorod 603107, Russia

^b Lyskovske State Variety Testing Site
ul. Centralnaya, Nizhny Novgorod region, Lyskovsky district, s. Chernuha 606240, Russia

[#]E-mail: Berezhnaya-galina@inbox.ru

Three-year data of estimates of economic and valuable rates of 10 varieties of black currant, various selection institutions in the conditions of the Nizhny Novgorod region are presented. It was established that the studied varieties adapted well to the weather conditions of the region, did not show signs of drought-resistant and frozen, were not affected by the torment dew and kidney tick, but had a different degree of morbidity and septoriosis, which determined the general state of the plants, estimated for most of them as “good”. The exception was the sort of temptation, which had a high degree of morbidity. The greatest yield and level of profitability were characterized by grades: Orlovskaya serenade (133%), Loyalty (97.7%), Dobrynya (87.8%) and Muravichka (85.3%) recommended for industrial cultivation in the conditions of the Nizhny Novgorod region.

Key words: black currant, freezing, drought resistance, diseases, anthracosis, septoria, yield, tasting assessment, profitability.

УДК 632.151:546.16:633.511

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗДУШНОГО ПЕРЕНОСА ФТОРА В СОСТАВЕ АЭРАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТЕНИЙ ХЛОПЧАТНИКА ДЛЯ ИНДИКАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

© 2021 г. А. В. Литвинович^{1,*}, О. Ю. Павлова¹, А. В. Лаврищев², В. М. Буре^{1, 3}

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

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

³Санкт-Петербургский государственный университет
199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 6—9, Россия

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

Поступила в редакцию 28.04.2021 г.

После доработки 03.06.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Исследование листьев растений хлопчатника, возделываемого в зоне распространения выбросов предприятия по производству аммофоса, позволило установить возможность использования растений для индикации площади аэротехногенного загрязнения фтором. Установлено, что большая часть фтора легко удаляется с листовой поверхности после смыва дистиллированной водой. Выявлена взаимосвязь содержания фтора, накапливавшегося в составе техногенной пыли на листьях, и его концентрации в тканях. Разработаны эмпирические зависимости содержания фтора в смытых и не смытых листьях хлопчатника. Показано, что вид изученной эмпирической зависимости зависит от направления распространения ветра. Установлена связь количества фтора в смытых листьях хлопчатника и их зольностью при удалении от источника загрязнения.

Ключевые слова: моделирование процесса, воздушный перенос, фтор, аэральные выбросы, хлопчатник, индикация промышленного загрязнения.

DOI: 10.31857/S0002188121120061

ВВЕДЕНИЕ

Фтор является одним из серьезных загрязнителей агроландшафта. Фтористые соединения, поступая в почву, изменяют их физико-химические и биологические свойства, нарушают нормальное функционирование растений. Проблема загрязнения окружающей среды техногенными соединениями фтора актуальна для многих промышленно развитых регионов [1].

Источниками поступления фтора в атмосферу являются предприятия алюминиевой промышленности [2], заводы по производству керамики, стекла, фосфорсодержащих удобрений [3]. Подсчитано, что при переработке 13 млн т фосфатных концентратов и руд ежегодно химически активизируется 1 млн т фтора [4]. Применение фосфорных удобрений и фосфогипса также способствует обогащению почв фтором [5, 6].

В лаборатории мелиорации почв АФИ (г. Санкт-Петербург, Россия) длительное время проводят

исследования, направленные на установление влияния фтора на компоненты агроценозов. Изучено воздействие аэральных выбросов предприятия по производству аммофоса на состав микробиоты, почву, растения и грунтовые воды [7–12]. Выявлено влияние различных видов минеральных удобрений на переход фтора в растения [9].

В исследованиях [13, 14] предпринята попытка использовать растения хлопчатника в качестве фитоиндикатора для картирования территории рассеяния аэропромвыбросов комбината по производству фосфорных удобрений. Следует подчеркнуть, что установление площади рассеяния техногенных выбросов заводов, расположенных в аридных регионах, встречает определенные трудности. Отсутствие устойчивого снежного покрова исключает возможность мониторинга загрязнения в зимний период времени. Ведение сельскохозяйственного производства в аридной зоне невозможно без проведения ирригационных мероприятий. Например, за вегетационный период

Таблица 1. Зольность листьев растений хлопчатника, г/100 г воздушно-сухой массы

Расстояние от предприятия, км	Зольность не смытых листьев	Зольность смытых листьев	Разность	
			г	%
0.6	21.1	19.1	2.0	9.5
3	21.4	17.1	4.3	20.1
5	23.5	21.2	2.3	9.8
10	22.6	21.0	1.6	7.1
15	21.7	20.6	1.1	5.1
20	20.9	19.2	1.7	8.1

