

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 2, 2022

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

Влияние длительного применения элементов биологизации на основные показатели плодородия почвы и продуктивность севооборота на малогумусном малокарбонатном черноземе Забайкалья

Н. Г. Пилипенко

3

Удобрения

Влияние органической, органо-минеральной и минеральной систем удобрения на свойства почвы и урожайность озимой пшеницы в Среднем Поволжье

А. Х. Куликова, Е. А. Яшин, А. Е. Яшин, Е. С. Волкова

13

Эффективность применения подкормок овощных культур по данным почвенной и растительной диагностики

В. А. Борисов, И. Ю. Васючков, А. А. Коломиец, О. Н. Успенская, С. В. Белова

22

Влияние длительного применения удобрений на плодородие луговой черноземовидной почвы и урожайность сои

Е. Т. Наумченко, Е. В. Банецкая

28

Пестициды

Препараты на основе флудиоксанила как средства защиты картофеля от болезней и их эффективность

А. А. Малюга, Н. С. Чуликова, М. М. Ильин, С. С. Халиков

34

Влияние препаративных форм тебуконазола на фитосанитарное состояние обработанных семян, рост и развитие проростков яровой мягкой пшеницы

С. С. Халиков, О. И. Теплякова, Н. Г. Власенко

45

Агроэкология

Содержание и распределение фтора и брома в черноземах оподзоленных горного Алтая

Г. А. Конарбаева, Е. Н. Смоленцева

56

Современное соленакопление в черноземах под старовозрастными лесополосами Каменной Степи

Ю. И. Чевердин, А. Ю. Чевердин

65

Мониторинг альтернативных грибов на зерне озимой пшеницы в хозяйствах юга России (2014–2020 гг.)

Н. И. Будынков, С. Н. Михалева

76

Влияние гидротермических условий вегетационного периода на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в длительном стационарном полевом опыте

А. Е. Малыгин, Г. М. Захаров

83

Экотоксикология

Дальность воздушного переноса промышленных выбросов предприятия по производству аммофоса. Эмпирические модели рассеяния Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Fe, Mn в составе техногенной пыли

А. В. Литвинович, О. Ю. Павлова, А. В. Лаврищев, В. М. Буре

89

Contents

No. 2, 2022

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

Comparative Assessment of Ways to Improve Soil Fertility and Productivity of Arable Land in Grain Steam Crop Rotation in Forest-Steppe Zone of Transbaikalia

N. G. Pilipenko

Fertilizers

Influence of Organic, Organo-Mineral and Mineral Fertilizer Systems on Soil Properties and Yield of Winter Wheat in the Middle Volga Region

A. Kh. Kulikova, E. A. Yashin, A. E. Yashin, E. S. Volkova

Effectiveness of Vegetable Fertilization Based on Soil and Plant Diagnostics

V. A. Borisov, I. Yu. Vasyuchkov, A. A. Kolomiets, O. N. Uspenskaya, S. V. Belova

Influence of Long-Term Anthropogenic Loading on Fertility of Meadow Chernozem-Like Soil and Yield of Soybean

E. T. Naumchenko, E. V. Banetskaya

Pesticides

Fludioxonil-Based Preparations as a Means of Protecting Potatoes from Diseases and Their Effectiveness

A. A. Malyuga, N. S. Chulikova, M. M. Ilyin, S. S. Khalikov

Effect of Preparative Forms of Tebukonazole on Phytosanitary State of Treated Seeds, Growth and Development of Sprouts of Spring Soft Wheat

S. S. Khalikov, O. I. Teplyakova, N. G. Vlasenko

Agroecology

Content and Distribution of Fluorine and Bromine in Chernozems of the Surrounded Gorny Altai

G. A. Konarbaeva, E. N. Smolentseva

Modern Salt Accumulation in Chernozems under Old-Growth Forest Belts in the Stone Steppe

Yu. I. Cheverdin, A. Yu. Cheverdin

Monitoring of Alternaria Fungi on Winter Wheat Grain in Farms in the South of Russia (2014–2020)

N. I. Budynkov, S. N. Mikhaleva

Influence of Hydrothermal Conditions of the Growing Season on the Yield and Quality of Spring Wheat Grain in a Long-Term Stationary Field Experiment

A. E. Malygin, G. M. Zakharov

Ecotoxicology

Range of Air Transport of Industrial Emissions of an Enterprise Producing Ammophos. Empirical Models of Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Fe, Mn Scattering in Technogenic Dust

A. V. Litvinovich, O. Y. Pavlova, A. V. Lavrishchev, V. M. Bure

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ БИОЛОГИЗАЦИИ НА ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТА НА МАЛОГУМУСНОМ МАЛОКАРБОНАТНОМ ЧЕРНОЗЕМЕ ЗАБАЙКАЛЬЯ

© 2022 г. Н. Г. Пилипенко

Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири—филиал СФНЦА РАН
672010 Чита, ул. Кирова, 49, Россия

E-mail: vetinst@mail.ru

Поступила в редакцию 13.03.2021 г.

После доработки 21.09.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

Представлены результаты сравнительной оценки различных видов паров с использованием соломы зерновых культур в полевом севообороте (пар—пшеница—овес—однолетние травы (овес)) на мало-гумусном малокарбонатном черноземе (low carbonate chernozem) лесостепной зоны Забайкалья, проведенных в 1996—2003 гг. в научно-исследовательском институте ветеринарии Восточной Сибири. Работа посвящена изучению влияния отвального, плоскорезного, занятого, сидерального пара с использованием соломы пшеницы на основные показатели плодородия почвы, продуктивность агроценозов и экономическую эффективность. Установлено, что редька масличная, выращиваемая в полевом севообороте при достаточной влагообеспеченности почвы, может формировать урожайность зеленой массы до 22.5 т/га и оставлять в почве корневых и стерневых остатков до 2.9 т/га, в менее благоприятные годы — в 1.5—2.0 раза меньше. Обогащение почвы в виде зеленой массы, корневых и стерневых остатков, а также соломы пшеницы существенно повысило содержание органического вещества (до 2.57—2.92%), коэффициент структурности (1.39—2.12), активизировало биологическую активность почвы (выделение CO₂ — 1.44—1.66 кг/га/ч) и усилило мобилизацию нитратов (NO₃⁻ — 30.7—37.2 мг/кг почвы). Наиболее высокие экономические показатели получены от применения занятого пара и от плоскорезного с внесением соломы: сбор кормовых единиц с 1 га севооборотной площади составил соответственно 2.07, 1.75 т, рентабельность — 16—18%.

Ключевые слова: пары, органическое вещество, биологическая активность, структура почвы, питательный режим, урожайность.

DOI: 10.31857/S0002188122020120

ВВЕДЕНИЕ

Большая протяженность Забайкальского края в широтном и меридианном направлениях, сильная расчлененность рельефа, особенности климатических условий, неоднородный характер растительности и значительное разнообразие горных пород обусловили формирование очень сложного и различного по характеру почвенного покрова. В связи с этим почвенный покров слагают самые различные типы почв: от горно-тундровых до каштановых [1—27]. Особенности провинциальных типов этих почв заключены в маломощности гумусовых горизонтов, близком залегании горных коренных пород, довольно высокой степени скелетности профиля, отсутствии в профиле почв гипса и белоглазки, характерных для степных почв западного региона, в слабой ин-

тенсивности микробиологических процессов в весенне-летний период [3].

В пахотном фонде Забайкальского края значительные площади занимают малокарбонатные черноземы (low carbonate chernozem), которые формируются под лугово-степной растительностью, по географическому положению среди почв черноземного типа они аналогичны черноземам оподзоленным и выщелоченным. Рассматриваемые почвы отличаются от других подтипов черноземов отсутствием сплошного карбонатного горизонта, вскипание наблюдается только в нижней части профиля, на отдельных участках. Они наиболее широко распространены в восточных районах Забайкалья [5, 21].

В гранулометрическом составе малокарбонатные черноземы (low carbonate chernozem) имеют

Таблица 1. Схема опыта

Поля севооборота			
пар	пшеница	овес	однолетние травы
Способ обработки почвы			
Отвальный	ПН-4-35 на 20–22 см	ПН-4-35 на 20–22 см	ПН-4-35 на 20–22 см
Плоскорезный	КПГ-250 на 25–27 см	КПГ-250 на 25–27 см	КПГ-250 на 25–27 см
Занятый	ПН-4-35 на 20–22 см	ПН-4-35 на 20–22 см	КПГ-250 на 25–27 см
Занятый	ПН-4-35 на 20–22 см (запашка соломы)	ПН-4-35 на 20–22 см	КПГ-250 на 25–27 см
Сидеральный	ПН-4-35 на 20–22 см	ПН-4-35 на 20–22 см	КПГ-250 на 25–27 см
Сидеральный	ПН-4-35 на 20–22 см (запашка соломы)	ПН-4-35 на 20–22 см	КПГ-250 на 25–27 см
Плоскорезный	ПН-4-35 на 20–22 см (запашка соломы)	КПГ-250 на 25–27 см	КПГ-250 на 25–27 см
Отвальный по пласту многолетних трав	ПН-4-35 на 20–22 см	ПН-4-35 на 20–22 см	КПГ-250 на 25–27 см

высокое содержание песка и пыли. Наличие крупных фракций щебня и хряща влияет на водно-физические и химические свойства почвы. Структурно-агрегатное состояние обусловлено подверженностью легких почв ветровой эрозии. Содержание гумуса в пахотном слое меняется от 2–3 до 5%. Почвенный гумус беден гуминовыми кислотами. Отношение содержания гуминовых кислот и фульвокислот в подпахотном горизонте снижается до 0.41%. Отношение С : N составляет 10–12, это является следствием бедности почв азотом, содержание подвижного фосфора – недостаточное (свыше 50% фосфора в групповом составе содержится в органической форме), обменного калия – среднее. Малокарбонатные черноземы (low carbonate chernozem) содержат очень мало легкорастворимых соединений. Величина плотного остатка изменяется от 0.04 до 0.10%. Обедненность водорастворимыми соединениями послужило основанием их названия “черноземы промытые” [24].

Повышение плодородия исследованных почв невозможно без внесения органического вещества. Учитывая острый дефицит органических удобрений, важнейшими мерами, направленными на восстановление, поддержание и увеличение почвенного плодородия, является использование почвозащитных технологий обработки почвы, многолетних трав, сидеральных и парозанимающих культур, запашки соломы зерновых в полевых севооборотах [7, 10–16, 19, 20]. Цель работы – изучение влияния длительного применения элементов биологизации на основные показатели плодородия почвы и про-

дуктивность севооборота на малогумусном малокарбонатном черноземе Забайкалья.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые агротехнические опыты проведены в стационарном 4-польном полевом севообороте (пар–пшеница–овес–однолетние травы (овес)), где изучали различные виды пара: чистый ранний отвальный, чистый ранний плоскорезный, занятый, сидеральный с внесением и без внесения соломы пшеницы, чистый ранний отвальный пар после многолетних трав (костреца 4-го года пользования). В занятом и сидеральном пару использовали редьку масличную.

Климат зоны – резко континентальный с малоснежной холодной зимой, жарким летом и недостатком атмосферных осадков. Продолжительность безморозного периода – 90–110 сут. Сумма положительных температур >10°C составляет 1500–1800°C. Годовая сумма осадков – 330–380 мм, основное их количество (85–90%) выпадает в теплый период, максимальное – в июле–августе, минимальное – в мае–июне.

В условиях Забайкалья критический период при возделывании зерновых культур – кушение–выход в трубку – приходится на конец мая–первую половину июня. Этот период за годы исследования был типичным для местности (ГТК вегетационного периода 0.8–0.9), в 1999, 2001, 2003 гг. – даже в сторону ужесточения с резким недостатком почвенной и атмосферной влаги (ГТК вегетационного периода 0.4–0.6) [3].

Таблица 2. Поступление элементов питания в почву с надземной массой, корневыми и стерневыми остатками культур севооборота (1996–2003 гг.)

Биомасса	Сухое вещество, т/га	Содержание основных элементов питания, %			Внесено элементов, кг/га		
		N	P	K	N	P	K
Редька масличная							
надземная масса	1.6	2.23	0.45	2.05	35.6	7.2	32.8
корневые остатки	1.3	1.73	0.32	1.96	22.5	4.2	25.5
Всего	2.9	—	—	—	58.1	11.4	56.3
Многолетние травы							
корневые остатки	2.15	1.20	0.05	0.58	25.8	1.1	12.5
Солома пшеницы	1.75	0.94	0.11	0.95	16.4	1.9	16.6

Почва опытного участка – чернозем малогумусный малокарбонатный (low carbonate chernozem), маломощный легкий суглинок. Обеспеченность растений подвижными формами фосфора и калия – средняя, комковатость почвы – ниже порога устойчивости к ветровой эрозии.

Повторность опыта трехкратная, посевная площадь делянки – 0.1 га, расположение вариантов – рандомизированное. Поля в севообороте располагались как в пространстве, так и во времени. Приемы основной обработки почвы представлены в схеме опыта (табл. 1).

Культуры в севообороте возделывали по общепринятой в зоне агротехнике, основную обработку почвы проводили согласно схеме опыта. Для посева использовали семена районированных сортов: яровая пшеница – сорт Бурятская 79, овес на зерно и зеленый корм – сорт Золотой дождь, с нормой высева культур соответственно – 5.0, 5.0, 5.5 млн всхожих зерен/га. Срок посева яровой пшеницы – 2-я декада мая, овса на зерно – 3-я декада мая, овса на зеленую массу – 3-я декада июня. Минеральные удобрения вносили одновременно с посевом из расчета N30P30 – под пшеницу, овес, однолетние травы и N12P52 – под редьку масличную.

В качестве парозанимающей культуры высевали редьку масличную сорта Тамбовчанка. Подготовка почвы под занятые и сидеральные пары заключалась в основной обработке плугом ПН-4-35 на глубину 20–22 см в первой декаде мая, предпосевной культивации КПЭ-3,8 и прикатывания ЗККШ-6А. Посев проводили во 2-й декаде мая на глубину 5–6 см, нормой высева 3.0 млн всхожих семян/га. При посеве с семенами вносили минеральные удобрения в соотношении 1:3. В занятых парах редьку масличную убирала на корм, в сидельных – использовали на зеленое удобрение.

Биологическую массу запахивали в период массового цветения (в конце июля).

Солому пшеницы вносили в севооборотах с занятым, сидеральным и чистым плоскорезным паром. Запашку соломы проводили после уборки пшеницы плугом ПН-4-35 на глубину 20–22 см с компенсацией азотных удобрений (N15). В опыте применяли неизмельченную солому (1/75 т/га) [3].

Экспериментальная работа выполнена в соответствии с методическими указаниями по проведению полевых опытов с зерновыми и кормовыми культурами. В исследовании использовали апробированные методики: методика полевого опыта [8], методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [17], агрофизические методы исследования почв [2], агрохимические методы исследования почв [1].

Содержание нитратов в почвах определяли ионометрическим экспресс-методом (ГОСТ 26951-86), фосфор и калий – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-84), органическое вещество – по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91, п. 1) [18], биологическую активность почвы – методом льяных полотен по Мишустину–Петровой, определение углекислого газа – методом Штатного [4, 6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показали, что редька масличная, выращиваемая в полевых севооборотах после однолетних трав при достаточной влагообеспеченности пахотного слоя почвы может формировать урожайность зеленой массы до 22.5, сбор сухого вещества – 2.4 и оставлять в почве корневых и стерневых остатков до 2.9 т/га. В менее благоприятные по влагообеспеченности годы урожайность ее снижалась до 13.5–17.0, сбор сухого вещества – до

Таблица 3. Влияние различных видов пара на содержание органического вещества в почве (1996–2003 гг.)

Вариант пара	Органическое вещество, %			
	1-я ротация		2-я ротация	
	Слой почвы, см			
	0–20	20–40	0–20	20–40
Исходный показатель	2.40	2.20	2.40	2.20
Отвальный (контроль)	2.28	2.01	2.23	1.98
Плоскорезный пар	2.53	1.88	2.68	1.90
Занятый пар	2.70	2.59	2.81	2.70
Сидеральный пар	2.78	2.48	2.92	2.61
Плоскорезный пар + солома	2.59	2.13	2.57	2.17
Отвальный пар (после многолетних трав)	2.55	2.02	2.59	2.05
<i>HCP</i> ₀₅	0.12	0.09	0.18	0.14

1.50–1.90, поступление корневых и стерневых остатков – до 1.42–1.82 т/га.

Учет количества поступавшего в почву сухого вещества показал, что в сидеральном пару внесено: органического вещества с надземной массой и корневыми остатками редьки масличной – 2.9 т/га, азота – 58.1, фосфора – 11.4, калия – 56.3 кг/га; в занятом пару – 1.3 т/га и 22.5, 4.2, 25.5 кг/га; после многолетних трав – 2.15 т/га и 25.8, 1.1, 12.5 кг/га; с соломой пшеницы – 1.75 т/га и 16.4, 1.9, 16.6 кг/га соответственно (табл. 2).

Существенное обогащение почвы органическим веществом в виде зеленой массы, корневых и стерневых остатков, а также соломы зерновых культур на фоне минеральных удобрений позволило в течение 2-х ротаций зернопарового севооборота снизить дефицит баланса гумуса в севообороте с занятым паром на 0.75, занятым паром + солома – на 1.15, сидеральным – на 0.91, сидеральным + солома – на 1.30, плоскорезным + солома – на 0.43 т/га (в севообороте с

чистым отвальным паром дефицит баланса гумуса составил –2.84 т/га).

Установлено, что запашка сидерата, корневых и стерневых остатков, плоскорезная обработка и внесение соломы пшеницы оказали существенное влияние на содержание органического вещества (табл. 3). В 1-й ротации севооборота достоверное превышение к исходному показателю в пахотном слое почвы составило от 0.13 до 0.38%, во 2-й – от 0.17 до 0.52% (исходный показатель – 2.40%). В нижнем подпахотном горизонте достоверное превышение получено только после занятого и сидерального пара (в 1-й ротации – 0.28–0.39%, во 2-й – 0.41–0.50% при исходном показателе – 2.20%).

Результаты исследования подтвердили мнение многих исследователей об отвальной обработке парового поля как факторе интенсивного использования потенциального плодородия почв, где процессы распада органического вещества преобладают над синтезом [9, 12]. В этом варианте по сравнению с исходными показателями в изученных слоях почвы было отмечено снижение содержания органического вещества: в 1-й ротации – на 0.12 и 0.19%, во 2-й – на 0.17 и 0.22% соответственно.

Биологическую активность почвы определяли в посевах пшеницы с помощью льняной тестовой ткани и продуцированию углекислого газа (табл. 4). Наблюдение за динамикой выделения CO₂ в посевах пшеницы в период вегетации показало, что более активное ее выделение было при наличии высоких запасов влаги и органического вещества. В течение всего вегетационного периода лучшей влагообеспеченности посевов пшеницы после плоскорезного и занятого пара в слое 0–50 см (24.8–27.1 мм) соответствовали более высокие показатели выделения CO₂ (1.56–1.66 кг CO₂/га/ч). Низкое содержание влаги под посевами пшеницы после сидерального пара сдерживало биологическую активность (1.360 кг CO₂/га/ч).

Таблица 4. Биологическая активность почвы после различных видов пара за вегетационный период в посевах пшеницы (слой 0–30 см, 1996–2003 гг.)