возделывания хлопчатника проводят 6–7 поливов по бороздам. Это приводит к смыву и миграции в нижележащие слои почвенной толщи оседающих на поверхность поллютантов [15–17]. Дополнительным фактором перераспределения техногенных выпадений на поверхности почвы является ветроперенос. Цель работы – на основе данных содержания фтора на поверхности листьев и в тканях листа хлопчатника разработать эмпирические модели дальности воздушного переноса аэропромвыбросов предприятия по производству аммофоса. В задачи исследования входило: установить концентрацию фтора в листьях растений на разном расстоянии от источника загрязнения по розе ветров; выявить взаимосвязь содержания фтора в хлопчатнике при разной подготовке растительных проб; по мере удаления от комбината определить изменение зольности листовых пластинок растений от концентрации фтора в их тканях.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Завод по производству аммофоса (координаты: 39°39'33"N и 66°49'42"E) с ежегодным объемом газопылевых выбросов >10 тыс. т расположен в зоне сухих субтропиков. К предприятию прилегает территория активного хлопкосеяния. Вегетационный период хлопчатника длится 110–150 сут [18]. Степень сомкнутости крон хлопчатника к июлю, в зависимости от агротехники возделывания, составляет 40–93% [19]. Глубоко рассеченные листовые пластинки растений этой культуры хорошо удерживают пылевидный нанос. Незначительное количество осадков с мая по октябрь практически исключает возможность смыва техногенных частиц с поверхности листьев.

Почвенный покров участков, на которых отбирали пробы хлопчатника, представлен сероземно-оазисными староорошаемыми почвами на

агроирригационных отложениях (>1.5 м) [20]. Вне зависимости от расстояния до труб предприятия почвы характеризуются сходным химическим и гранулометрическим составом. Валовой химический состав: SiO_2 – 52–54.1, Fe_2O_3 – 3.4–3.8, Al_2O_3 – 11.6–12.3, K_2O – 2.3–2.9%. Гранулометрический – тяжелосуглинистый. Содержание фракций <0.001 мм – 17.5–19.2, <0.01 мм – 48.4–50.4%. Реакция почв щелочная: $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 7.7–8.2.

Образцы листьев хлопчатника отбирали на разном расстоянии (0.6–25 км) от предприятия по розе ветров в фазе бутонизации по всей высоте растений. В качестве контроля служили растения вне зоны досягаемости выбросов. Средняя проба включала 90 растений из каждого массива. Повторность пятикратная. Перед определением пробы растений усредняли. Агротехника возделывания хлопчатника на всей обследованной территории одинаковая. Уровень запыленности листовой поверхности хлопчатника определяли по разности между зольностью не смытых и смытых листьев. Озоление проводили в муфеле при температуре 550°C.

Для смыва 100 г свежих листьев использовали 100 мл дистиллированной воды. Содержание фтора устанавливали, анализируя смытые и не смытые листья с помощью фторселективного электрода в водной вытяжке. Перед анализом листья измельчали, доводя до тонкодисперсного состояния.

Математическую обработку данных проводили согласно [21].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе отбора растительных образцов обратили внимание на высокую запыленность листовой поверхности хлопчатника. При сжигании не смытых листьев, по сравнению со смытыми, выход золы оказался на 1.1–4.3 г/100 г сухой массы листьев больше. Максимальное запыление листьев установлено в 3-км зоне (табл. 1). Это согласовалось с данными исследования [22], в котором показано, что радиус максимального промышленного загрязнения приземного слоя атмосферы определяется высотой труб загрязнителя и равен ≈5–20 высотам труб.

В составе выбросов предприятий по производству фосфорсодержащих удобрений приоритетным загрязнителем является фтор. Источниками выбросов служат цеха по производству аммофоса и экстракционной фосфорной кислоты. В техногенной пыли цехов по производству аммофоса содержание фтора составляет 3.7%.

Таблица 2. Содержание фтора в листьях хлопчатника, мг/кг воздушно-сухой массы

Направление	Расстояние от предприятия, км								
	0.6	3	5	7.5	10	12.5	15	20	25
Север	—	<u>153</u> 41.3	<u>29.4</u> 10.5	—	<u>19.0</u> 6.8	—	<u>8.4</u> 3.7	<u>5.6</u> 1.6	—
Северо-восток	<u>70.0</u> 17.5	<u>300</u> 72.0	<u>50.0</u> 12.0	<u>40</u> 12	<u>23.0</u> 7.0	<u>20</u> 5.2	<u>21.0</u> 4.8	<u>18.5</u> 4.2	<u>12.2</u> 4.1
Восток	—	<u>16.9</u> 4.8	—	—	<u>10.4</u> 3.7	—	<u>8.3</u> 4.2	—	—
Юго-восток	—	<u>9.6</u> 3.7	<u>7.6</u> 3.4	—	<u>7.4</u> 2.8	—	—	—	—
Запад	—	<u>15.0</u> 2.4	<u>8.6</u> 2.5	—	—	—	—	—	—
Юго-запад	<u>27.1</u> 6.4	<u>13.0</u> 2.5	<u>8.1</u> 3.0	—	—	—	—	—	—
Юг	—	—	—	—	<u>10.1</u> 2.9	—	—	—	—

Примечание. Над чертой — содержание фтора в не смытых листьях, под чертой — в смытых, прочерк — не определяли. Контроль вне зоны распространения выбросов — 6.8 мг/кг (не смытые листья).

Уровень загрязнения растений фтором в целом закономерно снижался по мере удаления от источника загрязнения (табл. 2). Площадь техногенного загрязнения вытянута от предприятия в направлении преобладающих ветров (север, северо-восток). По другим направлениям радиус меньше. Фтор оседает на листьях растений в составе техногенной пыли. Большая часть фтора легко удалялась при смыве листовой поверхности. Таким образом, общее содержание фтора, установленное при исследовании листьев хлопчатника, не отражало его токсического уровня. Проведенное исследование позволило сделать важный в практическом отношении вывод. Изучение химического состава растений следует проводить только после специальной подготовки растительных проб.

Разработку эмпирических моделей содержания фтора на листьях и в тканях листовой пластинки проводили в направлении преимущественного распространения ветров, поскольку только 2 направления (север и северо-восток) содержали достаточное количество наблюдений.

Эмпирические модели содержания фтора в зависимости от расстояния от предприятия (направление северо-восток). Данные, характеризующие содержание фтора в смытых и не смытых листьях в зависимости от расстояния до предприятия, носят сложный и нелинейный характер. Выделили 2 зоны: первая зона находится на расстоянии ≤ 5 км, вторая — на расстоянии > 5 км от предприятия.

Для каждого из 2-х вариантов (смытые и не смытые листья) вначале производили логарифмирование исходных данных, далее строили эмпирическую модель на основе многочлена 2-й степени для 2-й зоны по 7-ми точкам (удаление от 5 км и более). После чего строили точную эмпирическую модель для 1-й зоны по 3-м точкам также на основе многочлена 2-й степени (3 неизвестных параметра) таким образом, чтобы построенные модели для 1-й и 2-й зон совпадали на границе (точка 5 км). Далее использовали экспоненту для построения объединенной эмпирической модели. При построении моделей 2–4 использовали аналогичный подход.

Эмпирическая модель содержания фтора для не смытых листьев (1) объединяет модели (1.1) и (1.2).

Модель (1.1) для 1-й зоны (расстояние ≤ 5 км от предприятия) имеет вид:

$$y_{1,1} = \exp(3.259 + 1.8576x - 0.3476x^2), \quad (1.1)$$

где x — расстояние от предприятия.

Модель (1.2) для 2-й зоны (расстояние > 5 км от предприятия) имеет вид:

$$y_{1,2} = \exp(4.511 - 0.1442x + 0.0027x^2), \quad (1.2)$$

где x — расстояние от предприятия.

Модель (1.2) оказалась статистически значимой на высоком уровне значимости 1% (статистика $F = 18.46$ при критической величине $F(0.99, 2, 6) = 18$). Коэффициент детерминации $R^2 = 0.9$.

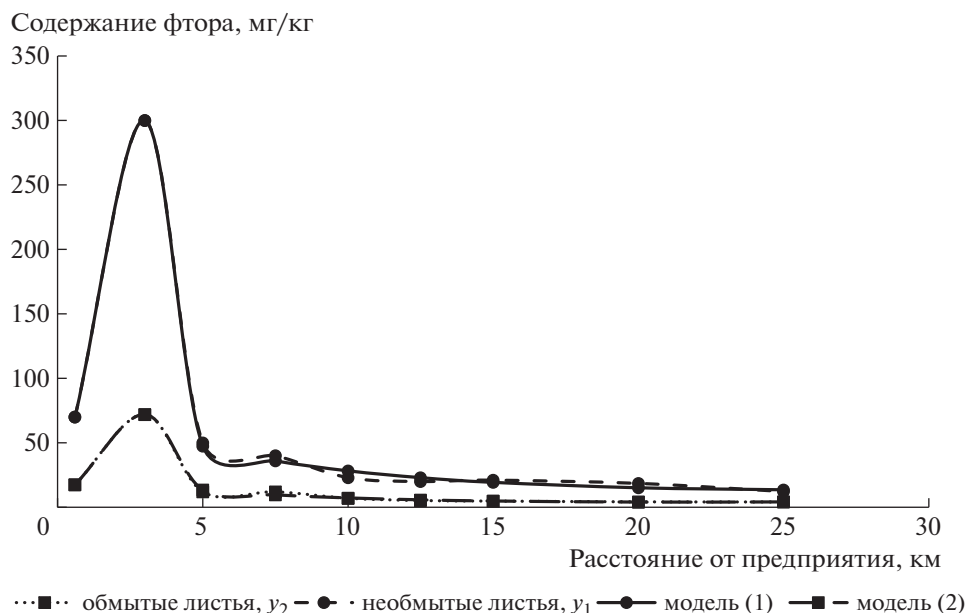


Рис. 1. Содержание фтора в смываемых и не смываемых листьях хлопчатника (направление северо-восток).