Вариант пара	Объемная масса почвы, г/см ³	Распад ткани, %	CO ₂ , кг/га/ч				Мобилизация NO ₃ ⁻ , мг/кг почвы
			1-й срок	2-й срок	3-й срок	Среднее	
Отвальный (контроль)	1.33	20.2	1.46	1.28	1.06	1.26	22.0
Плоскорезный	1.35	20.8	1.93	1.60	1.46	1.66	30.7
Занятый	1.24	21.6	1.57	1.66	1.46	1.56	33.9
Сидеральный	1.24	21.7	1.34	1.47	1.50	1.44	37.2
Отвальный (после многолетних трав)	1.39	14.8	1.60	1.36	1.12	1.360	13.0

Таблица 5. Изменение структурного состава почвы в севообороте в зависимости от различных видов пара (1996–2003 гг.)

Вариант пара	Содержание структурных фракций, %			Коэффициент структурности
	<0.25	0.25–10	>10	
Отвальный (контроль)	7.1	55.8	37.1	1.26
Плоскорезный	6.3	54.7	39.0	1.21
Занятый	8.0	61.1	30.9	1.57
Сидеральный	7.8	68.0	24.2	2.12
Плоскорезный + солома	6.3	58.2	35.5	1.39
Отвальный после многолетних трав	5.4	60.8	33.8	1.60
<i>HCP</i> ₀₅	$F_{\phi} < F_{05}$	3.5	2.8	0.32

Корреляционная зависимость степени распада льняной ткани от объемной массы и влажности почвы в значительной степени определялась условиями года. В 1997 г., благоприятном по выпадению и распределению осадков, между степенью разложения ткани и содержанием влаги в почве имела место прямая зависимость ($R = 0.92 \pm 0.13$) и обратная – с объемной массой ($R = -0.57 \pm 0.21$). При неравномерном распределении осадков (1998, 2000, 2001 гг.) распад ткани в большей степени был обусловлен влажностью почвы ($R = 0.70 \pm 0.15, 0.78 \pm 0.14, 0.46 \pm 0.24$) и в меньшей – объемной массой ($R = 0.12 \pm 0.09, -0.13 \pm 0.14, -0.44 \pm 0.21$) соответственно. В 2002 г. при остром дефиците влаги во второй половине вегетации распад ткани во всех вариантах имел очень низкие показатели и существенно не различался – 9.1–12.4%. Расчеты взаимосвязи продуцирования углекислого газа и влаги в период вегетации показали, что увеличение выделения CO_2 было обусловлено изменением содержания влаги в почве. В посевах пшеницы наиболее тесную взаимосвязь наблюдали в начальный период вегетации ($R = 0.56 \pm 0.14$), в период колошения и в конце вегетации корреляционная связь была незначительной ($R = 0.28 \pm 0.11, 0.29 \pm 0.24$ соответственно). Количество нитратов в почве под посевами пшеницы было тесно сопряжено с количеством выделившегося углекислого газа ($R = 0.87 \pm 0.21$).

Улучшение биологических показателей плодородия почвы сопровождалось позитивными изменениями ее агрофизических свойств. Использование сидеральных, занятых паров и соломы способствовало увеличению структурной фракции почвы по отношению к чистым парам на 2–13% и повышению коэффициента структурности на 0.13–0.31 и 0.18–0.36 соответственно. Плоскорезная обработка в севообороте способствовала увеличению глыбистой фракции, особенно в засушливые годы и снижению коэффициента структурности до 1.21 (табл. 5).

Макроструктура во многом определяет и другие физические свойства почвы, в частности, ее объемную массу. Показано, что процесс уплотнения был выражен тем ярче, чем хуже структура почвы ($R = -0.75 \pm 0.18$). В период парования запашка сидерата, корневых и стерневых остатков приводила к снижению объемной массы по сравнению с чистыми парами в слое 0–30 см почвы на 0.14–0.15 г/см³. В этих же пределах различались показатели в изученных слоях (0–10, 10–20, 20–30 см) почвы. Разница объемной массы почвы с занятым паром составила от 0.01 до 0.04 г/см³ (табл. 6).

Плотность почвы, созданная осенью в паровых полях, сохраняла свои различия и перед посевом пшеницы: в чистых парах в слое 0–30 см – 1.33–1.35, в сидеральном и занятом пару – 1.24–1.24 г/см³. Действие сидерации прослежено в 3-м и 4-м полях севооборота. Более высокая плотность в слое 10–20 см (1.41–1.50 г/см³) отмечена под посевами пшеницы после плоскорезного пара.

Со структурой почвы тесно связана влажность почвы. Лучшим предшественником для яровой пшеницы в отношении накопления влаги в почве в условиях Забайкальского края считается чистый пар. Установлено, что количество влаги в

Таблица 6. Влияние различных видов пара на изменение объемной массы почвы в период парования, г/см³ (1996–2003 гг.)

Вариант пара	Слой почвы, см			
	0–10	10–20	20–30	0–30
Отвальный пар (контроль)	1.22	1.36	1.37	1.32
Плоскорезный пар	1.23	1.34	1.39	1.32
Занятый пар	1.14	1.19	1.25	1.18
Сидеральный пар	1.10	1.18	1.22	1.17
Отвальный пар после многолетних трав	1.33	1.36	1.39	1.36
<i>HCP</i> ₀₅	0.02	0.03	0.03	0.03

Таблица 7. Динамика содержания нитратов в пахотном слое почвы под культурами севооборота в зависимости от различных видов пара (1996–2003 гг.), мг/кг

Вариант пара	Период посева (начало парования)	Всходы	Кущение (уборка и запашка сидератов)	Колошение, выметывание (конец парования)	Средние за вегетационный период
Пар					
Отвальный	21	–	30	27	26
Плоскорезный	22	–	32	30	28
Занятый	23	–	34	28	28
Сидеральный	22	–	32	28	27
Показатель варьирования	1–2	–	2–4	1–5	1–2
Пшеница					
Отвальный	20	23	28	25	24
Плоскорезный	27	26	45	35	33
Занятый	25	29	43	32	33
Сидеральный	27	29	47	38	35
Показатель варьирования	5–7	3–6	15–19	7–13	9–11
Овес					
Отвальный	16	20	30	25	23
Плоскорезный	17	20	36	28	25
Занятый	20	22	38	33	28
Сидеральный	22	28	40	33	31
Плоскорезный с соломой	20	28	34	34	29
Показатель варьирования	1–6	2–8	4–10	3–9	2–8
Однолетние травы (овес)					
Отвальный	24	22	26	19	23
Плоскорезный	28	28	29	23	27
Занятый	34	38	35	30	34
Сидеральный	38	40	39	34	38
Плоскорезный с соломой	32	28	32	27	30
Показатель варьирования	4–14	6–18	3–13	4–15	4–15

почве, накопленной за период парования, заметно различалось в зависимости от вида пара и зависело от условий года. В благоприятные 1996 и 2001 гг. по запасам влаги в слое 0–50 см (38.8–46.0 мм) преимущество имел сидеральный пар с редькой, в условиях засушливой 2-й половины парования (1997, 1998, 2000, 2002 гг.) выделялись чистый

плоскорезный и занятый пар (22.7–40.2 мм). В острозасушливом 2003 г. выделялся чистый отвальный пар (79.5 мм). Лучшая влагообеспеченность посевов пшеницы в период вегетации в слое 0–20 см (8.2–11.2 мм) и в слое 0–50 см (29.2–31.8 мм) отмечена после плоскорезного и занятого пара.

Таблица 8. Динамика содержания подвижного фосфора в пахотном слое почвы под культурами севооборота в зависимости от различных видов пара (1996–2003 гг.), мг/кг

Вариант пара	Период посева (начало парования)	Всходы	Кущение (уборка и запашка сидератов)	Колошение, выметывание (конец парования)	Средние за вегетационный период
Пар					
Отвальный	57	–	60	74	64
Плоскорезный	66	–	73	84	74
Занятый	70	–	82	79	77
Сидеральный	77	–	86	80	81
Показатель варьирования	9–20	–	13–26	5–10	10–17
Пшеница					
Отвальный	72	74	75	73	74
Плоскорезный	83	74	96	95	87
Занятый	81	85	94	99	90
Сидеральный	95	78	97	96	92
Показатель варьирования	9–23	4–11	19–22	22–26	13–18
Овес					
Отвальный	92	80	88	84	86
Плоскорезный	94	99	94	93	94
Занятый	96	89	104	98	97
Сидеральный	94	97	116	92	99
Плоскорезный с соломой	102	102	99	95	99
Показатель варьирования	2–10	9–29	6–28	9–14	8–13
Однолетние травы (овес)					
Отвальный	71	77	80	77	76
Плоскорезный	90	82	88	78	84
Занятый	86	90	89	85	88
Сидеральный	83	96	99	96	94
Плоскорезный с соломой	93	89	87	83	88
Показатель варьирования	12–31	12–19	7–19	1–19	8–18

В условиях короткого безморозного периода наличие доступных форм основных элементов питания в почве, является одним из главных условий высокой продуктивности агроценозов. В нашем исследовании состояние азотной обеспеченности почвы оценивали по количеству продуцируемых нитратов, содержание которых в

большей степени зависело от поступления органического вещества, условий увлажнения и особенностей температурного режима исследованной почвы. Установлено, что наибольшую активность микробиологической деятельности в почве по сравнению с чистым отвальным паром наблюдали в занятом, сидеральном и плоскорезном па-

Таблица 9. Динамика содержания обменного калия в пахотном слое почвы под культурами севооборота в зависимости от различных видов пара (1996–2003), мг/кг

Вариант пара	Период посева (начало парования)	Всходы	Кущение (уборка и запашка сидератов)	Колошение, выметывание (конец парования)	Средние за вегетационный период
Пар					
Отвальный	70	–	68	67	68
Плоскорезный	72	–	69	67	69
Занятый	74	–	67	69	70
Сидеральный	70	–	68	68	68
Показатель варьирования	2–4	–	1–0	1–2	1–2
Пшеница					
Отвальный	53	58	58	73	61
Плоскорезный	67	60	63	77	67
Занятый	64	63	67	79	68
Сидеральный	73	60	71	82	72
Показатель варьирования	11–20	2–5	5–13	4–9	6–11
Овес					
Отвальный	66	58	59	70	63
Плоскорезный	74	76	80	72	76
Занятый	72	80	64	73	72
Сидеральный	68	66	64	74	68
Плоскорезный с соломой	74	64	63	78	70
Показатель варьирования	2–8	6–12	4–21	2–8	5–13
Однолетние травы (овес)					
Отвальный	54	52	55	53	54
Плоскорезный	59	74	56	58	62
Занятый	63	60	70	56	62
Сидеральный	65	60	58	70	63
Плоскорезный с соломой	60	59	60	55	59
Показатель варьирования	5–11	70–22	1–15	2–17	5–9

рах с внесением соломы пшеницы (табл. 7). В среднем за вегетационный период увеличение содержания нитратов составило: в паровом поле – на 1–2, посевах пшеницы – на 9–11, овса – на 2–8, однолетних трав – на 4–15 мг/кг почвы. В отвальном пару, в следствие малого поступления органического вещества с корневыми и стерневыми остатками и низких показателях коэффициента структурности, содержание нитратов бы-

ло меньше – 23–24 мг/кг почвы. Последствия сидерации отмечены во всех полях севооборота. В целом в севообороте обеспеченность нитратами была низкой.

Аналогичные результаты получили и для содержания подвижного фосфора. Во всех полях севооборота достаточно четко проявились положительное влияние последствия сидерации и внесения соломы пшеницы (табл. 8). В среднем за

вегетационный период повышение содержания подвижного фосфора в варианте чистого отвального пара составило: в паровом поле – 10–17, в посевах пшеницы – 13–18, овса – 8–13, однолетних трав – 8–18 мг P_2O_5 /кг почвы. В вариантах с отвальной обработкой почвы соответственно содержалось 64, 74, 86 и 76 мг P_2O_5 /кг почвы.

Содержание обменного калия в паровых полях севооборота находилось на уровне исходных показателей – 68.7 мг/кг почвы, под посевами пшеницы, овса и однолетних трав преимущество по данному показателю имели варианты с плоскорезным, занятым и сидеральным паром (на 6–11, 5–13, 5–9 мг/кг почвы соответственно) (табл. 9).

Средообразующее влияние различных видов паров на урожайность пшеницы было обусловлено главным образом различием водно-физических свойств, питательного режима и биологической активностью почвы. Лучшим предшественником для пшеницы в севообороте был чистый плоскорезный пар (урожайность зерна – 1.62 т/га), но в сравнительно благоприятные годы и в годы с преимущественным выпадением осадков во 2-й половине вегетации преимущество имели занятый и плоскорезный пар с соломой (1.71–2.04 т/га). Преимущество занятого и сидерального пара выразилось в последствии на 2-ю и 3-ю культуры севооборота. Разница к чистому отвальному и плоскорезному пару составила: урожайности зерна овса – 0.37–0.5, 0.24–0.56 т/га, урожайности зеленой массы однолетних трав – 1.1–1.6, 0.4–0.9 т/га, сбора сухого вещества – 0.6–0.8, 0.3–0.5 т/га, кормовых единиц (к.е.) – 0.5–0.62, 0.32–0.44 т/га соответственно [22, 23, 25–27].

Расчеты экономической эффективности различных видов пара в полевом севообороте показали, что сумма затрат на подготовку 1 га чистых паров была меньше занятого и сидерального паров. Существенная разница в затратах обусловлена главным образом дополнительными расходами на выращивание сидеральной и парозанимающей культуры (ГСМ, удобрения, семена, уборка, транспортные расходы). При стоимости 2.0 руб./к.е. все варианты пара, за исключением сидерального пара в чистом виде и с внесением соломы, обеспечили получение условного чистого дохода и рентабельность производства. Наибольший выход кормовых единиц с 1 га севооборотной площади – 1.75–2.07 т при рентабельности 16–18% получен в вариантах занятого пара и плоскорезного с внесением соломы зерновых культур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение продуктивности полевого севооборота при одновременном повышении плодородия пахотных глубокопромерзающих малогумусных малокарбонатных черноземов (low carbonate chernozem) Восточного Забайкалья невозможно без использования органических удобрений в виде сидерации, почвозащитной обработки почвы и соломы зерновых культур.

Сидеральный, занятый, плоскорезный пар и внесение в почву соломы пшеницы существенно повысили содержание органического вещества в пахотном слое почвы к исходному показателю (2.40%): в 1-й ротации севооборота – на 0.13–0.38, во 2-й – на 0.17–0.52% (в отвальном пару произошло снижение его содержания на 0.12 и 0.17% соответственно). Продуцирование углекислого газа в этих вариантах увеличилось до 1.44–1.66 кг/га/ч (в отвальном пару – 1.263 кг/га/ч).

Улучшение биологических показателей почвы сопровождалось позитивными изменениями ее агрофизических и агрохимических свойств: коэффициент структурности к варианту чистых паров повысился на 0.37–0.89 ед., содержание нитратов в полях севооборота – на 1–2 и 9–11 мг/кг почвы, подвижного фосфора – на 8–10 и 13–18, обменного калия – на 5–6 и 9–13 мг/кг почвы. Наибольший выход кормовых единиц – 1.75–2.07 т/га при рентабельности 16–18% получен в вариантах занятого пара и плоскорезного с внесением соломы пшеницы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследований почв. М.: Наука, 1966. 259 с.
2. Агрофизические методы исследований почв. М.: Наука, 1965. 257 с.
3. *Андреева О.Т., Цыганова Г.П., Климова Э.В.* Зональные системы земледелия Читинской области. Чита, 1988. 182 с.
4. *Вадюнина А.Р., Карчагина З.А.* Определение газообмена по содержанию CO_2 в приземном слое воздуха // Методы исследования физических свойств почв. М., 1986. С. 268–271.
5. *Важенин И.Г., Важенина Е.А.* Агрохимическая характеристика почв СССР (Восточная Сибирь). М.: Наука, 1969. 210 с.
6. *Воробьев С.А.* Методы учета растительных остатков в процессе их разложения // Практикум по земледелию. М., 1971. С. 223–270.
7. *Довбан К.И.* Зеленое удобрение в современном земледелии. Вопросы теории и практики. Минск: Беларус. наука, 2009. 404 с.
8. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М., 1985. 351 с.

9. *Егорова. Р.А., Чимитдоржиева. Г.Д.* Влияние чистого пара на содержание и состав гумуса черноземных и лугово-черноземных почв Забайкалья // *Агрохимические свойства почв и приемы их регулирования*. Новосибирск: СО РАСХН, 2009. С. 271–275.
10. *Зеленин И.Н., Чернышов А.В.* Эффективность смесей бобово-капустных культур в звене сидеральный пар—озимая пшеница // *Земледелие*. 2011. № 8. С. 38–40.
11. *Ивенин В.В.* Роль чистых и занятых паров при интенсивном возделывании яровой пшеницы // *Земледелие*. 2011. № 5. С. 31–32.
12. *Куликов А.И., Корсунов В.М., Дугаров В.И.* Мерзлотные почвы: экология, теплоэнергетика и прогнозирование продуктивности. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1997. 312 с.
13. *Лопачев Н.А., Наумкин В.Н.* О биологизации земледелия // *Земледелие*. 1999. № 6. С. 16–17.
14. *Лошаков В.Г.* Зеленое удобрение в земледелии России. М.: ВНИИА, 2015. 300 с.
15. *Лошаков В.Г.* Экологические и фитосанитарные функции зеленого удобрения // *Усп. совр. науки*. 2017. Т. 1. № 10. С. 24–31.
16. *Лукин С.В.* Биологизация земледелия в Белгородской области: итоги и перспективы // *Достиж. науки и техн. АПК*, 2016. Т. 3. № 7. С. 20–23.
17. *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур*. М.: Колос, 1985. 267 с.
18. *Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения*. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.
19. *Новиков М.Н.* Сидераты в СССР сегодня и завтра // *Земледелие*. 1991. № 1. С. 63–64.
20. *Новиков М.Н., Тужилин В.М., Самохина О.А.* Биологизация земледелия в Нечерноземной зоне // *Владимир: ВНИПТИОУ*, 2004. 260 с.
21. *Ногина Н.А.* Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.
22. *Постников П.А.* Биологизированные севообороты – залог повышения урожаев // *Земледелие*. 2010. № 1. С. 7–8.
23. *Скорочкин Ю.П.* Сидеральный пар и солома – элементы биологизации земледелия в условиях Северо-Восточной части ЦЧР // *Земледелие*. 2011. № 3. С. 20–21.
24. *Уфимцева К.А.* Почвы межгорных котловин южной тайги Забайкалья. Иркутск, Чита: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1967. 102 с.
25. *Шнаар Д., Лошаков В.Г., Постников А.Н.* Возобновляемое растительное сырье. СПб.—Пушкин, 2006. Кн. 1. 416 с. Кн. 2. 382 с.
26. *Oberlander H.E.* Humus und organische Dungkung im intensiver Ackerbau // *Der Forderungsdienst*. 1977. V. 25. № 11. S. 327–330.
27. *Schmalzfuss K., Kolbe G., Schmalzfuss K.* Feldversuche mit Strohdüngung. Deutch-Landwirtsch, 1959. № 10. 343 s.