Эмпирическая модель (1.1) является точной, на границе зон (точка 5 км) модели совпадали. График модели (1) приведен на рис. 1.

Эмпирическая модель содержания фтора для смываемых листьев (2) объединяет модели (2.1) и (2.2). Модель (2.1) для 1-й зоны (расстояние ≤ 5 км от предприятия) имеет вид:

$$y_{2.1} = \exp(1.924 + 1.7586x - 0.3248x^2), \quad (2.1)$$

где x – расстояние от предприятия.

Модель (2.2) для 2-й зоны (расстояние > 5 км от предприятия) имеет вид:

$$y_{2.2} = \exp(3.431 - 0.1882x + 0.0043x^2), \quad (2.2)$$

где x – расстояние от предприятия.

Модель (2.2) оказалась статистически значимой на высоком уровне значимости 0.5% (статистика $F = 32.04$ при критической величине $F(0.995, 2, 6) = 26.28$). Коэффициент детерминации $R^2 = 0.94$. Эмпирическая модель (2.1) является точной, на границе зон (точка 5 км) модели совпадали. График модели (2) приведен на рис. 1.

Эмпирические модели содержания фтора в зависимости от расстояния от предприятия (направление север). Эмпирическая модель (3) содержания фтора для не смываемых листьев:

$$y_3 = \exp(5.7 - 0.39x + 0.01x^2), \quad (3)$$

где x – расстояние от предприятия.

Для прологарифмированной модели $p = 0.088$ (p -value по критерию Фишера), коэффициент де-

терминации $R^2 = 0.91$. График модели (1) приведен на рис. 2.

Эмпирическая модель (2) содержания фтора для смываемых листьев:

$$y_4 = \exp(4.1 - 0.27x + 0.005x^2), \quad (4)$$

где x – расстояние от предприятия.

Для прологарифмированной модели $p = 0.079$ (p -value по критерию Фишера), коэффициент детерминации $R^2 = 0.92$. График модели (4) приведен на рис. 3.

Взаимосвязь содержания фтора в смываемых и не смываемых листьях (направление северо-восток). Установлена очень сильная корреляционная связь между содержанием фтора в не смываемых (y_1) и смываемых (y_2) листьях, коэффициент корреляции равен $\rho(y_1, y_2) = 0.999$.

Парная линейная регрессия содержания фтора в не смываемых листьях (y_1) на содержание фтора в смываемых листьях (y_2) имеет вид:

$$y_1 = -2.2 + 4.2y_2, \quad (5)$$

где y_1 – содержание фтора в не смываемых листьях, y_2 – содержание фтора в смываемых листьях.

$b_2 = 4.2$ – коэффициент пересчета, показывающий на какое количество весовых единиц в среднем увеличивается содержание фтора в не смываемых листьях при увеличении содержания фтора в смываемых листьях на одну весовую единицу (для направления северо-восток).

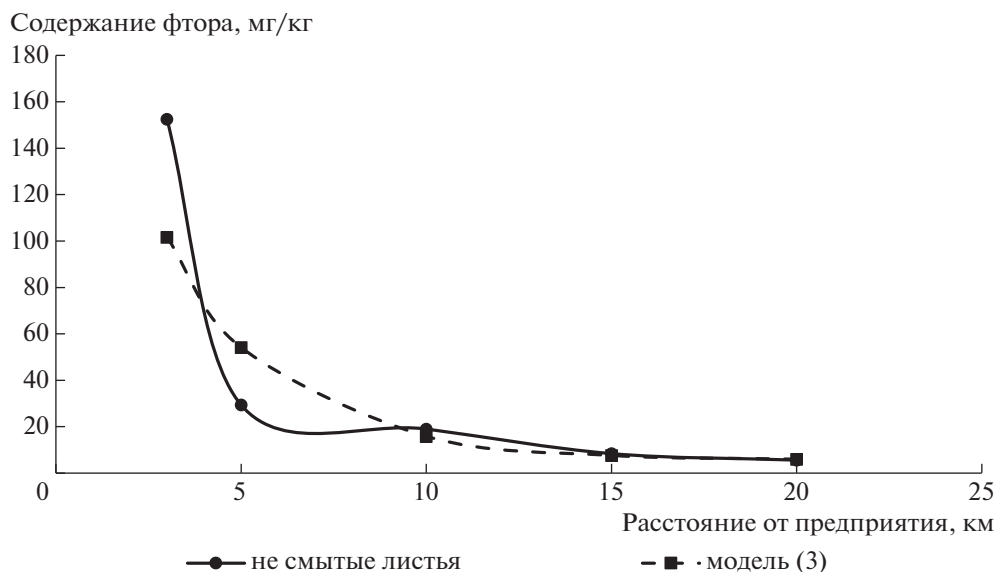


Рис. 2. Содержание фтора в не смытых листьях в зависимости от расстояния от предприятия (направление север).

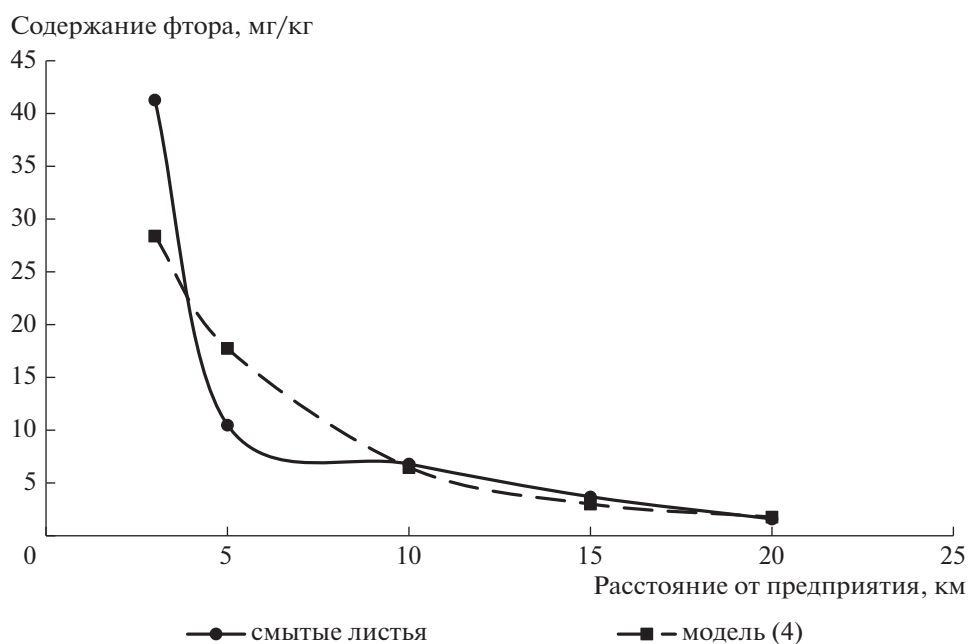


Рис. 3. Содержание фтора в смытых листьях в зависимости от расстояния до предприятия (направление север).

Эмпирическая модель (5) статистически значима на очень высоком уровне значимости 0.001% ($F = 4291$ при критической величине $F(0.99999, 1, 7) = 125.77$) коэффициент детерминации $R^2 = 0.998$. График зависимости (3) изображен на рис. 3.

Уравнение (5) позволяет с высокой степенью точности пересчитывать содержание фтора в смытых листьях в содержание фтора в не смытых листьях. График модели (5) представлен на рис. 4.

Взаимосвязь содержания фтора в смытых и не смытых листьях (направление север). Построим линейную эмпирическую модель (6), в которой содержание фтора в не смытых листьях (y) оценена через содержание фтора в смытых листьях (x):

$$y_6 = -5.52 + 3.8x, \quad (6)$$

где y_6 — содержание фтора в не смытых листьях, x — содержание фтора в смытых листьях, $b_1 = 3.8$ —