Comparative Assessment of Ways to Improve Soil Fertility and Productivity of Arable Land in Grain Steam Crop Rotation in Forest-Steppe Zone of Transbaikalia

N. G. Pilipenko

*State Scientific Establishment Research Institute of Veterinary Sciences of East Siberian FSC RAS
ul. Kirova 49, Chita 672010, Russia*

E-mail: vetinst@mail.ru

The results of a comparative assessment of various types of vapors with the use of straw of grain crops in the field crop rotation (steam-wheat—oats—annual grasses (oats)) are presented on low-humus low-carbonate chernozem (low carbonate chernozem) of the forest-steppe zone of Transbaikalia, conducted in 1996–2003 at the Research Institute of Veterinary Medicine in Eastern Siberia. The work is devoted to the study of the influence of dump, flat-cut, busy, sideral steam using wheat straw on the main indicators of soil fertility, productivity of agrocenoses and economic efficiency. It has been established that oilseed radish grown in field crop rotation with sufficient soil moisture supply can form a yield of green mass up to 22.5 t/ha and leave up to 2.9 t/ha of bark and stubble residues in the soil, in less favorable years – 1.5–2.0 times less. The enrichment of the soil in the form of green mass, root and stubble residues, as well as wheat straw significantly increased the organic matter content (up to 2.57–2.92%), the structural coefficient (1.39–2.12), activated the biological activity of the soil (CO₂ release – 1.44–1.66 kg/ha/h) and increased the mobilization of nitrates (NO₃⁻ – 30.7–37.2 mg/kg of soil). The highest economic indicators were obtained from the use of employed steam and from flat-cutting with the introduction of straw: the collection of fodder units from 1 ha of crop rotation area amounted to 2.07, 1.75 tons, respectively, profitability – 16–18%.

Key words: vapors, organic matter, biological activity, soil structure, nutrient regime, yield.

УДК 631.811.93:633.11“324”(470.40/.43)

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОЙ, ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОЙ И МИНЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

© 2022 г. А. Х. Куликова¹, Е. А. Яшин¹, А. Е. Яшин¹, Е. С. Волкова^{1,*}¹Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина
432017 Ульяновск, бул. Новый Венец, 1, Россия

*E-mail: volkova-ivinaelena@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.07.2021 г.

После доработки 14.10.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

Изучили эффективность органической системы удобрения озимой пшеницы в сравнении с минеральной и органо-минеральной. Исследование проводили в 2013–2017 гг. в 5-польном зерновом сидеральном севообороте: пар сидеральный (викоовсяная смесь) – озимая пшеница – просо – яровая пшеница – ячмень. Полевой опыт состоял из 7-ми вариантов: 1 – контроль, 2 – солома + сидерат, 3 – солома + 10 кг N/т соломы + сидерат, 4) – солома + биопрепарат Байкал ЭМ-1 + сидерат, 5 – солома + 10 кг N/т + биопрепарат + сидерат, 6 – биопрепарат + сидерат, 7 – N64P32K54. Озимую пшеницу возделывали по сидеральному пару и во всех вариантах присутствовал сидерат. Следовательно, в вариантах 2, 4 и 6 применяли органическую, в вариантах 3 и 5 – органо-минеральную и варианте 7 – минеральную системы удобрения. Установили, что все системы удобрения с использованием соломы, сидеральной массы и биологического препарата оказывали благоприятное влияние на свойства почвы. Более эффективным в этом отношении был комплекс приемов, включавший применение соломы предшественника с азотной добавкой к ней в дозе 10 кг/га/т соломы, биологического препарата Байкал ЭМ-1 и сидеральной массы. При этом биологическая активность почвы в среднем за вегетацию и годы исследования повышалась на 26%, содержание минеральных форм азота увеличилось на 2,4, доступных соединений фосфора и калия – на 10 и 11 мг/кг почвы. В варианте с применением минеральных удобрений соответствующие показатели составили 3,9, 19 и 11 мг/кг почвы. Возделывание озимой пшеницы после сидерального пара стабилизировало содержание гумуса в почве, совместное применение соломы предшественника и сидерата повысило его содержание за ротацию севооборота на 0,23%, комплексное применение их с азотной добавкой 10 кг N/т соломы и биопрепаратом – на 0,30%. Совместное применение в технологии возделывания озимой пшеницы соломы, сидеральной массы, биологического препарата (органическая система удобрения) способствовало повышению урожайности зерна озимой пшеницы (в среднем за 5 лет) на 0,25 т/га, добавление при этом к соломе 10 кг азота из расчета на 1 т (органоминеральная система) – на 0,38 т/га. Применение минеральной системы удобрения обеспечило наибольшую в данном опыте прибавку урожайности зерна озимой пшеницы – на 0,81 т/га. Однако производство зерна с использованием минеральных удобрений значительно менее рентабельно: уровень рентабельности с применением органической системы удобрения составил 67, 71 и 51, органо-минеральной – 56 и 61, минеральной – 44%.

Ключевые слова: озимая пшеница, органическая, органо-минеральная и минеральная системы удобрения, свойства почвы, урожайность, экономическая эффективность производства продукции.

DOI: 10.31857/S0002188122020089

ВВЕДЕНИЕ

В условиях современных многочисленных вызовов стратегическим направлением развития АПК становится устранение противоречий, подчас антагонистических, между деятельностью человека и функционированием агробиоценозов с тем, чтобы обеспечить агрономическую эффективность, экономическую и энергетическую целесообразность, экологическую безопасность производимой продукции при одновременном со-

хранении плодородия почвы. Решение всех этих проблем в комплексе – архиважная и сложная задача. Для ее решения, как указано в Прогнозе научно-технического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации до 2030 года [1], необходима глобальная смена системы хозяйствования, основанной на химизации сельского хозяйства, на адаптивно-ландшафтном, биологизированном, отдельным направлением которого является органическое

сельское хозяйство. Однако переход на органическое (биологическое) земледелие требует глубоких исследований его эффективности.

В биологизированных системах земледелия прежде всего предлагают использовать в качестве органического удобрения солому зерновых культур, сидераты, промежуточные посевы, пожнивно-корневые остатки, т.е. всю растительную массу, создаваемую в самих агроэкосистемах, кроме основной продукции. Изучению эффективности данных видов органических удобрений посвящено большое количество работ [2–11]. Чаще всего авторы приводят результаты изучения влияния отдельных видов органических удобрений на свойства почвы и урожайность культур, тогда как необходима разработка комплекса биологических приемов возделывания культур. В связи с вышеизложенным цель работы – изучение эффективности органической системы удобрения озимой пшеницы в сравнении с минеральной и органо-минеральной.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на базе полевого опыта, внесенного с 1998 г. в Государственный реестр длительных опытов Российской Федерации (№ 122).

Изучение влияния систем удобрения (органической, органо-минеральной и минеральной) озимой пшеницы на свойства почвы и ее урожайность выполняли на опытном поле кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии Ульяновского ГАУ в 2013–2017 гг. Озимую пшеницу возделывали в 5-польном зерновом сидеральном севообороте: пар сидеральный (вико-овсяная смесь) – озимая пшеница – просо – яровая пшеница – ячмень. Варианты опыта: 1 – контроль, 2 – солома + сидерат, 3 – солома + 10 кг N/т соломы + сидерат, 4 – солома + биопрепарат Байкал ЭМ-1 + сидерат, 5 – солома + 10 кг N/т + биопрепарат + сидерат, 6 – биопрепарат + сидерат, 7 – N64P32K54.

Таким образом, в качестве органического удобрения озимой пшеницы использовали солому предшественника (ячменя), которую заделывали под сидерат, и сидеральную массу. Для ускорения разложения поступающей в почву органической массы ее обрабатывали биологическим препаратом Байкал ЭМ-1.

Солома зерновых культур характеризуется широким отношением углерода к азоту – $>(70 : 1)$. При таком соотношении данных элементов в растительном материале (низкое содержание N) отмечен процесс иммобилизации микроорганизмами азота почвы вследствие их высокой потребно-

сти в нем. Последнее может привести к снижению урожайности удобряемой соломой культуры. С целью предотвращения снижения урожайности культур при использовании соломы в качестве удобрения ряд авторов предлагает сочетать ее применение с компенсирующим количеством азота [12–14]. В связи с этим в схему опыта был введен вариант с азотной добавкой в дозе 10 кг N/т соломы.

Вариант с применением минеральных удобрений введен для установления сравнительной эффективности органической, органо-минеральной и минеральной систем удобрения при возделывании озимой пшеницы. Дозы азота, фосфора и калия рассчитывали на получение 4.5 т зерна озимой пшеницы/га. В качестве минерального удобрения применяли N_m (как добавку к соломе), N_{aa} , P_{cd} и K_x . Таким образом, в вариантах 2, 4 и 6 вариантах применяли органическую, в вариантах 3 и 5 – органо-минеральную и в варианте 7 – минеральную системы удобрения.

Технология внесения соломы, сидерата и биопрепарата состояла в следующем: при уборке ячменя комбайном “TERRION SP 2010”, оборудованном измельчителем, солому разбрасывали по поверхности поля. Равномерное распределение измельченной соломы по поверхности делянок, а также удаление в вариантах, где ее внесение не предусматривали, проводили вручную. После распределения соломы в вариантах опыта вносили вручную азотную минеральную добавку (N10/т) в виде N_m и биологический препарат Байкал ЭМ-1 в дозе 2 л/га ранцевым опрыскивателем (рабочая жидкость из расчета 200 л/га – водный раствор) в соответствующие варианты. Затем солому заделывали дисковым БДМ-3 × 4 на глубину 8–10 см. Во 2-й декаде сентября проводили зяблевую вспашку на 22–25 см, используя плуг ПЛН-4-35.

Весной после боронования зяби (3-я декада апреля) проводили предпосевную культивацию и посев викоовсяной смеси (овес сорта Скакун – 2.5 млн всхожих семян/га и вика сорта Львовская 28 – 0.5 млн семян/га) сеялкой СЗ-3,6 рядовым способом на глубину 5–6 см. Для прикатывания посевов использовали кольчато-шпоровые катки ЗККШ-6А. Сидерат (викоовсяную смесь) заделывали в почву в фазе образования зеленых лопаток у вики (3-я декада июня–1-я декада июля) дисковым БДМ-3 × 4 на глубину 10–12 см. Дозы внесенных соломы, сидерата, а также количество поступивших в почву при этом элементов питания и углерода в среднем за ротацию севооборота представлены в табл. 1, 3.

В 3-й декаде августа под озимую пшеницу, согласно схеме опыта, вносили основную часть

Таблица 1. Поступление в почву элементов питания и углерода с соломой и сидератом, кг/га (среднее за 2013–2017 гг.)

Вариант	Солома				Викоовсяная смесь				Всего			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	C
Контроль	–	–	–	–	57.6	20.4	60.3	2040	57.6	20.4	60.3	2040
Солома + сидерат	17.4	11.7	32.0	1220	58.9	20.8	61.6	2080	76.3	32.5	93.6	3300
Солома + 10 кг N/т + + сидерат	18.6	12.6	34.3	1300	62.4	22.1	65.3	2210	81	34.7	99.6	3510
Солома + биопрепарат + + сидерат	18.8	12.7	34.7	1320	63.1	22.3	65.9	2230	81.9	35	100.6	3550
Солома + 10 кг N/т + + биопрепарат + сидерат	19.4	13.2	35.9	1360	63.7	22.5	66.6	2250	83.1	35.7	102.5	3620
Биопрепарат + сидерат	–	–	–	–	62.1	22.0	65.0	2200	62.1	22.0	65.0	2200
НРК	–	–	–	–	68.3	24.2	71.4	2420	68.3	24.2	71.4	2420
НСП ₀₅	0.3	0.4	0.4	11	0.7	0.4	0.8	10				

Таблица 2. Влияние систем удобрения на содержание в пахотном слое почвы под посевами озимой пшеницы доступных растений азота, фосфора и калия (среднее за 2013–2017 гг.), мг/кг

Вариант	N-NO ₃ +N-NH ₄		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля	содержание	отклонение от контроля
Контроль	14.9	–	163	–	173	–
Солома + сидерат	15.5	+0.6	169	+6	182	+9
Солома + 10 кг N/т + + сидерат	16.6	+1.7	171	+8	184	+11
Солома + биопрепарат + + сидерат	16.8	+1.9	172	+9	184	+11
Солома + 10 кг N/т + + биопрепарат + сидерат	17.3	+2.4	173	+10	184	+11
Биопрепарат + сидерат	16.2	+1.3	168	+5	176	+3
НРК	18.8	+3.9	182	+19	184	+11
НСП ₀₅	0.5		5		3	

(N34P32K54) расчетной дозы минеральных удобрений, которые заделывали в почву дискатором БДМ-3 × 4 на глубину 10–12 см. Посев озимой пшеницы сорта Саратовская-17 проводили в 1-й декаде сентября после предпосевной культивации. Посевы прикатывали кольчато-шпоровыми катками ЗККШ-6А. Весной в начале возобновления вегетации озимой пшеницы проводили азотную подкормку в дозе N30.

Опыт проводили в четырехкратной повторности с рендомизированным расположением делянок. Посевная площадь делянки 120 м² (6 × 20), учетная – 72 м² (4 × 18). Почва опытного поля – чернозем типичный среднесуглинистый среднесильный. Содержание в пахотном слое гумуса составляло 4.7%, подвижного фосфора – 185 мг/кг

(по Чирикову, обеспеченность данным элементом высокая), обменного калия – 196 мг/кг (очень высокая обеспеченность), обменная кислотность рН_{KCl} 6.9.

Полевой опыт и статистическую обработку данных проводили по методике [15], анализы и наблюдения – по общепринятым методикам и ГОСТам в аккредитованной лаборатории “САС “Ульяновская” (№ RA.RU.510251) и испытательной лаборатории “Ульяновская ГСХА”, в том числе: биологическую активность почвы – методом аппликации (льняные полотна закладывали весной в начале возобновления вегетации озимой пшеницы в 4-кратной повторности, их выемку производили перед уборкой озимой пшеницы), содержание гумуса – по Тюрину в модификации

Таблица 3. Поступление растительной массы в почву в вариантах опыта (среднее за 2013–2017 гг.)

Вариант	Растительная масса, т/га			Отклонение от контроля	
	солома*	викоовсяная смесь**	всего	т/га	%
Контроль	–	4.43	4.43	–	–
Солома + сидерат	2.67	4.53	7.20	2.77	63
Солома + 10 кг N/т + сидерат	2.86	4.80	7.66	3.23	73
Солома + биопрепарат + сидерат	2.89	4.85	7.74	3.31	75
Солома + 10 кг N/т + биопрепарат + сидерат	2.99	4.90	7.89	3.46	78
Биопрепарат + сидерат	–	4.78	4.78	0.35	8
НРК***	–	5.25	5.25	0.82	19
<i>HCP</i> ₀₅	0.10	0.10	–	–	–

*Урожайность соломы определяли по отношению основной продукции к побочной (сноповый анализ).

**Урожайность викоовсяной смеси (сидерата) с пересчетом на сухое вещество.

***НРК вносили под озимую пшеницу.

ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), азот нитратный – по ГОСТ 26951-86, азот аммонийный – по ГОСТ 26951-86, подвижные формы фосфора и калия – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26489-85). Учет урожайности зерна озимой пшеницы осуществляли прямым комбайнированием с площади учетной делянки с пересчетом на 100%-ную чистоту и 14%-ную влажность (ГОСТ 27548-97). В таблицах и на рисунках приведены средние за ротацию севооборота (5 лет), кроме данных урожайности (за все годы исследования) и содержания гумуса (за 2013 и 2017 гг.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Целлюлозоразлагающая способность почвы. Целлюлозоразлагающие микроорганизмы являются основными агентами трансформации поступающих в почву растительных остатков, степень разложения клетчатки определяет интенсивность круговорота элементов питания. По мнению ряда исследователей, метод льняных полотен (метод аппликации) характеризует общую биологическую активность почвы [16, 17] (рис. 1). Обращает на себя внимание резкая разница в активности целлюлолитической микрофлоры по годам, что обусловлено складывавшимися в течение вегетации погодными условиями (температурный режим, количество осадков). Наиболее благоприятные для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов погодные условия сложились в 2016 и 2017 гг. В оба года исследования за апрель–май сумма осадков значительно (на 49.6 и 27.1 мм) превысила среднемноголетние показатели, что было достаточно для создания оптималь-

ных условий для жизнедеятельности как почвенной микрофлоры, так и развития озимой пшеницы в более засушливые периоды вегетации. В данные годы степень разложения льняной ткани по отношению к предыдущим годам повысилась практически в 2 раза.

Совместное внесение в почву соломы и сидерата в менее благоприятные годы сопровождалось незначительным усилением деятельности целлюлолитиков – на 3–10%, в благоприятные – на 8–20%, в среднем за 4 года – на 11% по сравнению с контрольным вариантом. В среднем за этот период такие же результаты получили в варианте с применением минеральных удобрений. Более высокий показатель активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов отмечен при комплексном применении в качестве органического удобрения соломы, азотной добавки к ней (10 кг N/т), сидерата и биопрепарата, что составило 41% (в контроле 32%). Последнее свидетельствовало и подтверждало результаты работ [12–14] о целесообразности (необходимости) применения соломы зерновых культур (в данном случае ячменя) совместно с компенсирующей иммобилизацией азотной добавкой ≥ 10 кг N/т растительной массы, поступившей в почву.

Следует отметить, что в благоприятные по условиям вегетации годы разница в показателях активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов в почве при совместном использовании соломы с азотной добавкой и сидератом, соломы с биопрепаратом и сидератом, а также совместно соломы с 10 кг N/т, сидератом и биопрепаратом, была незначительной.

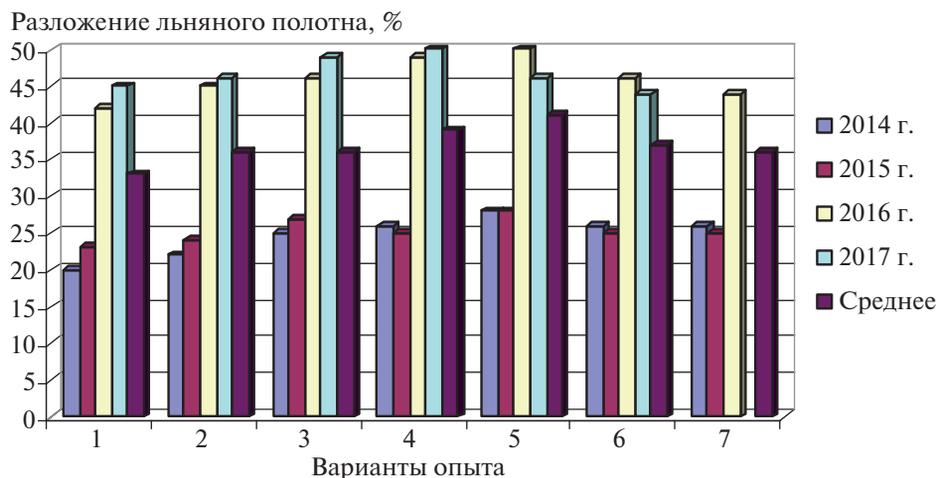


Рис. 1. Влияние систем удобрения на разложение льняной ткани под посевами озимой пшеницы (среднее за 2014–2017 гг.), %. HCP_{05} : 2014 г. – 1.5, 2015 г. – 1.8, 2016 г. – 2.8, 2017 г. – 2.1%.