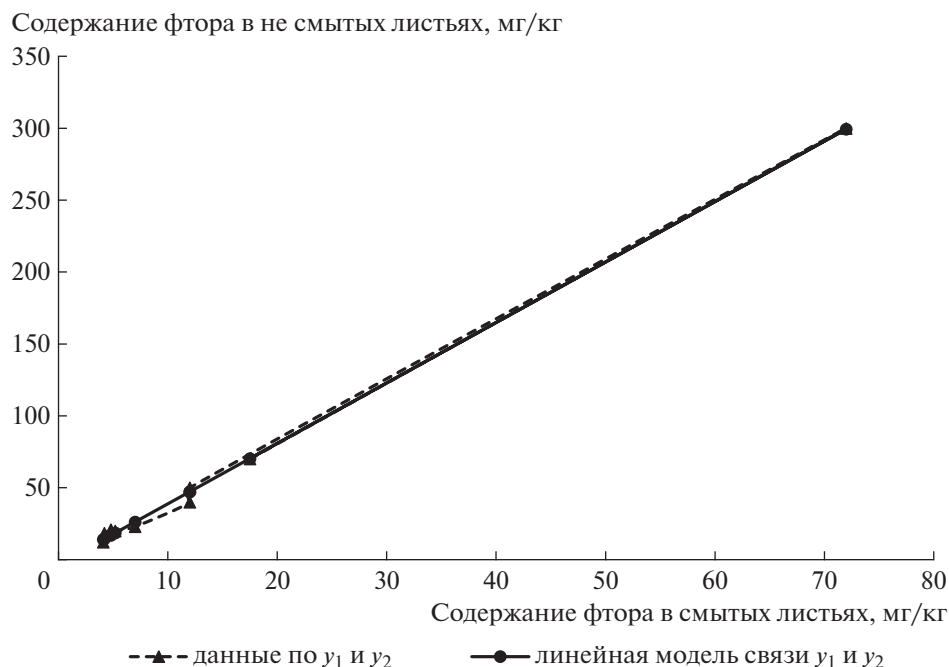


Рис. 4. Зависимость концентрации фтора в смываемых листьях хлопчатника от его содержания в не смываемых листьях (направление северо-восток).

коэффициент пересчета, показывающий на какое количество весовых единиц в среднем увеличивается содержание фтора в не смываемых листьях при увеличении содержания фтора в смываемых листьях на одну весовую единицу (для направления север).

Эмпирическая модель (6) статистически значима на очень высоком уровне значимости, $p = 5.3 \times 10^{-10}$ практически равна нулю (p -value по критерию Фишера для эмпирической модели (6)), коэффициент детерминации $R^2 = 0.997$. График модели (6) представлен на рис. 5.

Эмпирические модели (5) и (6) статистически значимы на очень высоком уровне значимости и очень точно описывают взаимосвязь содержания фтора в не смываемых листьях и содержанием фтора в смываемых листьях.

Проведенное исследование показало, что отложения аэральные выпадений не являются “пассивным”. Существует связь между содержанием фтора на листьях в составе техногенного наноса и его концентрацией в тканях листа. Таким образом, какое-то количество загрязняющих веществ способно переходить в мезофилл листа из техногенного наноса. По мнению [23], на поверхности листовых пластинок происходят многие биохимические процессы, реакции между элементами аэральные выпадений и поступающих

из живых тканей органических и минеральных соединений, которые способствуют растворению техногенных загрязнителей, делая их доступными для проникновения в растения. Например, в наших экспериментах цвет смывов с листьев имел зеленовато-желтую окраску. Выборочное изучение проб листьев хлопчатника показало, что содержание белка, определяемого по сумме аминокислот в смываемых листьях, было на 13% меньше, чем в не смываемых.

Различия в коэффициентах $b_1 = 3.8$ и $b_2 = 4.2$ являются статистически значимыми. Таким образом, переход фтора в ткань листа тем больше, чем выше загрязнение листовой поверхности. Чтобы убедиться в статистической значимости различий, применили методику ковариационного анализа [24]. Вводя дамми-переменные, можно построить общую линейную модель для 2-х направлений вместе:

$$y = a_1 d_1 + b_1 z_1 + a_2 d_2 + b_2 z_2, \quad (7)$$

где дамми-переменная d_1 может иметь только 2 величины: 1 (для модели (5)) и 0 (для модели (6)), дамми-переменная d_2 также может иметь только 2 величины: 1 (для модели (6)) и 0 (для модели (5)), т.е. $d_2 = 1 - d_1$, $z_1 = d_1 x_1$, $z_2 = d_2 x_2$, коэффициенты $a_1 = -5.52$ и $a_2 = -2.2$.

Для модели (7) можно проверить гипотезу $H_0 : b_1 = b_2$, используя F -критерий и F -статистику



Рис. 5. Зависимость концентрации фтора в смытых листьях хлопчатника от его содержания в не смытых листьях (направление север).

[24]. Вычисления по методике ковариационного анализа [24] показали, что на высоком уровне значимости $p = 0.013$ (p -value по критерию Фишера) гипотеза $H_0 : b_1 = b_2$ отклоняется и, следовательно, различия в коэффициентах $b_1 = 3.8$ и $b_2 = 4.2$ являются статистически значимыми на очень высоком уровне значимости. Следовательно, вид изученной эмпирической зависимости существенно зависит от направления, поскольку для направлений север и северо-восток имеются статистически значимые различия.

Связь между содержанием золы и содержанием фтора в смытых листьях (направление северо-восток). Построим линейную эмпирическую модель (8), в которой исследована связь между содержанием фтора в смытых листьях (y_8) и содержанием золы в смытых листьях (x_2):

$$y_8 = 293.27 - 13.89x_2, \quad (8)$$

где y_8 — содержание фтора в смытых листьях, x_2 — содержание золы в смытых листьях.

Эмпирическая модель (8) статистически значима на высоком уровне значимости, $p = 0.04$ (p -value по критерию Фишера для эмпирической модели (8)), коэффициент детерминации $R^2 = 0.68$. График модели (8) представлен на рис. 6.

Таким образом, имеется статистически значимая зависимость на высоком уровне значимости (5%) между содержанием золы и содержанием фтора в смытых листьях. При этом зольность растений возрастала по мере увеличения содержания фтора в листьях.

Увеличение зольности растений по мере приближения к предприятию можно объяснить экологической пластичностью хлопчатника и его способностью усиливать приток необходимых элементов к пораженным тканям, позволяющим увеличивать концентрацию в листьях необходимых метаболитов в ответ на неблагоприятные условия произрастания (регуляторная функция поглощения). Это делает возможным возделывание этой культуры в непосредственной близости от предприятий туковой промышленности [14].

Таким образом, листовая поверхность хлопчатника в период вегетации (с мая по октябрь) в значительной степени “экранирует” почвенную поверхность и выступает в условиях засушливого климата как своеобразный “накопитель” продуктов техногенеза. Это позволяет использовать растения хлопчатника для индикации площади техногенного рассеяния выбросов предприятия по производству фосфорных удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основе данных исследования листьев хлопчатника, возделываемого в зоне выбросов предприятия по производству аммофоса, установлена возможность использования этой культуры для индикации площади аэротехногенного загрязнения фтором.

Выявлена взаимосвязь содержания фтора, расположенного на поверхности листьев в составе техногенной пыли, и его концентрацией в тканях. Показано, что большая часть фтора легко удаля-

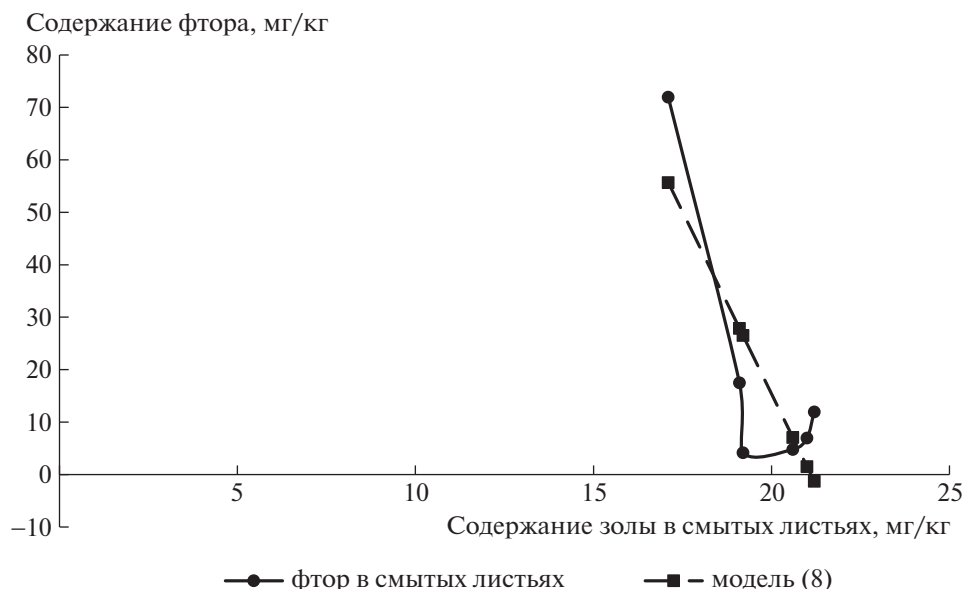


Рис. 6. Зависимость концентрации фтора от содержания золы в смывных листьях хлопчатника (направление северо-восток).