Питательный режим. Микроорганизмы – главные агенты, формирующие питательный режим почвы. Деятельность их обеспечивает разложение всех растительных остатков, поступающих в почву как в виде естественного опада, так и посредством агротехнических приемов: в том числе образование гумусовых веществ и их минерализацию, разрушение почвенных минералов и высвобождение элементов питания в почвенный раствор, процессы трансформации агрохимикатов при внесении их в почву. При этом разложение целлюлозы, которая является основным компонентом растительных остатков и органических удобрений, составляет основу превращений их в пахотном слое почвы. Поэтому изучение изменений в жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, определяющих эффективное плодородие почвы, имеет столь важное значение.

В табл. 1 представлены данные о количестве элементов питания и углерода, поступивших в почву с соломой и сидератом, в табл. 2 – основные агрохимические показатели (содержание минерального азота и доступных соединений фосфора и калия) в пахотном слое почвы под посевами озимой пшеницы в зависимости от примененных систем удобрения. Расчеты показали, что с растительной массой в среднем за ротацию севооборота в почву поступало: азота – от 57.6 до 83.1, фосфора – от 20.4 до 35.7, калия – от 60.3 до 103 и углерода – от 2040 до 3620 кг/га. Больше их количество в почву относительно контроля поступало в варианте с применением соломы с добавкой 10 кг N/т, биопрепарата и сидерата. В то же время разница в данных показателях в вариантах, где применяли солому, сидерат и биопрепарат, была незначительной.

Лабораторные анализы почвенных образцов показали, что в среднем за весь период вегетации при применении органической системы удобрения под посевами озимой пшеницы в пахотном слое почвы содержание элементов питания по сравнению с контрольным вариантом достоверно (по величине HCP_{05}) было больше: азота – на 0.6–1.9, фосфора – на 5.0–9.0, калия – на 3.0–11.0 мг/кг. Незначительное преимущество имел вариант комплексного применения соломы с компенсационной азотной добавкой, биопрепарата и сидерата, что согласовалось с количеством элементов питания, внесенных в почву с растительной массой. При этом количество минерального азота в пахотном слое почвы превышало контрольный вариант на 2.4, фосфора – на 10 и калия – на 11 мг/кг. Однако разница в содержании доступных P_2O_5 и K_2O в почве вариантов с применением органической и орга-но-минеральной систем удобрения была недостоверной. Достоверно более высокое содержание минерального азота и подвижного фосфора в почве наблюдали при применении минеральных удобрений. Содержание обменного калия в почве было на уровне вариантов органической и орга-но-минеральной систем удобрения (184 мг/кг), кроме варианта, где совместно использовали сидерат и биопрепарат.

Таким образом, результаты исследования свидетельствовали, что применение ячменной соломы под сидеральную культуру как отдельно, так и в сочетании с азотной добавкой N10/т, биопрепаратом Байкал ЭМ-1, положительно влияло на содержание основных элементов питания в пахотном слое чернозема типичного и поддерживало его питательный режим по сравнению с кон-

Таблица 4. Влияние систем удобрения озимой пшеницы на содержание гумуса в почве за ротацию севооборота (2013–2017 гг., слой 0–30 см почвы), %

Вариант	2013 г.	2017 г.	Изменение, +/-
Контроль	4.24	4.30	+0.08
Солома + сидерат	4.42	4.65	+0.23
Солома + 10 кг N/т + сидерат	4.29	4.47	+0.18
Солома + биопрепарат + сидерат	4.42	4.58	+0.16
Солома + 10 кг N/т + биопрепарат + сидерат	4.35	4.68	+0.30
Биопрепарат + сидерат	4.18	4.32	+0.13
НРК	4.32	4.27	-0.05
НСП ₀₅	0.02	0.04	

трольным вариантом на более высоком уровне в течение всей вегетации озимой пшеницы. При незначительной разнице в содержании доступных элементов питания в почве вариантов с применением органической и органо-минеральной систем удобрения преимущество имел вариант с совместным применением соломы с азотной добавкой к ней в дозе 10 кг/т, биологического препарата Байкал ЭМ-1 и сидерата: содержание азота в пахотном слое составляло 17,3, доступного фосфора – 173, калия – 184 мг/кг, что превышало контроль на 2,4, 10 и 11 мг/кг соответственно. Более высокий уровень содержания минерального азота и доступного фосфора в пахотном слое почвы наблюдали при применении минеральных удобрений (18,8 и 182 мг/кг), содержание обменного калия было на уровне комплексного применения соломы с азотной добавкой 10 кг N/т, сидерата и биопрепарата.

Содержание гумуса. В условиях постоянного усиления антропогенной нагрузки на окружающую среду, в том числе на агробиоценозы, органическое вещество почвы (основная часть которого представлена гумусовыми веществами) играет главную роль в экологической устойчивости почв, следовательно, земледелия, более того – биосферы в целом [19]. Между тем почвы всех земледельческих районов мира подвержены дегумификации и наблюдаются колоссальные потери гумуса. Например, в Ульяновской обл. при доле черноземов в почвенном покрове 64,6% и темно-серых лесных почв 14%, близких по свойствам к черноземам, средневзвешенное содержание гумуса, по данным “САС “Ульяновская” на 01.01.2021 г., составило 4,90%, тогда как по результатам экспедиций В.В. Докучаева в 1877–1878 гг.

среднее содержание гумуса в Симбирской губернии находилось на уровне 9,68% [20].

Эффективность соломы и сидерата, примененных в качестве органического удобрения, в том числе их влияние на содержание гумуса в почве определяется количеством растительной массы, заделываемой в почву, и условиями ее трансформации. В этом отношении важно ускорить разложение соломы, которая представлена в основном клетчаткой, не растворимой в почвенных кислотах [23, 24], и разложение ее осуществляется почвенными микроорганизмами. Использование в этих целях биологических препаратов также может повысить эффективность соломы как удобрения.

В табл. 3 приведены данные, показывающие количество поступившего в почву органического вещества ежегодно в вариантах опыта (среднее за 2013–2017 гг.). Их анализ показал, что эффективность соломы в качестве удобрения повышалась как при применении в чистом виде, так и совместно с азотной добавкой и биологическим препаратом Байкал ЭМ-1. В первом случае урожайность зеленой массы викоовсяной смеси, возделываемой в качестве сидерата, повышалась незначительно – на 0,1 т/га (в пересчете на сухое вещество), во втором – на 0,37 и 0,42 т/га соответственно. Использование соломы совместно с компенсационной азотной добавкой и биопрепаратом способствовало повышению урожайности викоовсяной смеси на 0,47 т/га или на 11%. Возделывание сидерата в варианте с внесением расчетных доз минеральных удобрений под озимую пшеницу обеспечило повышение урожайности на 0,82 т/га (на 19%). Общее количество растительной массы, поступившей в почву с учетом соломы в соответствующих вариантах, превышало контроль в 1,6–1,8 раза, в вариантах с применением биопрепарата и сидерата, а также минеральных удобрений – в 1,5–1,7 и 1,4–1,5 раза соответственно. В соответствии с количеством поступившего в почву органического вещества изменялось содержание гумуса в почве. Динамика содержания гумуса за ротацию севооборота в пахотном слое (0–30 см) чернозема типичного под посевами озимой пшеницы в зависимости от систем удобрения представлена в табл. 4.

Прежде всего, следует отметить, что возделывание озимой пшеницы после сидерального пара позволило стабилизировать содержание гумуса в пахотном слое почвы на исходном уровне (контрольный вариант). Аналогичные закономерности отмечены в ряде работ отечественных и зарубежных авторов [4, 21, 22]. Совместное использование соломы предшественника и сидерата позволило не только воспроизводить, но и повы-

Таблица 5. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от системы удобрения, т/га

Вариант	Годы опыта					Среднее за 2013–2017 гг.	Отклонение от контроля
	2013	2014	2015	2016	2017		
Контроль	2.49	2.21	2.14	3.29	3.82	2.79	–
Солома + сидерат	2.45	2.42	2.18	3.26	3.93	2.85	+0.06
Солома + 10 кг N/т + сидерат	2.64	2.51	2.25	3.41	4.25	3.01	+0.22
Солома + биопрепарат + сидерат	2.60	2.58	2.30	3.48	4.23	3.04	+0.25
Солома + 10 кг N/т + биопрепарат + сидерат	2.76	2.81	2.41	3.57	4.31	3.17	+0.38
Биопрепарат + сидерат	2.55	2.46	2.22	3.40	4.03	2.93	+0.14
НРК	3.17	2.98	2.64	3.75	5.45	3.60	+0.81
НСП ₀₅	0.06	0.03	0.03	0.05	0.04		

содержание гумуса за ротацию севооборота в почве на 0.23%. Наиболее эффективным было применение соломы с компенсационной добавкой азота в дозе 10 кг N/т, сидератом и биопрепаратом: в течение ротации севооборота содержание гумуса в слое 0–30 см почвы увеличилось на 0.30%. На фоне применения минеральных удобрений за 5-летний период появилась тенденция к снижению содержания гумуса в почве, что было обусловлено значительно меньшим поступлением в нее растительных остатков.

Урожайность озимой пшеницы. Увеличение поступления растительной массы в экспериментальных вариантах через улучшение питательного режима и свойств почвы способствовало повышению урожайности озимой пшеницы (табл. 5). Отмечена сильная вариабельность величины урожайности озимой пшеницы по годам, что было обусловлено климатическими условиями Среднего и Нижнего Поволжья, которые относятся к зоне рискованного земледелия. Наиболее благоприятный в этом отношении был 2017 г., когда средняя урожайность зерна озимой пшеницы превысила при применении удобрений 4 т/га. В среднем за ротацию севооборота (5 лет) заделка соломы под сидерат не привела к снижению урожайности озимой пшеницы, лишь в 2016 г. она несущественно снизилась. Более высокую урожайность зерна наблюдали на фоне комплексного применения соломы с добавкой 10 кг N/т, сидерата и биопрепарата Байкал ЭМ-1, которая составила 3.17 т/га, превысив контроль на 0.38 т/га. Ожидаемо наиболее высокая урожайность пшеницы в среднем за 5 лет сформировалась на фоне внесения в почву минеральных удобрений, которая превысила контроль на 0.81 т/га. Следовательно, применением только органической системы удобрения при возделывании озимой пшеницы обеспечить объем полученной продукции

на уровне действия минеральных удобрений не удалось.

Экономическая эффективность. Расчеты экономической эффективности производства зерна озимой пшеницы (рис. 2) показали, что использование соломы, соломы с азотной добавкой (10 кг N/т), сидерата и совместное их применение с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 было экономически целесообразным. Уровень рентабельности производства зерна озимой пшеницы при действии органических систем удобрения составил 67, 71 и 51% при органо-минеральной – 56 и 61%, тогда как при применении минеральной системы удобрения – 44%.

Таким образом, использование соломы, сидерата в комплексе с биологическим препаратом Байкал ЭМ-1 (органическая система удобрения) в технологии возделывания озимой пшеницы не обеспечило повышение ее урожайности до уровня минеральной системы удобрения, но позволило получить продукцию с меньшими производственными затратами и более высоким уровнем рентабельности. Последнее важно в современных экономических условиях аграрного производства.

ВЫВОДЫ

1. Внесение в почву соломы и сидерата способствовало заметному усилению активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов: в среднем за ротацию севооборота от 32 в контроле до 41% в варианте с совместным применением соломы с добавкой 10 кг N/т, сидерата и биологического препарата Байкал ЭМ-1.

2. Применение ячменной соломы под сидеральную культуру как отдельно, так и в сочетании с азотной добавкой 10 кг N/т, биопрепаратом Байкал ЭМ-1 позволило поддерживать питатель-

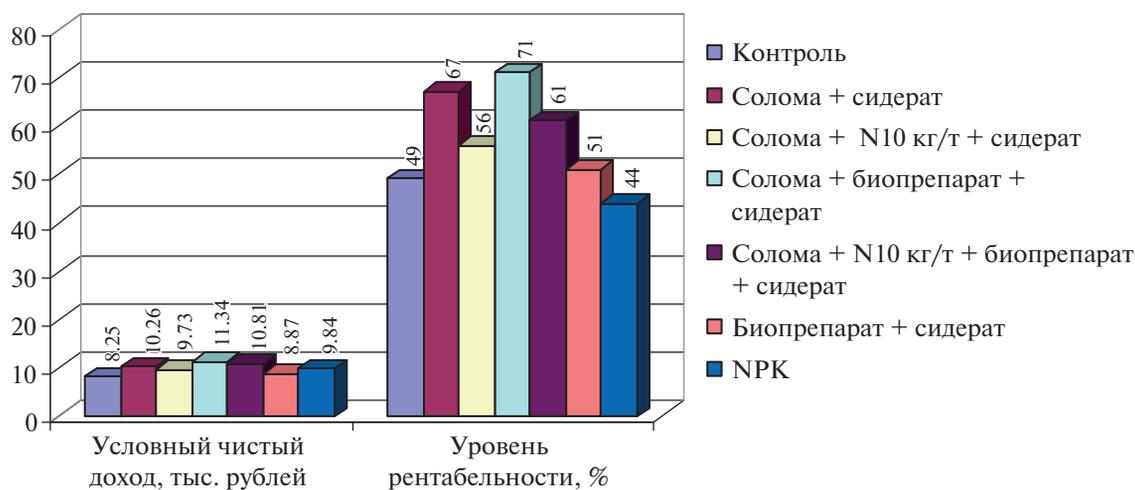


Рис. 2. Экономическая эффективность технологий возделывания озимой пшеницы с применением удобрений.

ный режим чернозема типичного на более высоком уровне в течение всей вегетации озимой пшеницы: содержание минерального азота в пахотном слое было больше на 0,6–2,4, доступных соединений фосфора – на 6–10, калия – на 9–11 мг/кг. Однако различия в содержании доступных P_2O_5 и K_2O между вариантами с применением органической и органо-минеральной систем удобрения были недостоверными. На фоне минеральных удобрений содержание минерального азота было достоверно больше контроля на 3,9, подвижного фосфора – на 19 мг/кг.

3. Возделывание озимой пшеницы после сидерального пара способствовало стабилизации содержания гумуса в почве. Совместное использование соломы и сидерата повысило содержание гумуса к концу ротации севооборота на 0,23%, комплексное применение их с азотной добавкой 10 кг N/т и биопрепаратом – на 0,30%.

4. Прибавка урожайности зерна озимой пшеницы в среднем за ротацию севооборота при применении органической системы удобрения (солома + сидерат, солома + биопрепарат + сидерат, биопрепарат + сидерат) составила 0,06, 0,25 и 0,14 т/га, органо-минеральной (солома + 10 кг N/т + сидерат, солома + 10 кг N/т + сидерат + биопрепарат) – от 0,22 до 0,38 т/га. Наиболее высокая урожайность озимой пшеницы сформировалась на фоне применения минеральных удобрений – 3,60 т/га (в контроле – 2,79 т/га). Таким образом, применение только органической системы удобрения не обеспечило объем получаемой продукции озимой пшеницы на уровне использования минеральных удобрений.

5. Использование соломы, сидерата в комплексе с биопрепаратом Байкал ЭМ-1 в системе

удобрения озимой пшеницы было экономически целесообразным и рентабельным. Уровень рентабельности производства зерна озимой пшеницы при этом существенно превосходил вариант с применением минеральных удобрений и составил соответственно 71 и 44%. Последнее особенно важно в современных экономических условиях аграрного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. М.: НИУ ВШЭ, 2017. 140 с.
2. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.И., Кизинюк С.В. Агрохимические основы применения удобрений. Майкоп: Полиграф-Юг, 2013. 572 с.
3. Довбан К.И. Зеленое удобрение. М.: Агропромиздат, 1990. 208 с.
4. Кормилицин В.Ф. Зеленое удобрение и гумусное состояние почвы. Агрохимия зеленого удобрения в органическом земледелии Поволжья. Сообщ. 1 // Агрохимия. 1995. № 5. С. 44–65.
5. Колсанов Г.В. Гречишная солома в удобрении ячменя на типичном черноземе лесостепи Поволжья // Агрохимия. 2005. № 5. С. 59–65.
6. Лошаков В.Г. Зеленое растение в земледелии России. М.: ВНИИА, 2015. 300 с.
7. Buchner W. Umweltschonender Maisanbau durch Daner begrünung // Mais. 1986. Bd. 14. № 2. P. 31–34.
8. Anon A. Wie wird die Brache Grün // Lohnunternehmen in Land – Fort – Wirtsch. 1986. Bd. 43. № 7. P. 350–351.
9. Morris R.A. Organic farming prospects compared with conventional farming // Phosphorus in Agr. 1996. P. 36–82.
10. Lou Y. The effect of straw management and reduced tillage on soil N and P // Zhejiang Agr. Univ. 1994. B. 24. № 4. P. 359–363.

11. Верниченко Л.Ю., Мишустин Е.Н. Влияние соломы на почвенные процессы и урожайность сельскохозяйственных культур // Использование соломы как органического удобрения. М.: Колос, 1980. С. 3–33.
12. Vales J., Strand P. Vliv nekterych regylovateľnych faktorů na produkci obilnin v ekosystémech reparsk ze oblasti // Roste. Vyroba. 1989. V. 35. № 2. S. 123–134.
13. Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М.: Высш. шк., 1998. 287 с.
14. Колсанов Г.В. Солома как удобрение в зернопарашном севообороте на черноземе Лесостепи Поволжья // Агрохимия. 2006. № 5. С. 30–40.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
16. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М.: Наука, 1972. 343 с.
17. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Микробиология. М.: Изд-во Юрайт, 2016. 445 с.
18. Тарасов С.А. Шершнева О.М. Использование микробиологических препаратов для ускорения деградации соломы // Вестн. Курск. ГСХА. 2014. № 6. С. 43–46.
19. Добровольский Г.В., Чумаков А.Н., Гришин Н.Е. Дегградация почв – угроза экологического кризиса // Куда движется глобализация. Волгоград, 2014. С. 192–203.
20. Докучаев В.В. Избр. соч. М.: Гос. изд-во сел.-хоз. лит-ры, 1954. 708 с.
21. Grondek K. Skead frakcyjny prochnicy czarnoziemy Zdegradawanego w zalensci od gatunku przyoranuch rostin poplonowych // Acta agraria et silvestria ser Agraria. Krakow, 2004. V. 41. P. 3–12.
22. Никончик П.И. Влияние специализированных севооборотов и систем удобрений на баланс гумуса в почве // Проблемы и пути повышения эффективности растениеводства в Беларуси. Минск: ИВЦ Минфина, 2007. С. 113–135.
23. Привалова Е.А. Влияние компонентного состава соломы на скорость ферментативного гидролиза целлюлозы // Вестн. Иркут. ГТУ. 2010. № 7. С. 156–160.
24. Ghaffar S.H., Fan M. Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw // Biomass and Bioenergy. 2013. V. 57. P. 264–279.

Influence of Organic, Organo-Mineral and Mineral Fertilizer Systems on Soil Properties and Yield of Winter Wheat in the Middle Volga Region

A. Kh. Kulikova^a, E. A. Yashin^a, A. E. Yashin^a, and E. S. Volkova^{a, #}

^a*P.A. Stolypin Ulyanovsk State Agrarian University
Novy Venets Boulevard 1, Ulyanovsk 432017, Russia*

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

The effectiveness of the organic fertilizer system of winter wheat in comparison with mineral and organo-mineral was studied. The study was carried out in 2013–2017 in a 5-full grain sideral crop rotation: a pair of sideral (vico-oat mixture) – winter wheat – millet – spring wheat – barley. The field experiment consisted of 7 variants: 1 – control, 2 – straw + siderate, 3 – straw + 10 kg N/t of straw + siderate, 4) – straw + biological preparation Baikal EM–1 + siderate, 5 – straw + 10 kg N/t + biological preparation + siderate, 6 – biological preparation + siderate, 7 – N64P32K54. Winter wheat was cultivated by sideral steam and in all variants there was siderate. Consequently, in variants 2, 4 and 6, organic fertilizer systems were used, in variants 3 and 5 – organo-mineral and variant 7 – mineral fertilizer systems. It was found that all fertilizer systems using straw, sideral mass and biological preparation had a beneficial effect on soil properties. A complex of techniques was more effective in this regard, including the use of precursor straw with a nitrogen additive to it at a dose of 10 kg N/ha/t of straw, a biological preparation Baikal EM-1 and a sideral mass. At the same time, the biological activity of the soil increased by 26% on average during the growing season and the years of study, the content of mineral forms of nitrogen increased by 2.4, available phosphorus and potassium compounds – by 10 and 11 mg/kg of soil. In the variant with the use of mineral fertilizers, the corresponding indicators were 3.9, 19 and 11 mg/kg of soil. Cultivation of winter wheat after sideral steam stabilized the humus content in the soil, the combined use of precursor straw and siderate increased its content during rotation of crop rotation by 0.23%, their complex use with a nitrogen additive of 10 kg N/t of straw and a biological preparation – by 0.30%. The combined use of straw, sideral mass, biological preparation (organic fertilizer system) in winter wheat cultivation technology contributed to an increase in the yield of winter wheat grain (on average for 5 years by 0.25 t/ha, while adding 10 kg of nitrogen to the straw at the rate of 1 t (organo-mineral system) – by 0.38 t/ha. The use of a mineral fertilizer system provided the largest increase in the yield of winter wheat grain in this experiment – by 0.81 t/ha. However, grain production using mineral fertilizers is much less profitable: the level of profitability with the use of organic fertilizer systems was 67, 71 and 51, organo-mineral – 56 and 61, mineral – 44%.

Key words: winter wheat, organic, organo-mineral and mineral fertilizer systems, soil properties, yield and economic efficiency of products.

УДК 631.816.12:635.1/.8:631.42:631.811

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДКОРМОК ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ ПОЧВЕННОЙ И РАСТИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

© 2022 г. В. А. Борисов¹, И. Ю. Васючков¹, А. А. Коломиец¹,
О. Н. Успенская^{1,*}, С. В. Белова¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства –
филиал Федерального научного центра овощеводства
140153 Московская обл., Раменский р-н, д. Верея, стр. 500, Россия

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

Поступила в редакцию 16.06.2021 г.

После доработки 24.09.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

В лабораторно-полевом исследовании в 2015–2020 гг. выявлена реакция капусты белокочанной поздней, моркови и свеклы столовой на внесение минеральных удобрений в виде подкормок по результатам почвенной и растительной диагностики питания. Установлено, что по данным анализа почвы и черешков листьев и содержанию питательных элементов в середине вегетации, можно существенно скорректировать дозы корневых подкормок растений для улучшения качества продукции, что очень важно в условиях перехода на экологически чистые технологии возделывания овощных культур. Исследование было проведено по общепринятым методикам на аллювиальных луговых среднесуглинистых почвах поймы р. Москвы (Раменский р-н Московской обл.), которые типичны для овощеводческих хозяйств Подмоскovie. Выяснено, что для позднеспелой белокочанной капусты гибрида Континент F₁ и столовой свеклы сорта Карина более рентабельным было основное весеннее внесение расчетной дозы: прибавка урожайности составила 30 и 31%, прибыль – 363 и 276 тыс. руб./га, рентабельность – 113 и 114% соответственно. Для моркови возможно применение 1/2 дозы NPK в основное внесение и последующая подкормка удобрениями в фазе начала образования корнеплодов (1-я декада июля) по анализу почвы, что обеспечило прибавку урожайности 23%, прибыль – 415 тыс. руб./га, рентабельность – 197%. Корневые подкормки растений на фоне основного внесения 1/2 дозы азотно-калийных удобрений в фазе начала образования корнеплодов/формирования кочана (1-я декада июля) не ухудшали биохимическое качество овощной продукции и обеспечивали снижение содержания нитратов. Лучшие экономические результаты дало проведение подкормок в течение вегетации при использовании почвенной диагностики.

Ключевые слова: капуста белокочанная поздняя, морковь, свекла столовая, урожайность, подкормки, листовая и почвенная диагностика, качество, экономическая эффективность.

DOI: 10.31857/S000218812202003X

ВВЕДЕНИЕ

Основные овощные культуры Нечерноземной зоны (капуста белокочанная поздняя, морковь и свекла столовая) имеют довольно длительный вегетационный период (4–6 мес.) и потребляют большое количество питательных веществ для получения высокой урожайности. При уровне урожайности 60–90 т/га эти культуры выносят из почвы: N – 185–345, P₂O₅ – 100–123 и K₂O – 296–377 кг/га [1–3]. Разовое внесение таких больших доз удобрений может привести к резкому повышению концентрации минеральных солей в почве и отрицательно сказаться на всходах и молодых растениях, особенно моркови. Кроме этого, при разовом основном внесении высоких доз удобрений

есть опасность перерастания корнеплодов, потери ими товарных качеств, а также избыточного накопления нитратов, что особенно актуально для свеклы столовой.

В научной литературе по овощеводству имеются исследования диагностики питания овощных культур, в которых разработаны дифференцированные дозы применения удобрений в зависимости от содержания питательных элементов в почве и растениях в различные периоды вегетации [1, 4–6].

В период интенсификации овощеводства, при появлении новых видов и форм удобрений, новых сортов и гибридов, капельного орошения и фертигации требуется корректировка этих дан-

Таблица 1. Действие основного удобрения и подкормок на урожайность и качество капусты белокочанной поздней, гибрид Континент F_1 (2018–2020 гг.)

Вариант	Урожайность кочанов, т/га					Качество кочанов				
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	средняя		стандарт	сухое вещество	сумма сахаров	витамин С, мг%	NO_3^- , мг/кг
				т/га	%					
Без удобрений	52.2	53.8	58.4	54.8	100	91.1	10.6	5.12	22.4	250
N180P100K270	65.8	70.4	78.1	71.4	130	95.6	9.8	5.06	24.1	408
N90P50K135 (фон)	56.7	59.6	65.2	60.5	110	93.1	10.1	4.99	24.7	316
Фон + N75K57 (диагностика листьев)	61.4	62.6	68.4	64.1	117	93.7	9.7	4.79	24.2	363
Фон + N39 (диагностика почвы)	62.8	63.4	70.1	65.4	119	94.3	10.0	4.97	24.5	370
HCP_{05}	4.0	3.4	4.3	3.9	–	–	–	–	–	–

ных и рекомендации для разработки дифференцированной системы питания основных овощных культур с учетом качества и рентабельности полученной продукции. Цель работы – исследование эффективности применения минеральных удобрений в виде подкормок овощных культур по данным почвенной и растительной диагностики.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2015–2020 гг. на аллювиальной луговой среднесуглинистой почве поймы р. Москвы на экспериментальном участке отдела земледелия и агрохимии ВНИИ овощеводства, анализы почвы и растений выполнены в лаборатории агрохимии ВНИИО – филиала ФНЦО.

Почва опытного участка характеризуется мощным гумусовым горизонтом (до 80 см), со средним содержанием гумуса (3.10–3.50%), нейтральной и слабокислой реакцией почвенной среды (рН 5.8–6.6), с высоким содержанием подвижного фосфора (20–27 мг $\text{P}_2\text{O}_5/100$ г, по Чирикову), она слабо и средне обеспечена обменным калием (10–15 мг $\text{K}_2\text{O}/100$ г, по Чирикову).

В схему опытов были включены варианты: без удобрений, расчетная доза удобрений на планируемую урожайность капусты белокочанной поздней 70 т/га, моркови – 50 т/га, свеклы столовой – 60 т/га, которые составляли соответственно N180P100K270, N90P60K180 и N120P60K180, половинная доза этих удобрений, а также варианты с корневой подкормкой растений по данным анализа почвы и черешка листа на фоне основного внесения 1/2 дозы НРК.

Технология возделывания овощных культур, все агротехнические операции и агрохимические

анализы проводили в соответствии с методическими разработками ВНИИО [7, 8], а также ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова и Почвенного института им. В.В. Докучаева [9].

Отбор проб почвы (слой 0–20 см) и листьев для диагностики минерального питания проводили в фазе начала образования корнеплодов/формирования кочанов (1-я декада июля). Анализ почвы и черешков листьев и расчет дозы корневой подкормки проводили по методикам [5, 8, 9]. Подкормку вносили в рядки с последующей заделкой культиватором.

Погодные условия в годы исследования были разными. При среднемноголетних показателях за вегетационный сезон (май–октябрь) температуры воздуха 12.6°C и суммы осадков 366 мм наблюдали отклонения по годам исследования: 2015 г. характеризовался как теплый и очень влажный (14.3°C, 865 мм осадков), 2016 г. – теплый и засушливый (15.4°C, 315 мм осадков), 2017 г. – теплый и умеренно влажный (14.8°C, 435 мм осадков), 2018 г. – жаркий и сухой (18.2°C, 204 мм осадков), 2019 г. – теплый и засушливый (16.7°C, 299 мм осадков), 2020 г. – теплый и умеренно влажный (16.4°C, 355 мм осадков).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 3-летнем исследовании с капустой белокочанной поздней (гибрид Континент F_1) выяснено, что высокое естественное плодородие аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы опытного участка обеспечивало получение урожая кочанов от 52 до 58 т/га с хорошим качеством продукции. Расчетная доза минеральных удобрений N180P100K270 в основное внесение увеличивала урожайность кочанов до 71.4 т/га (табл. 1)

Таблица 2. Действие основного удобрения и подкормок на урожайность и качество моркови сорта Лосиноостровская 13 (2015, 2017 гг.)

Вариант	Урожайность корнеплодов, т/га				Качество корнеплодов				
	2015 г.	2017 г.	средняя		стандарт	сухое вещество	сумма сахаров	каротин, мг %	NO ₃ ⁻ , мг/кг
			т/га	%					
Без удобрений	61.3	52.5	56.9	100	77.5	12.4	5.12	8.5	110
N90P60K180	70.4	63.7	67.1	118	78.0	11.7	5.04	9.0	228
N45P30K90 (фон)	68.9	60.6	64.8	114	82.0	11.8	5.68	8.9	137
Фон + N18K8 (диагностика листьев)	78.8	62.0	70.4	124	78.0	11.1	5.47	8.9	240
Фон + N8K38 (диагностика почвы)	78.0	62.5	70.3	123	81.0	10.6	5.62	8.7	194
HCP ₀₅	3.0	4.6	3.8	—	—	—	—	—	—

Таблица 3. Действие основного удобрения и подкормок на урожайность и качество свеклы столовой сорта Карина (2016, 2017, 2019 гг.)

Вариант	Урожайность корнеплодов, т/га					Качество корнеплодов				
	2016 г.	2017 г.	2019 г.	средняя		стандарт	сухое вещество	сумма сахаров	бетанин, мг %	NO ₃ ⁻ , мг/кг
				т/га	%					
Без удобрений	51.3	54.0	50.7	52.0	100	81.3	13.9	7.00	108	563
N120P60K180	67.5	74.8	61.4	67.9	131	95.1	12.7	6.45	104	1170
N60P30K90 (фон)	57.0	58.1	56.8	57.3	110	97.6	11.5	6.71	102	889
Фон + N52K25 (диагностика листьев)	61.7	66.4	60.0	62.7	121	94.6	12.4	6.68	103	828
Фон + N5K8 (диагностика почвы)	61.6	63.0	61.4	62.0	119	94.2	12.1	6.85	98.7	638
HCP ₀₅	4.5	5.1	2.7	4.1	—	—	—	—	—	—

или на 30%, снижение этой дозы на половину приводило к существенному уменьшению урожайности (на 20%).

Внесение подкормок под капусту на фоне основного внесения 1/2 дозы NPK по результатам почвенной и листовой диагностики питания позволило увеличить урожайность кочанов с 60.5 до 64.1–65.4 т/га, то есть на 7–9%, что было статистически достоверным. Подкормки азотно-калийными (N75K57, при диагностике листьев) и азотными удобрениями (N39, при диагностике почвы) увеличили выход стандартной продукции и не оказывали существенного влияния на биохимическое качество кочанов. Вследствие меньшей

нагрузки удобрений содержание нитратов в кочанах было меньше на 9–11% в сравнении с основным внесением расчетной дозы.

В исследовании с морковью (сорт Лосиноостровская 13) выявлено, что в контрольном варианте (без удобрений) в годы опыта получено корнеплодов от 52 до 61 т/га; применение расчетной дозы минеральных удобрений N90P60K180 в основное внесение (табл. 2) обеспечило урожайность корнеплодов на уровне 67.1 т/га, что было больше контроля на 18%. Более высокая урожайность моркови (70.3–70.4 т/га) была достигнута при основном внесении 1/2 дозы NPK и последующей подкормке при диагностике листьев

Таблица 4. Экономическая эффективность подкормок овощных культур по данным растительной и почвенной диагностики

Вариант	Урожай стандартной продукции, т/га	Всего затрат тыс. руб./га	Прибыль тыс. руб./га	Себестоимость продукции, тыс. руб./т	Рентабельность, %	Окупаемость 1 кг NPK продукцией, кг
Капуста белокочанная поздняя, гибрид Континент F ₁						
Без удобрений	49.9	224.9	274.2	4.51	121.9	–
N180P100K270	68.3	319.6	363.4	4.68	113.7	33.5
N90P50K135 (фон)	56.3	268.0	295.0	4.76	110.1	23.3
Фон + N75K57 (диагностика листьев)	60.1	290.2	310.8	4.83	107.1	25.1
Фон + N39 (диагностика почвы)	61.7	281.6	335.4	4.56	119.1	37.6
Морковь сорта Лосиноостровская 13						
Без удобрений	44.1	166.2	319.0	3.77	192.0	–
N90P60K180	52.3	218.0	357.3	4.17	163.8	24.8
N45P30K90 (фон)	53.1	199.4	384.7	3.76	192.9	54.5
Фон + N18K8 (диагностика листьев)	54.9	205.5	398.4	3.74	193.9	56.5
Фон + N8K38 (диагностика почвы)	56.9	210.2	415.7	3.69	197.8	60.7
Свекла столовая сорта Карина						
Без удобрений	42.3	163.5	175.0	3.86	107.0	–
N120P60K180	64.6	240.7	276.1	3.73	114.7	61.9
N60P30K90 (фон)	55.9	205.8	241.4	3.68	117.3	75.6
Фон + N52K25 (диагностика листьев)	59.3	220.8	253.6	3.72	114.9	66.1
Фон + N5K8 (диагностика почвы)	58.4	211.0	256.2	3.61	121.4	83.4

(N18K8) и почвы (N8K38), с учетом содержания питательных элементов в черешках листьев и почве. Применение подкормок растений моркови в фазе начала образования корнеплодов не существенно отразилось на биохимических показателях качества корнеплодов, содержание нитратов не превышало ПДК (250 мг/кг).

Свекла столовая относится к культурам, которые выдерживают высокие концентрации солей, свекла очень отзывчива на применение высоких доз удобрений [2, 3]. В варианте без удобрений (контроль) в годы опыта получен урожай корнеплодов от 50 до 54 т/га, что подтвердило высокое естественное плодородие исследованной почвы. При основном внесении расчетной дозы N120P60K180 под свеклу столовую (сорт Карина) урожайность корнеплодов увеличилась на 31%, с

52.0 до 67.9 т/га (табл. 3). Следует отметить, что биохимическое качество корнеплодов оказалось не высоким из-за снижения содержания сухого вещества, сахаров, бетаина и повышения количества нитратов вдвое в сравнении с контролем. Использование результатов почвенной (N5K8) и растительной (N52K25) диагностики питания при расчете доз подкормок позволило получить прибавку урожайности столовой свеклы на уровне 19–21% при высоком качестве продукции и существенном снижении содержания нитратов (до 45%) по сравнению с вариантом N120P60K180.

Расчет экономической эффективности выращивания капусты белокочанной поздней (табл. 4) выявил в целом преимущество основного внесения расчетной дозы минеральных удобрений. Наибольший урожай стандартной продукции

(68.3 т/га) и прибыль (363 тыс. руб./га) получены в варианте N180P100K270 с рентабельностью 113%. Подкормки капусты после диагностики почвы и листьев также экономически были выгодными: увеличилась окупаемость единицы удобрений продукцией, что позволило получить прибыль до 335 тыс. руб./га с рентабельностью до 119%.

Результаты расчета экономической эффективности выращивания моркови выявили значительные преимущества применения подкормок после диагностики почвы и листьев на фоне основного внесения 1/2 дозы NPK. В целом наибольший экономический эффект был получен при использовании 1/2 дозы NPK в основное внесение в сочетании с подкормкой растений по данным диагностики почвы в фазе начала образования корнеплода (прибавка урожая — 12.8 т/га, прибыль — 415 тыс. руб./га, рентабельность — 197%).

Расчет экономической эффективности выращивания свеклы столовой показал, что наибольшую прибыль (276 тыс. руб./га) с рентабельностью 114% обеспечило основное внесение расчетной дозы удобрений, что объясняется высокой прибавкой урожая стандартной продукции — 22.3 т/га. При внесении подкормок на фоне 1/2 дозы NPK прибавки урожая составили 16.1–17.0 т/га, прибыль достигла 253–256 тыс. руб./га, рентабельность — 114–121%.

ВЫВОДЫ

1. Для капусты белокочанной поздней агрономически более эффективными были расчетные дозы удобрений в основное внесение весной (30% прибавки урожая, 363 тыс. руб./га прибыли, 33.5 кг продукции на 1 кг д.в. удобрений). При использовании корневых подкормок растений на фоне 1/2 дозы NPK в фазе розетки листьев (1-я декада июля) по данным диагностики почвы и черешков листьев прибавка урожая составила 17–19%, прибыль — 310–335 тыс. руб./га, окупаемость удобрений продукцией — 25.1–37.6 кг/кг д.в. удобрений, а также выявлено снижение содержания нитратов в кочанах на 9–11%.

2. Для моркови внесение корневых подкормок в фазе начала образования корнеплода (1-я декада июля) при диагностике почвы и черешков листьев на фоне 1/2 дозы NPK обеспечивало прибавку урожая 23–24%, прибыль — 398–415 тыс. руб./га, окупаемость удобрений продукцией — 56.5–60.7 кг продукции/кг д.в. удобрений и имело преимущество над основным внесением расчетной дозы минеральных удобрений весной.

3. Для свеклы столовой более эффективным было основное внесение расчетной дозы удобрений (прибавка урожая — 31%, прибыль — 276 тыс. руб./га, окупаемость удобрений — 61.9 кг продукции/кг д.в.). Использование корневых подкормок после диагностики почвы и черешков листьев в фазе начала образования корнеплодов (1-я декада июля) повышало урожайность на 19–21%, прибыль — до 253–256 тыс. руб./га, окупаемость удобрений продукцией — до 66.1–83.4 кг/кг д.в., а также отмечено уменьшение содержания нитратов в продукции на 29–45%.