лась после смыва листовой поверхности дистиллированной водой. Разработаны эмпирические зависимости содержания фтора в смывных и не смывных листьях хлопчатника. Установлено, что вид изученной эмпирической зависимости зависит от направления распространения ветра. Выявлена связь концентрации фтора в смывных листьях хлопчатника и их зольностью при удалении от труб предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрид А.С., Борисочкина Т.И. Фтор: миграционная подвижность в почвах при техногенных загрязнениях // *Агрохимия*. 2019. № 3. С. 65–71.
2. Куликов Б.П., Сторожев Ю.И. Пылегазовые выбросы алюминиевых электролизеров самообжигающимися анодами. Красноярск, 2012. 268 с.
3. Костышин С.С., Перепелица О.О., Сметанюк О.И. Особенности накопления фторидов в растениях луговых биотопов Северной Буковины // *Сибир. экол. журн.* 2011. № 6. С. 843–849.
4. Халитов А.Х., Родин И.А. О необходимости исключения фтора из состава минеральных удобрений // *Интенсификация сельскохозяйственного производства и проблемы защиты окружающей среды*. М.: Наука, 1980. С. 91–98.
5. Литвинович А.В., Алексеев Ю.В. Фитотоксичность фтора и пути ее снижения в связи с использованием фосфогипса в качестве химического мелиоранта // *Сб. научн. тр. СЗНИИЭСХ*. Л., 1985. С. 46–48.
6. Окорков В.В., Абдарахманов М.П. Содержание фтора в почвах и растениях при применении средств химизации в степной зоне Казахстана // *Агрохимия*. 1994. № 4. С. 85–95.
7. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В. Миграция фтора в почвах различных природно-климатических областей // *Агрохимия*. 1999. № 6. С. 74–81.
8. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В. О накоплении фтора различными сельскохозяйственными культурами при известковании дерново-подзолистой почвы конверсионным мелом // *Агрохимия*. 2001. № 2. С. 74–78.
9. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Фтор в системе почва–растения при применении в сельском хозяйстве средств химизации и загрязнении объектов природной среды техногенными выбросами // *Агрохимия*. 2002. № 2. С. 66–76.
10. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Дричко В.Ф., Герш Н.Б. Гумусное состояние и биологическая активность сероземно-оазисной почвы в зоне техногенного воздействия // *Агрохимия*. 2003. № 10. С. 41–48.
11. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М. Потери Са, Mg, K, Na, Fe и F из орошаемой лугово-сероземной почвы в результате миграции. Эмпирические модели процесса элювирования (по данным лабораторного опыта) // *Агрохимия*. 2020. № 1. С. 58–69. <https://doi.org/10.31857/S0002188120010056>
12. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Сальников Э. Влияние разных способов внесения мелиорантов в сероземно-оазисную почву (Irragic Anthrosols) на интенсивность миграции фтора (по данным лабораторного опыта). Эмпирические модели процесса элювирования // *Агрохимия*. 2020. № 4. С. 47–56. <https://doi.org/10.31857/S0002188120040079>
13. Литвинович А.В., Осипов А.И., Павлова О.Ю. Влияние техногенного загрязнения на химический состав растений хлопчатника // *Агрохимия*. 1998. № 1. С. 71–77.

14. Литвинович А.В. Деградация хорошо окультуренных почв гумидных и аридных регионов. Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2011. 288 с.
15. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Содержание и распределение свинца в почвах в зоне деятельности завода туковой промышленности // *Агрохимия*. 1996. № 3. С. 92–100.
16. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Осипов А.И. Содержание и запасы серы в техногенно загрязненных почвах // *Агрохимия*. 1998. № 12. С. 64–70.
17. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Содержание и особенности распределения валовых и кислоторастворимых форм соединений тяжелых металлов в профиле сероземно-оазисных почв в зоне химического завода // *Агрохимия*. 1999. № 8. С. 68–78.
18. Энциклопедия хлопководства. Ташкент, 1985. Т. 1. 561 с.
19. Хлопчатник. Климат и почвы хлопковых районов Средней Азии. Т. 2. Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957. 628 с.
20. Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н. Классификация и диагностика почв СССР. М., 1977. 255 с.
21. Буре В.М. Методология статистического анализа опытных данных. СПб.: РАСХН, АФИ, СПбГУ, 2007. 141 с.
22. Загрязнение воздуха и жизнь растений. Женева: ВОЗ, 1962. 536 с.
23. Елпатьевский П.В., Аржанова В.С., Власов А.В. Взаимодействие растительности с потоком металлоносных аэрозолей. Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеиздат, 1974. С. 298–304.
24. Носко В.П. Эконометрика. М.: Издат. дом “Дело”, Сер. “Академический учебник”. 2011. 672 с.

Modeling of the Process of Air Transport of Fluorine in the Composition of Aerial Emissions. The Use of Cotton Plants for the Indication of Industrial Pollution

A. V. Litvinovich^{a, #}, O. Y. Pavlova^a, A. V. Lavrishchev^b, and V. M. Bure^{a, c}

^a Agrophysical Research Institute

Grazhdansky prosp. 14, Sankt-Petersburg 195220, Russia

^b Sankt-Petersburg State Agrarian University

Peterburgskoe shosse 2, St. Petersburg—Pushkin 196601, Russia

^c Sankt-Petersburg State University

Universitetskaya nab. 6–9, Saint-Petersburg 199034, Russia

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

The study of the leaves of cotton plants cultivated in the emission distribution zone of the ammophos production enterprise allowed us to establish the possibility of using plants to indicate the area of aerotechnogenic fluorine pollution. It was found that most of the fluorine is easily removed from the leaf surface after washing with distilled water. The correlation between the content of fluorine accumulated in the composition of technogenic dust on leaves and its concentration in tissues was revealed. Empirical dependences of the fluorine content in washed and not washed cotton leaves have been developed. It is shown that the type of the studied empirical dependence depends on the direction of wind propagation. The relationship between the amount of fluorine in washed cotton leaves and their ash content when removed from the source of contamination is established.

Key words: process modeling, air transport, fluorine, aerial emissions, cotton, industrial pollution indication.