4. Для оптимизации питательного режима овощных культур и снижения уровня накопления нитратов в продукции, на аллювиальных луговых среднесуглинистых почвах, наряду с рекомендованными балансовыми методами расчета доз минеральных удобрений следует использовать данные почвенной и растительной диагностики в процессе вегетации растений для коррекции процесса минерального питания растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисов В.А.* Система удобрения овощных культур. М.: Росинформагротех, 2016. 392 с.
2. *Борисов В.А., Ваняев С.С., Егоров С.С., Ермаков Н.Ф.* Пойменное овощеводство. М.: Росагропромиздат, 1991. 223 с.
3. *Журбицкий З.И.* Физиологические и агрохимические основы применения удобрений. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 293 с.
4. *Литвинов С.С.* Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: РАСХН, 2011. 648 с.
5. *Магницкий К.П.* Контроль питания полевых и овощных культур. М.: Московский рабочий, 1964. 300 с.
6. Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводстве // Под ред. В.Ф. Белика. М.: Агропромиздат, 1992. 319 с.
7. *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, 475 с.
8. *Церлинг В.В.* Агрохимические основы диагностики минерального питания сельскохозяйственных культур. М.: Наука, 1978. 216 с.
9. *Церлинг В.В., Панков Ю.И., Ермохин Г.Г., Вендило Г.Г., Борисов В.А.* Методические указания по растительной диагностике минерального питания овощных культур в открытом грунте. М.: МСХ СССР, 1983. 58 с.

Effectiveness of Vegetable Fertilization Based on Soil and Plant Diagnostics

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

^aAll-Russian Vegetable Research Institute – a branch of Federal Research Center for Vegetable Growing
d. Vereya, bld. 500, Moscow Region, Ramen district 140153, Russia

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

As a result of laboratory and field studies in 2015–2020, the reaction of cabbage of white cabbage late, carrots and beets of the dining room to the introduction of fertilizing with mineral fertilizers based on the results of soil and plant diagnostics of nutrition was revealed. It is established that according to the analysis of soil and petioles of leaves, and the content of nutrients in the middle of the growing season, it is possible to significantly adjust the dose of root fertilizing of plants to improve the quality of products, which is very important in the context of the transition to environmentally friendly technologies for cultivating vegetable crops. The studies were carried out according to generally accepted methods on alluvial meadow medium loamy soils of the floodwater of the Moscow River (Ramensky district of Moscow region), which are typical for vegetable farms of the Moscow region. It was found that for late-ripening white cabbage hybrid Continent F_1 and table beet variety Karina more cost-effective is the main spring application of the calculated dose: yield increase of 30 and 31%, profit – 363 and 276 thousand rubles/ha, profitability of 113 and 114%, respectively. For carrots, it is possible to use 1/2 doze NPK in the main application and subsequent fertilizing of fertilizer in the phase of the beginning of the formation of root crops (1st decade of July) for soil analysis, which provides a 23% increase in yield, 415 thousand rubles/ha of profit, profitability of 197%. Root top dressing of plants on the background of the main application of 1/2 doze NPK with nitrogen-potassium fertilizers in the phase of the beginning of the formation of root crops/the formation of a head (1st decade of July) does not worsen the biochemical quality of vegetable products and provides a decrease in the content of nitrates. The best economic results are given by fertilizing in the vegetation on the basis of soil diagnostics.

Key words: white cabbage, carrots, beetroot canteen, yield, fertilization, leaf and soil diagnostics, quality, economic efficiency.

УДК 631.812:631.452:631.445.4:631.559:633.34

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ЛУГОВОЙ ЧЕРНОЗЕМОВИДНОЙ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ СОИ

© 2022 г. Е. Т. Наумченко^{1,*}, Е. В. Банецкая^{1,**}¹ Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт сои
675027 Благовещенск, Амурская обл., Игнатьевское шоссе, 19, Россия

*E-mail: net@vniisoi.ru

**E-mail: bev@vniisoi.ru

Поступила в редакцию 22.06.2021 г.

После доработки 22.07.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Изучено влияние длительного систематического применения удобрений на показатели плодородия луговой черноземовидной почвы и урожайность сои в севообороте в условиях южной зоны Амурской обл. в стационарном полевом опыте. Проанализировано агрохимическое состояние почвы и показатели урожайности сои за 1963–1967 (1-я ротация) и 2013–2017 гг. (11-я ротация). В результате сравнительной оценки изменения плодородия почвы выявлено, что длительное применение удобрений со среднегодовой нагрузкой на 1 га севооборотной площади N42P48 в 2.5–3.0 раза увеличивало содержание подвижного фосфора относительно исходного содержания за счет повышения в структуре фосфатного фонда доли рыхлосвязанных фосфатов и фосфатов алюминия. Замена части дозы удобрений аналогичным количеством навоза (N24P30 + навоз 4.8 т/га) способствовала переходу от гуматно-фульватного к гуматному типу гумусообразования, с доминированием в составе гумусовых кислот и повышением мобильности органического вещества почвы. Сильная связь между содержанием азота в растениях, численностью аммонификаторов, количеством лабильного гумуса и минерального азота в почве ($r = 0.83$) указала на то, что в период образования генеративных органов растений сои в почве проходило наиболее активное разложение подвижных гумусовых веществ с высвобождением элементов, участвующих в питании растений. Изменение уровня плодородия почвы было сопряжено с повышением зерновой продуктивности сои, которая в 11-й ротации составила 2.00–2.04 т/га, что на 0.42–0.54 т/га больше по сравнению с 1-й ротацией и на 0.13–0.22 т/га – со средними показателями за годы исследования.

Ключевые слова: луговая черноземовидная почва, плодородие, удобрения, соя (*Glycine max* (L.) Merr.), урожайность, длительное применение минеральных удобрений, микробоценоз.

DOI: 10.31857/S0002188121120085

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение и увеличение почвенного плодородия – один из путей повышения урожайности возделываемых культур. В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства увеличивается антропогенное воздействие на почву: повышается интенсивность обмена почвы со средой, в результате чего изменяется ее биологическое состояние и соотношение между компонентами [1]. В этом плане основные агрохимические показатели – содержание гумуса, реакция среды и содержание подвижных соединений фосфора и калия – однозначно могут служить основной оценкой устойчивости агроэкосистемы к внешним воздействиям [2–4]. Формирование урожая культур происходит за счет использования поч-

венных ресурсов элементов питания как природных, так и накопленных в результате внесения удобрений. В связи с этим одним из основных средств, обеспечивающих высокую продуктивность сельскохозяйственных культур, является применение удобрений, на долю которых приходится 30–50% дополнительного урожая [5, 6]. В результате исследований влияния удобрений на плодородие почвы доказано, что изменение ее показателей зависит как от различий в свойствах самих почв, так и от химической нагрузки, обусловленной видом, дозой, а главное – длительностью внесения удобрений [7].

Активно функционирующий микробный ценоз является одним из главных показателей плодородия почвы. Микроорганизмы трансформи-

руют растительные остатки, участвуют в формировании структуры почвы, образовании гумуса и его минерализации [8]. Почвенная микрофлора не только активно участвует в формировании плодородия, но и является индикатором изменений, происходящих в почвенной среде. В зависимости от вида растительных остатков, вовлекаемых в почвообразовательный процесс, изменяется качество гумуса, от которого зависят физико-химические свойства почвы [9, 10]. Длительное систематическое использование даже сравнительно невысоких доз удобрений может стимулировать или угнетать почвенную биоту, влиять на ее видовое разнообразие и тем самым повышать или снижать запасы гумуса в пахотном слое.

Объективно и всесторонне изучить влияние удобрений на воспроизводство плодородия и повышение продуктивности почвы можно лишь в длительных опытах с удобрениями при сравнительной оценке различной их нагрузки на почву. В связи с этим результаты более полувекового (55 лет) мониторинга плодородия почвы в стационарном 5-польном севообороте с применением минеральных и органических удобрений имеют важное значение как для изучения изменения условий повышения плодородия почвы, так и для разработки механизма оптимизации питательных элементов с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Цель работы – изучение влияния длительного систематического применения удобрений на показатели плодородия луговой черноземовидной почвы и урожайность сои.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В стационарном 5-польном севообороте (соево-овсяная смесь – соя – пшеница – соя – пшеница) в течение 11-ти ротаций проводили изучение влияния длительного применения минеральных и органических удобрений со среднегодовой нагрузкой на 1 га севооборотной площади N24P30, N42P48 и N24P30 + навоз 4.8 т на изменение показателей плодородия и продуктивность севооборота. Дозы удобрений сравнивали как между собой, так и с вариантами опыта, где вносили только азот в дозе N24 и без внесения удобрений (контроль). Из минеральных удобрений применяли P_{сд} и N_{аа}, из органических – полупрепревший навоз крупного рогатого скота. Опыт имеет 3 закладки со сдвигом во времени и трехкратную повторность в пространстве. Варианты опыта размещали систематически в трехкратной повторности, общая площадь делянки – 180, учетная – 72 м². Почва опытного участка – луго-

вая черноземовидная маломощная в комплексе со среднемошной (Классификация почв СССР, 1977). В почвенных образцах, отобранных с глубины пахотного слоя в конце ротации севооборота, определяли гумус по методу Тюрина в модификации Пономаревой–Плотниковой, его активные компоненты – по методике ВНИИА, подвижный фосфор – методом Кирсанова, обменную кислотность – потенциметрическим методом, гидролитическую – по Каппену в модификации ЦИНАО. Для характеристики микробиологической активности определяли численность протеолитической и амилитической микрофлоры методом посева почвенной суспензии на твердые питательные среды: мясо-пептонный агар (МПА) и крахмало-аммиачный агар (КАА) соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В конце 11-й ротации установлено, что применение повышенной дозы минеральных удобрений (N42P48) увеличило гидролитическую кислотность почвы на 0.88 мг-экв/100 г почвы, обменную – на 0.2 ед. рН по сравнению с исходным показателем, тогда как при замене эквивалентной части дозы навозом (N24P30 + навоз 4.8 т/га) отмечали снижение гидролитической кислотности на 0.5 мг-экв/100 г почвы, обменной – на 0.2 ед. рН (табл. 1). Содержание подвижного фосфора увеличилось относительно исходного на 17–56 мг/кг почвы за счет увеличения в структуре фосфатного фонда доли рыхлосвязанных фосфатов на 0.7–2.5 и фосфатов алюминия – на 4.8–6.5%. Применение минеральных удобрений совместно с навозом увеличило содержание гумуса относительно исходного на 0.34%.

Одним из наиболее важных, информативных параметров действия различных антропогенных факторов на плодородие является комплекс показателей гумусового состояния почвы. Длительное применение повышенных доз минеральных удобрений и замена части их навозом способствовало переходу от гуматно-фульватного к гуматному типу гумусообразования (соотношение ГК : ФК составило соответственно 1.80 и 1.53), с доминированием в составе гумусовых кислот (ГК) – наиболее агрономически ценной фракции, связанной с кальцием. Группа фульвокислот (ФК) представлена в основном 2-й фракцией (связанной с СаО), относительное содержание которой менялось от 30 до 45% от суммы всех фракций ФК. Повышенное содержание (на 1.2% больше относительно других вариантов) “агрессивной” фракции ФК (1а по Тюрину) при использовании N42P48

Таблица 1. Сравнительная оценка влияния длительного внесения удобрений на изменение агрохимических свойств пахотного слоя почвы

Вариант	pH _{KCl}	H_T	$\Sigma Ca^{2+} + Mg^{2+}$	P_2O_5	Гумус, %
		мг-экв на 100 г почвы		мг/кг почвы	
Контроль (без удобрений)	5.0	4.42	22.5	20	4.20
	5.0	4.44	22.4	28	4.19
N24	5.2	4.30	22.3	22	4.23
	5.0	4.62	21.9	22	4.08
N24P30	5.0	4.40	22.0	25	4.29
	5.0	4.70	22.0	42	4.19
N42P48	5.1	4.41	22.7	29	4.25
	4.9	5.29	21.5	74	4.16
N24P30 + навоз 4.8 т/га	5.0	4.40	22.4	28	4.21
	5.2	3.90	22.5	84	4.55

Примечание. Над чертой – конец 2-й ротации севооборота, под чертой – конец 11-й ротации.

отчасти объясняет увеличение кислотности почвы при высокой ее насыщенности Ca^{+2} и Mg^{+2} .

Анализ показателей подвижности (лабильности) гумуса проводили по изменению содержания гумусовых кислот, прочно связанных с минеральной частью почвы. Из фракционного состава гумуса эту группу кислот выделяют в качестве самостоятельного компонента и идентифицируют как фракцию ГК-1 [11]. Выявлено, что повышенные соотношения фракции подвижных гумусовых кислот к сумме фракций, связанных с кальцием и полуторными оксидами, с 0.50 в контроле до 0.62 в варианте с совместным внесением минеральных и органических удобрений может указывать на рост подвижности органического вещества почвы в длительном опыте. Важная роль в этом процессе отводится бактериям азотного обмена, для которых лабильные гумусовые вещества служат энергетическим материалом.

В наших исследованиях было установлено, что применение удобрений со среднегодовой нагрузкой P30 и N24P30 повышало количество бактерий-аммонификаторов на 2.1 и 3.2 млн КОЕ соответственно относительно контроля при $HCP_{05} = 1.6$ (рис. 1). Считается, что эта группа микроорганизмов легко разлагает лабильные компоненты органического вещества почвы [12]. Корреляционный анализ выявил тесную обратную связь численности аммонифицирующих микроорганизмов с количеством подвижных фракций гумусовых веществ в фазе цветения сои ($r = -0.92$, $d_{yx} = 0.85$). Это позволило сделать предварительный вывод о том, что в этот период вегетации наиболее интенсивно проходило разложение лабильного гумуса, содержание которого в последу-

ющих фазах снизилось в 3.5 раза в контроле и на 20–62% в вариантах с применением удобрений.

Корреляционно-регрессионный анализ выявил тесную связь между содержанием азота в растениях, численностью аммонификаторов, количеством лабильного гумуса и минерального азота в почве (табл. 2). С вероятностью 69% можно утверждать, что в период образования генеративных органов у растений сои питание происходило за счет элементов, образовавшихся в результате разложения лабильного гумуса. Подтверждением этого также может служить установленная тесная взаимосвязь содержания лабильного гумуса с величиной урожайности семян сои, коэффициент парной корреляции (r) составил 0.89 при $r_{крит} = 0.88$.

Плодородие почвы является материальной основой урожая, который, в свою очередь, следует оценивать как комплексный продукт связанных между собой физических, химических и биологических свойств почвенной системы. Результаты

Таблица 2. Множественная регрессия содержания азота в растениях в период цветения–образования бобов сои (2020 г.)

Уравнение регрессии: $N_{раст} = 2.81 - 0.02x_1 + 0.44x_2 + 0.02x_3$	
$N = 10, R = 0.83, R^2 = 0.69$	β коэффициент
x_1 – $N_{мин}$ в почве, мг/кг почвы	–0.30
x_2 – лабильный гумус, %	0.69*
x_3 – аммонификаторы, млн КОЕ/г почвы	0.29

*Статистически значимые переменные по величине p -уровней и t -коэффициента Стьюдента.

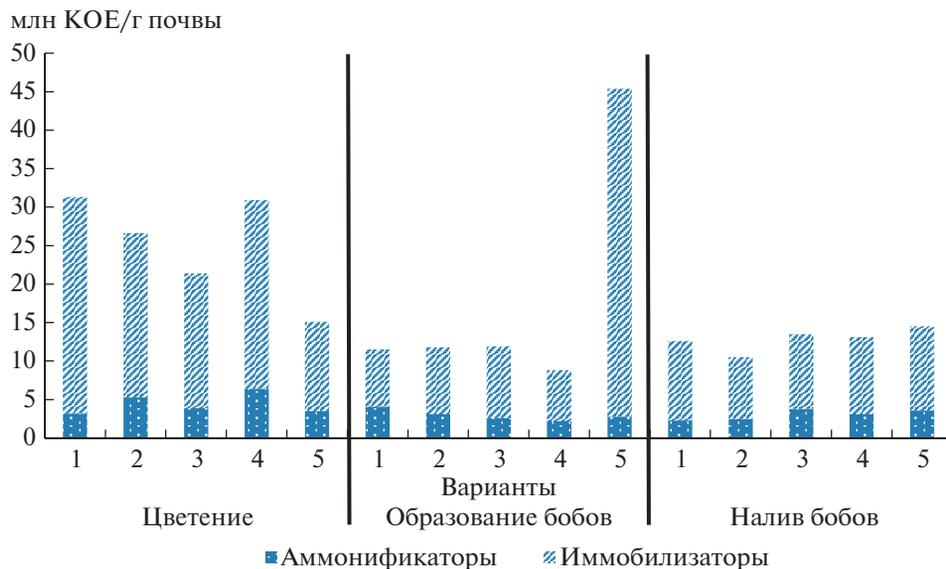


Рис. 1. Динамика численности бактерий азотного обмена в зависимости от среднегодовой нагрузки удобрениями (2020 г.), млн КОЕ/г почвы. Варианты: 1 – без удобрений, 2 – P30, 3 – N24P30, 4 – N42P48, 5 – N24P30 + навоз 4.8 т/га.

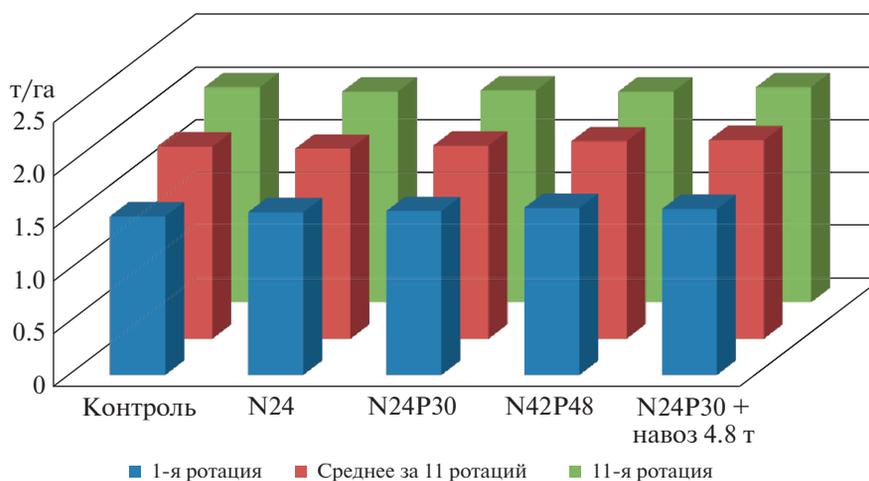


Рис. 2. Влияние длительного внесения удобрений на урожайность сои (средние 2-х полей), т/га.

исследования в краткосрочных полевых опытах, в которых изучали эффективность применения фосфорных и азотно-фосфорных удобрений под сою в Амурской обл., показали, что в 60–66% случаев эффект отсутствовал [13]. Длительный полевой опыт с удобрениями имеет преимущество перед краткосрочными опытами, т.к. позволяет объединить результаты наблюдений в течение длительного времени и оценить их в пространстве, учитывая все факторы жизни растений. Урожайность сои в 1-й ротации длительного севооборота (1963–1967 гг.) изменялась от 1.50 в контроле до 1.57–1.58 т/га в вариантах, где за ро-

тацию была внесена повышенная доза азотно-фосфорных удобрений (рис. 2).

При прохождении первых 6-ти ротаций наиболее эффективно было внесение фосфорных удобрений (P60), прибавка относительно контроля составляла 0.23 т/га [14]. По истечении 8-ми ротаций, когда содержание подвижных форм фосфора в почве увеличилось соответственно нагрузке удобрениями, наблюдали стабильно повышенную урожайность сои, которая в большей степени зависела от гидротермических условий вегетационного периода, чем от внесения удобрений [15]. Процесс формирования урожая сои за 10 ротаций севооборота при урожайности >2.00 т/га

показал, что существует его тесная зависимость ($r = 0.71$) от гидротермических условий в период развития генеративных органов (отношение суммы выпавших осадков в июле и августе к сумме температур за этот же период) [16]. Влияние агроэкологических условий южной зоны Амурской обл. обеспечило среднюю (за 55 лет) зерновую продуктивность растений сои в контрольном варианте опыта 1.82 т/га.

В 11-й ротации при сложившемся уровне плодородия и относительно благоприятных гидротермических условиях 2013–2017 гг. урожайность культуры в опыте составила 2.00–2.04 т/га, что было на 0.42–0.54 т/га больше по сравнению с 1-й ротацией и на 0.13–0.22 т/га – со средними показателями за 11 ротаций севооборота.

ВЫВОДЫ

1. Длительное применение повышенных доз минеральных удобрений увеличивало содержание подвижного фосфора на 17–56 мг/кг почвы относительно исходного уровня за счет повышения доли рыхлосвязанных фосфатов и фосфатов алюминия в структуре фосфатного фонда.

2. Замена части дозы минеральных удобрений таким же количеством д.в. навоза способствовала переходу от гуматно-фульватного к гуматному типу гумусообразования с доминированием в составе гумусовых кислот наиболее агрономически ценной фракции, связанной с кальцием. Соотношение фракции подвижных гумусовых кислот к сумме остальных фракций увеличилось с 0.50 в контроле до 0.62 в варианте с внесением органоминеральных удобрений, что указывало на повышение мобильности органического вещества почвы. Обратная корреляционная связь численности бактерий-аммонификаторов с содержанием подвижных фракций гумусовых веществ ($r = -0.92$, $d_{yx} = 0.85$) свидетельствовала об интенсивном их разложении с высвобождением элементов питания растений.

3. Изменение уровня плодородия почвы было сопряжено с повышением зерновой продуктивности сои, которая в 11-й ротации составила 2.00–2.04 т/га, что на 0.42–0.54 т/га больше по сравнению с 1-й ротацией и на 0.13–0.22 т/га – со средними за годы исследования показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масютенко Н.П. Устойчивость органического вещества черноземов к антропогенным воздействиям // Сб. докл. Международ. научн.-практ. конф. Модели и технологии оптимизации земледелия. Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2003. С. 505–508.

2. Тумова В.И. Подходы к выбору показателей и опыт оценки способности почвенного покрова к выполнению общебиосферных функций (аналитический обзор) // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 67. № 6. С. 4–16.

3. Шаповалова Н.Н. Динамика показателей плодородия и продуктивность чернозема обыкновенного в последствии длительного применения минеральных удобрений в условиях Центрального Предкавказья // Изв. Оренбург. ГАУ. 2019. № 3 (77). С. 8–12.

4. Nazia R., Liang F., Huang S., Wang B., Xu V., Li J., Gao H., Zhang W. Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China // J. Animal Plant Sci. 2019. V. 29. Iss. 5. P. 1383–1389.

5. Корченкина Н.А., Дабахова Е.В., Тумова В.И. Фосфатное состояние светло-серой лесной почвы при внесении возрастающих доз барды послеспиртовой // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 2 (57). С. 35–40.

6. Liu L.-Y., Hua W., Zhang S.-Y., Peng Q.-C., Dai J., Han X.-R. Nitrogen up take of soybean and soil nitrate nitrogen under long-term rotation and different fertilization in a brown soil of northeast China // J. Plant Nutr. Fertil. 2020. V. 26. Iss. 1. P. 10–18.

7. Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Длительный стационарный опыт в степном Поволжье: результаты исследований в восьмой ротации зернопарового севооборота // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 гг.: Мат-лы Всерос. коорд. совещ. научн. учрежд. – участников Географической сети опытов с удобрениями / Под ред. Сычева В.Г. М.: ВНИИА, 2018. С. 420–429.

8. Чевердин Ю.И., Гармашова Л.В. Развитие микроорганизмов, связанных с циклом азота в сезонно переувлажненных почвах // Вестн. Курск. ГСХА. 2018. № 6. С. 24–28.

9. Шаповалова Н.Н., Менькина Е.А. Агрохимическое состояние и биологическая активность почвы в последствии длительного применения минеральных удобрений // Изв. Оренбург. ГАУ. 2018. № 5 (37). С. 43–46.

10. Zhang J., Chi F., Wei D., Zhou B., Cai S., Li Y., Kuang E., Sun L., Li L.-J. Impacts of long-term fertilization on the molecular structure of humic acid and organic carbon content in soil aggregates in black soil // Sci. Rep. V. 9. Iss. 1. Art. 11908.

11. Назарова А.В., Попова Е.А. Лабильные формы гумусовых веществ в гумусовых профилях пахотных и залежных дерново-подзолистых суглинистых почв // Изв. СПб. ГАУ. 2015. № 39. С. 101–104.

12. Завьялова Н.Е., Широких И.Г., Ямалтдинова В.Р. Микробиологическое состояние дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении органических и минеральных удобрений // Теор. и прикл. экол. 2020. № 1. С. 151–159.

13. Прокопчук В.Ф., Ковшик И.Г., Наумченко Е.Т. Повышение эффективности минеральных удобрений под сою в Амурской области // Резервы повышения продуктивности сои: Сб. науч. тр. ВАСХНИЛ, СО, ВНИИ сои. Новосибирск, 1990. С. 140–144.

14. *Степкина Р.Н.* Эффективность систематического применения удобрений в севообороте на луговых черноземовидных почвах Приамурья. Благовещенск: ДальГАУ, 2001. 274 с.
15. *Наумченко Е.Т., Ковшик И.Г., Кондратова А.В.* Результаты длительного применения системы удобрений под сою в стационарном соево-зерновом севообороте // Итоги исследований по сое за годы реформирования и направления НИР на 2005–2010 гг.: Сб. ст. коорд. Совещ. ВНИИМК. Краснодар, 2004. С. 164–169.
16. *Наумченко Е.Т., Малашонок А.А.* Агрэкологические условия формирования урожайности сои в севообороте // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2016. № 6. С. 27–29.

Influence of Long-Term Anthropogenic Loading on Fertility of Meadow Chernozem-Like Soil and Yield of Soybean

E. T. Naumchenko^{a,#} and E. V. Banetskaya^{a,##}

^a Federal Scientific Center, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean
Ignatevskoye shosse 19, Amur region, Blagoveshchensk 675027, Russia

[#]E-mail: net@vniisoi.ru

^{##}E-mail: bev@vniisoi.ru

The influence of long-term systematic application of fertilizers on the indicators of the fertility of meadow chernozem soil and the yield of soybeans in the crop rotation in the conditions of the southern zone of the Amur region in a stationary field experiment was studied. The agrochemical state of the soil and indicators of soybean yield for 1963–1967 (1st rotation) and 2013–2017 (11th rotation) were analyzed. As a result of a comparative assessment of changes in soil fertility, it was revealed that the long-term use of fertilizers with an average annual load per 1 ha of crop rotation area N42P48 increased the content of mobile phosphorus by 2.5–3.0 times relative to the initial content due to an increase in the share of loosely bound phosphates and aluminum phosphates in the structure of the phosphate fund. The replacement of a part of the fertilizer dose with a similar amount of manure (N24P30 + manure 4.8 t/ha) contributed to the transition from humate-fulvate to humate type of humus formation, with the dominance of humic acids in the composition and increased mobility of soil organic matter. A strong relationship between the nitrogen content in plants, the number of ammonifiers, the amount of labile humus and mineral nitrogen in the soil ($r = 0.83$) indicated that during the formation of the generative organs of soybean plants, the most active decomposition of mobile humus substances took place in the soil with the release of elements involved in plant nutrition. The change in the level of soil fertility was associated with an increase in the grain productivity of soybeans, which in the 11th rotation was 2.00–2.04 t/ha, which is 0.42–0.54 t/ha more than in the 1st rotation and 0.13–0.22 t/ha – with the average indicators for the years of the study.

Key words: meadow chernozem soil, fertility, fertilizers, soy (*Glycine max* L. Merr.), yield, long-term use of mineral fertilizers, microbocenosis.

УДК 635.21:632.4:632.952

ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ ФЛУДИОКСАНИЛА КАК СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ КАРТОФЕЛЯ ОТ БОЛЕЗНЕЙ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ¹

© 2022 г. А. А. Малюга^{1,*}, Н. С. Чуликова¹, М. М. Ильин², С. С. Халиков^{2,**}

¹Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства СФНЦА РАН
630501 р.п. Краснообск, Новосибирский р-н, Новосибирская обл., Россия

²Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН
119991 Москва, ул. Вавилова, 28, Россия

*E-mail: anna_malyuga@mail.ru

**E-mail: salavatkhalikov@mail.ru

Поступила в редакцию 21.09.2021 г.

После доработки 17.10.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

С целью создания экологически безопасных протравителей для комплексной защиты картофеля от возбудителей сухих фомозно-фузариозных гнилей при хранении и ризоктониоза разработаны экспериментальные составы препаратов на основе механохимически модифицированного флудиоксона с растительными метаболитами (арабиногалактан и глицирризиновая кислота), а также суспензионных препаратов с включением в их состав тебуконазола, тирама и карбендазима без использования традиционных формообразующих компонентов. Испытание этих препаратов показало их высокую эффективность против гнилей хранения, а в полевых условиях они снижали развитие ризоктониоза на стеблях картофеля и оказывали влияние на показатели продуктивности растений, повышали урожайность культуры и качество нового урожая. Показано, что предложенные препараты обладали высокой биологической эффективностью при сниженных нормах расхода действующих веществ, что способствовало получению экологически безопасной продукции.

Ключевые слова: флудиоксанил, тебуконазол, карбендазим, тирам, растительные метаболиты, механохимия, растворимость, фунгицидные суспензии, протравитель, картофель, биологическая эффективность, продуктивность.

DOI: 10.31857/S0002188122020119

ВВЕДЕНИЕ

В результате разрушения крупных коллективных хозяйств и “фермеризации” сельского хозяйства произошло резкое ухудшение фитосанитарного состояния агроценозов картофеля. Один из основных приемов, способных эффективно контролировать фитосанитарное состояние посадок картофеля, — предпосадочная обработка клубней протравителями. В значительной степени получению высоких урожаев культуры препятствует широкое распространение болезней. Потери продукции при производстве картофеля от комплекса заболеваний в Западной Сибири могут достигать 45–80% [1].

Протравливание клубней помогает в борьбе с различными заболеваниями картофеля, например, с различными видами парши (ризоктониозом, серебристой), а также сухими фомозно-фузариозны-

ми и раневой водянистой гнилями, антракнозом, альтернариозом. Ассортимент протравителей, рекомендованных для применения на картофеле, включает однокомпонентные и двухкомпонентные препараты фунгицидного действия, а также комбинированные инсекто-фунгицидные средства защиты растений. Фунгициды, воздействуя на важные биохимические процессы в клетках возбудителей заболеваний, снижают запас инфекционного начала на клубнях, защищая растения картофеля от момента прорастания, а также в течение вегетации, что также предохраняет поражение болезнями клубней нового урожая [2].

Экологичность данного приема обеспечивается тем, что гектарная норма действующего вещества (д.в.) протравителей небольшая, быстро разлагается в почве и отсутствует в элементах урожая, это дает максимальный эффект при минимальном отрицательном влиянии на агроценоз [3]. Метод протравливания клубней картофеля нашел широкое применение еще и в связи с его высокой эффек-

¹ Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Таблица 1. Схема опыта с протравливанием клубней фунгицидами-протравителями

Вариант	Действующее вещество (д.в.) и его содержание в препарате	Норма расхода по препарату на 1 т клубней картофеля
Контроль без обработки	—	—
Стандарт Максим, КС (25 г/л)	Флудиоксонил 2.5% д.в.	200 мл – для осеннего протравливания, 400 мл – для весеннего протравливания
Стандарт ТМТД, ВСК (400 г/л)	Тирам 40% д.в.	4000 мл
Аналог Максима, КС (25 г/л) (препарат 1)	Флудиоксонил 2.5% д.в.	200 мл
Композиция ФДС : АГ = 1 : 9 (препарат 2)	Флудиоксонил 10% д.в.	1 г
Композиция ФДС : Na ₂ ГК = 1 : 9 (препарат 3)	Флудиоксонил 10% д.в.	1 г
Аналог СК-210 (препарат 4)	Флудиоксонил 2.5% д.в., Тебуконазол 1.25% д.в., Тирам 20% д.в.	200 мл
Аналог СК-211 (препарат 5)	Флудиоксонил 2.5% д.в., Тебуконазол 1.25% д.в., Тирам 20% д.в., Карбендазим 5% д.в.	200 мл
СК-210 (препарат 6)	Тебуконазол 1.25% д.в., Тирам 20% д.в.	560 мл
СК-211 (препарат 7)	Тебуконазол 1.25% д.в., Тирам 20% д.в., Карбендазим 5% д.в.	580 мл

Примечание. Обозначение препаратов то же в табл. 3, 4.

тивностью. Например, в работе [4] приведены результаты многофакторного опыта с использованием таких протравителей как Максим, Престиж и ТМТД, и показано влияние протравливания посадочного материала на величину и качество урожая картофеля.

Цель работы – разработка экологически безопасных препаратов как в виде твердых дисперсий (ТД), образующих соответствующие супрамолекулярные комплексы, а также суспензионных препаратов на основе флудиоксанила, тебуконазола, карбендазима и тирама без применения традиционных формообразующих компонентов, а также изучение их биологической эффективности в период хранения клубней против сухих фомозно-фузариозных гнилей, во время вегетации растений в отношении ризоктониоза картофеля и их влияние на показатели продуктивности и урожайность культуры. Экологическая безопасность предлагаемых препаратов была обусловлена тем, что при их создании использованы такие растительные метаболиты как арабиногалактан (АГ) и глицирризиновая кислота (ГК), обладающие гепатопротекторными, мембранотропными и иммуностимулирующими свойствами и широким спектром лечебного действия [5, 6].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве фунгицидов были выбраны: флудиоксанил (ФДС), д.в. которого 4-(2,2-дифтор-1,3-бензодиоксол-4-ил)-пиррол-3-карбоновой кислоты. Бесцветные кристаллы. Растворимость (25°C) в воде – 1.8 мг/л [7]; тебуконазол (ТБК), д.в. которого (RS)-1p-хлорфенил-4,4-диметил-3-(1H-1,2,4-триазол-1-ил-метил)пентан-3-ил. Бесцветные кристаллы. Растворимость (25°C) в воде – 32.0 мг/л [8]; тирам (ТМТД), д.в. которого бис(диметилтиокарбамил)дисульфид. Кристаллическое вещество белого или кремового (желтовато-серого) цвета. Растворимость (25°C) в воде – 16.5 мг/л [8]; карбендазим (БМК), д.в. которого N-(бензидазол-2)-О-метилкарбамат. Кристаллическое вещество от серого или голубого до темно-коричневого цвета. Растворимость (25°C) в воде – 8.0 мг/л [9].

В качестве полимеров для механохимической модификации ФДС были выбраны следующие растительные метаболиты: арабиногалактан (АГ) из лиственницы сибирской *Larix sibirica* (ТУ 9363-021-39094141-08, серия 02042013); динатриевая соль глицирризиновой кислоты (Na₂ГК) от Shaanxi Pioneer Biotech Co., Ltd, КНР; натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) марки SEKOL 700 от компании CP Kelco, Финляндия.

Для получения ТД флудиоксанила с АГ и Na₂ГК (препараты 2 и 3) была применена техно-

Таблица 2. Растворимость образцов препаратов на основе флудиоксанила (ФДС)

Название образца, содержание НЗ	Растворимость	
	абсолютная, мг/л	увеличение
ФДС (исходная субстанция, 99.0%)	35.0	–
ТД состава ФДС : АГ = 1 : 9 (9.9%) (после 3 ч механообработки) (9.9%)	138	4.0
ТД состава ФДС : Na ₂ GA = 1 : 9 (9.9%) (после 3 ч механообработки) (9.9%)	267	7.7

логия совместной механообработки компонентов при массовом соотношении 1 : 9 в металлическом барабане измельчителя LE-101 с регулируемым энергонапряжением в условиях, описанных ранее [10].

Получение ТД состава ФДС : АГ = 1 : 9 проводили в металлическом барабане на 800 см³, установленном на валках мельницы LE-101 (Hungary). В барабан были загружены после предварительного перемешивания 10 г ФДС, 90 г АГ и 32 металлических шара (диаметр 25 мм, масса 54 г) и проводили механообработку в течение 3 ч при модуле процесса 1 : 17, скорости вращения валков 60 об./мин и загрузке барабана 55%. Продукт механообработки в виде ТД состава ФДС : АГ = 1 : 9 был выгружен в виде сыпучего бежевого порошка (96 г) и представлял собой препарат 2 (табл. 1).

Аналогичным способом было получено 97 г бежевого порошка ТД состава ФДС : Na₂GA = 1 : 9 из 10 г ФДС и 90 г Na₂GA. Полученный продукт представлял собой препарат 3.

Препарат 1 – аналог препарата Максим, КС (25 г/л) готовили в виде суспензионного концентрата по ранее описанной методике [11] с некоторыми изменениями, а именно, в капролоновый барабан (емкостью 0.3 л) валковой мельницы LE-101 загружали последовательно 34.75 г 1%-го водного раствора полимера (Na-КМЦ), 4.0 г неионогенного ПАВ (Твин 60) и 350 г металлических шаров (25 шаров с диаметром 12–15 мм) для проведения эффективного измельчения компонентов, их равномерного перемешивания и образования стабильной суспензии. Затем в смесь добавляли 10.0 г пропиленгликоля (ПГ). В полученную массу при перемешивании добавили 1.25 г ФДС и подвергали обработке в течение 2 ч при скорости вращения валков 60 об./мин. Выгрузили 42 г (выход 85%) суспензионного концентрата аналога препарата Максим, КС (25 г/л).

Растворимость ТД на основе ФДС определяли методом ВЭЖХ при следующих условиях: хроматограф жидкостной Agilent 1100 с аналитической колонкой Hypersil HypURITY Elite C18 (150 × 4.6 мм, 5 мкм), температура колонки 30°C, детектор – диодно-матричный, элюент – ацетонитрил-ацетатный буфер pH 3.4 (1 : 1), скорость потока – 1 мл/мин, детектирование на длине волны 270 нм.

Суспензионные формы препаратов на основе ФДС с добавлением ТБК, ТМТД и БМК (препараты 4–7) готовили аналогично по ранее описанной методике [11]. Составы полученных ТД и СК представлены в табл. 1.

Эффективность вновь полученных препаратов сравнивали с эффективностью ранее полученных суспензионных препаратов 6 и 7, а также стандартов ТМТД и препарата Максим. Составы препаратов 1, 4–7 представлены в табл. 1.

Биологические испытания проведены в 2018–2019 гг., методика проведения биологических исследований описана ранее [10]. Полевые эксперименты проводили в соответствии с общепринятыми методиками [12].

В качестве химического контроля были выбраны фунгициды Максим, КС (25 г/л), и ТМТД, ВСК (400 г/л) в соответствии со Списком пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ [13]. Схема опыта по применению препаратов в период хранения и весной перед посадкой представлена в табл. 1.

В экспериментах изучали распространенность сухих гнилей в зимний период при обработке клубней протравителями перед закладкой на хранение [14]; особенности формирования фитосанитарной ситуации в посадках картофеля в отношении ризоктониоза при обработке клубней протравителями перед посадкой культуры [15], а также оценивали продуктивность растений картофеля под действием разработанных протравителей [14].

В связи с поставленными целью и задачами исследований объектами изучения были выбраны картофель (*Solanum tuberosum* L.), ризоктониоз картофеля (*Rhizoctonia solani* Kùch.), сухие гнили при хранении (*Fusarium* spp. и *Phoma exigua* sp.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Хроматограммы ВЭЖХ анализа исходного ФДС и его ТД представлены на рис. 1. Расчетные данные растворимости полученных ТД подтвердили значительное увеличение растворимости, и они представлены в табл. 2.

Показано, что растворимость ФДС увеличилась в 4–8 раз по сравнению с исходным ФДС. Такое увеличение растворимости объясняется

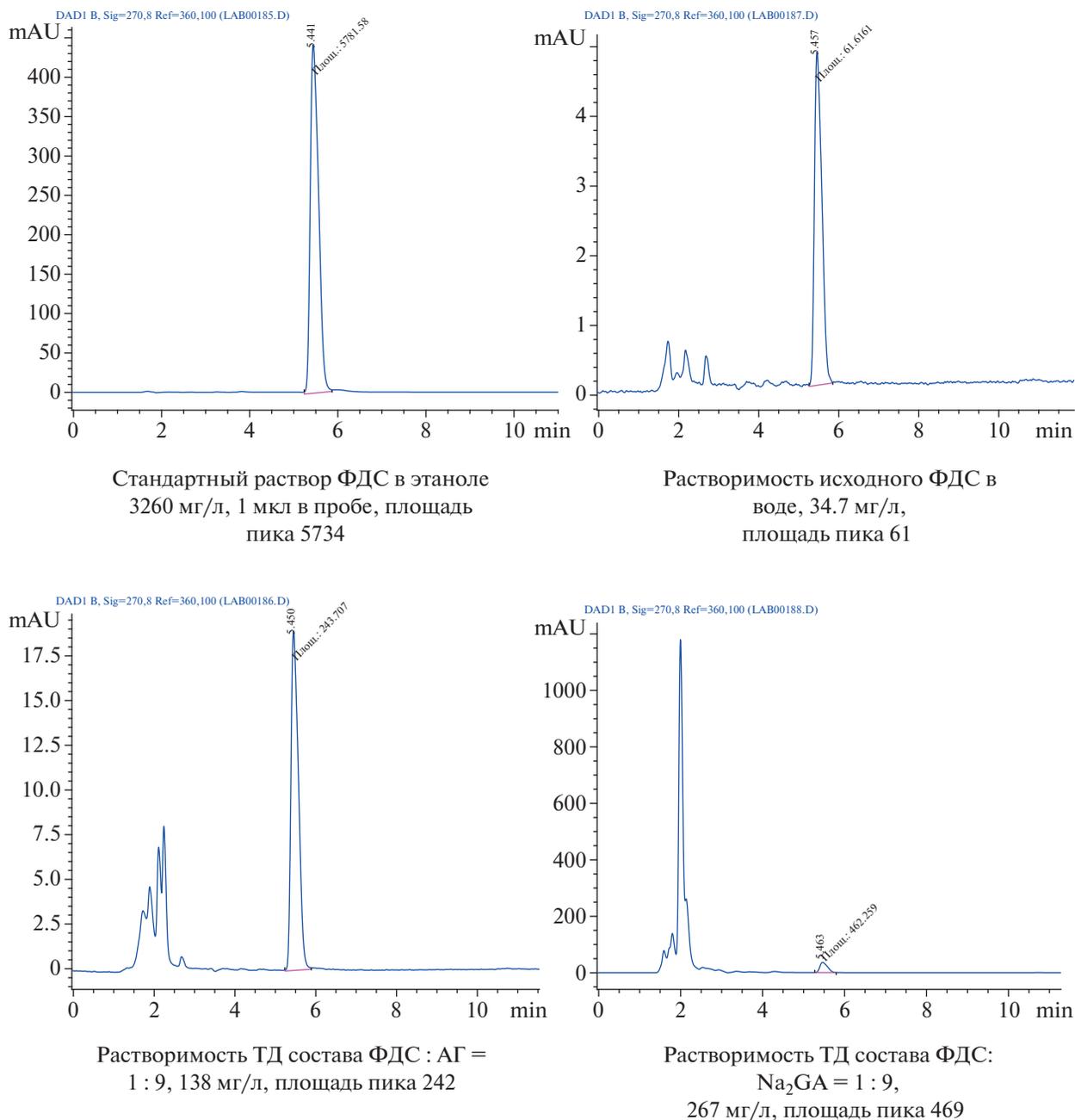


Рис. 1. Хроматограммы ФДС и его ТД с растительными метаболитами (АГ и Na₂ГК).

образованием соответствующих супрамолекулярных комплексов при растворении ТД в воде [16], и этот фактор ожидаемо должен был сказаться и на увеличении биологической эффективности этих ТД, т.к. включенные в состав препаратов растительные метаболиты (АГ и Na₂ГК), в связи с близостью своих структур к строению растительных мембран, облегчали проникновение ФДС в растительные объекты [17]. Аналогично, суспензионные препараты, являясь нанодиспергированными системами и обладая повышенной био-

доступностью, должны проявлять высокую биологическую активность [18]. Проведенные в дальнейшем биологические испытания этих препаратов подтвердили высказанные предположения.

Исследование биологической эффективности инновационных препаратов показало, что более всего оздоравливал хранящийся картофель препарат 1, где фузариозных и фомозных гнилей практически не было (в 283 раза меньше, чем в контроле). Препараты 3 и 5 снизили количество гнилей хранения в 42.4 раза в сравнении с кон-

Таблица 3. Влияние механомодифицированных протравителей на сухие фомозно-фузариозные гнили при хранении

Вариант	Весовая доля больных клубней	Биологическая эффективность
	%	
Контроль без обработки	84.8	–
Максим (стандарт – флудиоксонил)	5.3	93.7
ТМТД (стандарт – тирам)	7.9	90.7
Препарат 1	0.3	99.6
Препарат 2	3.7	95.6
Препарат 3	2.0	97.6
Препарат 4	4.3	94.9
Препарат 5	2.0	97.6
Препарат 6	4.0	95.3
Препарат 7	5.0	94.1

трольным вариантом. Препараты 2, 4, 6 и 7 уменьшили весовую долю больных гнилями клубней в 17.0–22.9 раза. У коммерческих препаратов данный показатель составил 10.7–16.0 раз (табл. 3). Биологическая эффективность инновационных препаратов варьировала от 94.1 до 99.6, у стандартов она составила 90.7–93.7%.

Исследования показали, что разработанные препараты также были эффективны и против возбудителя ризоктониоза картофеля (рис. 2). В сравнении с контролем все экспериментальные

препараты достоверно снижали развитие болезни в период всходов от 1.5 до 11.0 раза. К фазе бутонизации–начала цветения положительный эффект сохранился только в вариантах с препаратами 1 и 2. В этих случаях существенное снижение заболеваемости составило 1.3 раза. Химические стандарты в период всходов и бутонизации–начала цветения картофеля снижали развитие ризоктониоза по сравнению с контролем соответственно в 11.0 и 1.1 раза (ТМТД) и в 15.6 и 1.2 раза (препарат Максим) соответственно. Препарат Максим достоверно снижал развитие болезни в обеих фазах развития культуры, ТМТД – только в период всходов.

Экспериментальные препараты 1–3 на основе флудиоксонила в фазе всходов были менее эффективными, чем коммерческий препарат Максим, КС в 4.8–10.4 раза, в период бутонизации–начала цветения данный показатель у первых двух препаратов был на уровне химического стандарта, тогда как препарат 3 способствовал существенному росту заболеваемости растений ризоктониозом в этой фазе онтогенеза – в 1.5 раза в сравнении с препаратом Максим, КС.

Препараты 6 и 7 на основе ТБК, ТМТД и БМК подавляли развитие возбудителя черной парши на уровне химического стандарта ТМТД. Данная тенденция сохранилась у препарата 7 и в период бутонизации–начала цветения, тогда как композиция 6 достоверно повышала развитие болезни на стеблях в этот период в 1.3 раза в сравнении с ТМТД.

Препараты, имевшие в своем составе ФДС и вышеназванные действующие вещества (4 и 5), на ранней фазе онтогенеза показали себя на уровне

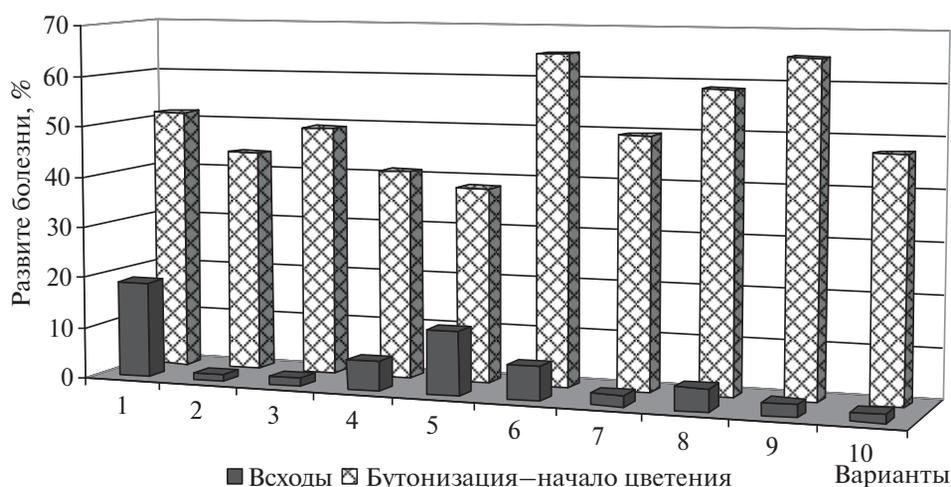


Рис. 2. Влияние механохимически модифицированных препаратов на развитие ризоктониоза (HSP_{05} : фактор фаза развития – 1.4, фактор защита – 3.2, частных средних – 4.6; варианты: 1 – контроль, 2 – Максим – стандарт, 3 – ТМТД – стандарт, 4 – препарат 1, 5 – препарат 2, 6 – препарат 3, 7 – препарат 4, 8 – препарат 5, 9 – препарат 6, 10 – препарат 7. То же на рис. 3–8.



Рис. 3. Влияние механохимически модифицированных препаратов на высоту растений картофеля (*HCP*₀₅ частных средних: фаза всходов – 3.5, фаза бутонизации—начала цветения – 5.0).

коммерческих препаратов, в период бутонизации—начала цветения их эффективность либо была на уровне химического контроля, либо меньше его. Например, в варианте с препаратом 4 растения в фазе бутонизации—начала цветения были поражены ризоктониозом на уровне варианта с препаратом Максим, но существенно больше, чем в варианте с препаратом Максим. Препарат 5 показал эффективность достоверно меньшую, чем у коммерческих препаратов в 1.1–1.3 раза.

Изучение влияния препаратов на биометрические показатели культуры показало, что в период всходов между контрольным вариантом и вариантами с инновационными протравителями существенной разницы не наблюдалось, как и в случае между коммерческими и экспериментальными препаратами (рис. 3).

Та же закономерность была отмечена и в период бутонизации—начала цветения при сравнении высоты растений в контроле и в вариантах опыта. Исключение составил препарат 2, где данный показатель был достоверно больше в 1.1 раза.

Инновационные препараты, содержащие в своем составе флудиоксанил (препараты 1–5), также не оказывали стимулирующего действия на рост культуры в сравнении с протравителем Максим. В вариантах, где использовали экспериментальные протравители, в состав которых входил тирам (препараты 4–7), высота растений была достоверно больше в сравнении со стандартом ТМТД в 1.1–1.2 раза.

Модифицированные фунгициды оказывали влияние не только на высоту растений, но и на их биомассу (рис. 4). В период всходов картофеля практически все экспериментальные препараты

(за исключением препарата 1) достоверно снижали массу одного стебля от 21.3 до 47.5 г (от 24.7 до 55.0%) в сравнении с контролем. Наиболее значимое влияние на снижение фитомассы – на 40.0–47.5 г/стебель (на 46.3–55.0%) – оказали фунгицидные составы 6 и 7. Коммерческие препараты Максим и ТМТД достоверно снижали данный показатель на 7.5 и 26.3 г/стебель (на 8.7 и 30.5%) соответственно. Экспериментальные препараты 2–5, содержащие в своем составе флудиоксанил, существенно уменьшали массу одного стебля в сравнении с препаратом Максим на 13.8–22.5 г (на 17.5–28.5%). Протравитель 1 в этом случае не влиял на данный показатель. Из композиций 4–7, имевших в составе тирам, на фитомассу повлияли только препараты 6 и 7, когда наблюдали значимое снижение показателя в сравнении с вариантом с ТМТД на 13.7–21.2 г/стебель (на 22.8–35.3%).

К фазе бутонизации—начала цветения в вариантах с препаратами 2–7 данный показатель оставался существенно меньше, чем в контроле – масса одного стебля была меньше на 113–234 г (на 10.7–22.3%), достигая минимальной величины при использовании протравителя 2. Препарат 1 и коммерческий протравитель Максим не оказывали достоверного влияния на массу растений, тогда как ТМТД снижал фитомассу картофеля на 333 г/стебель (на 31.7%). Возможно, это было связано с более значимым, чем в контроле, оттоком пластических веществ в клубни в вариантах с протравителями, в результате чего фитомасса стеблей снижалась. В вариантах с препаратами 2 и 5, содержащими в своем составе флудиоксанил, отмечено существенное уменьшение массы одного стебля в сравнении с препаратом Максим на

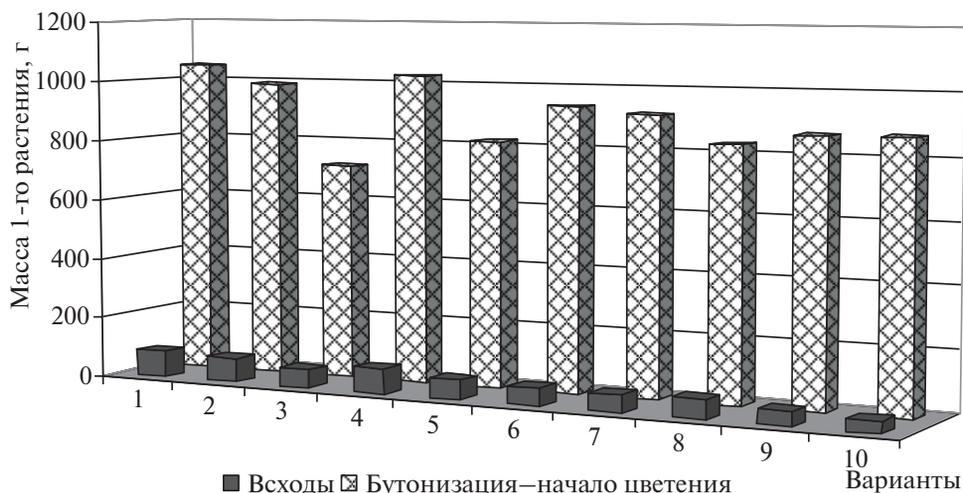


Рис. 4. Влияние инновационных препаратов на фитомассу картофеля, г/растение (HCP_{05} частных средних: фаза всходов – 5.8, фаза бутонизации—начала цветения – 86).

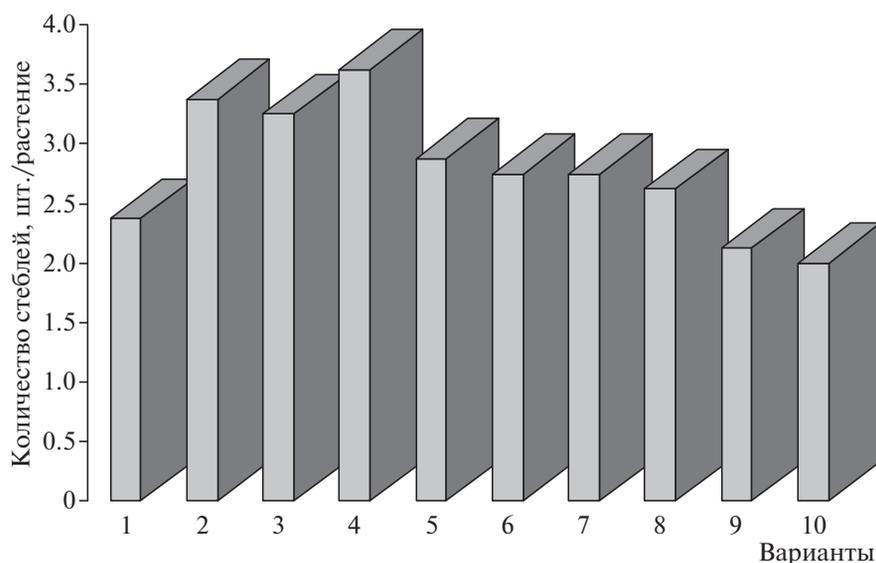


Рис. 5. Влияние инновационных препаратов на количество стеблей картофеля (средние за вегетацию) (HCP_{05} частных средних = 1.1).

158–173 г (на 15.9–17.5%). Протравители 1, 3 и 4 в этом случае не влияли на данный показатель. При использовании композиций 4–7, имевшим в своем составе тирам, фитомасса картофеля была достоверно больше в сравнении с вариантом с ТМТД – в этих случаях масса одного стебля была больше на 114–201 г/стебель (на 15.9–28.1%).

Разработанные препараты 2–7 и коммерческие фунгициды не оказали значимого влияния на стеблестой культуры, и только протравитель 1 достоверно увеличивал количество стеблей на одном растении в 1.5 раза (на 62.5%) (рис. 5). Данная закономерность сохранялась и для составов 1–5 на основе флудиоксанила в сравнении с препара-

том Максим. Композиции 4 и 5 на основе тирама в сравнении с ТМТД не влияли на данный показатель, а препараты 6 и 7 существенно снижали его в 1.5–1.6 раза (на 46.2–50.0%).

Разработанные инновационные препараты также оказывали влияние не только на такие показатели продуктивности культуры, как фитомасса и стеблестой, но и на общее количество и поврежденность столонов (табл. 4). К фазе бутонизации—начала цветения только препараты 1 и 2 способствовали значимому приросту этого показателя в сравнении с контрольным вариантом. В этих случаях столонов на одном растении было соответственно больше на 4.0 и 11.0 шт. (на 36.7 и

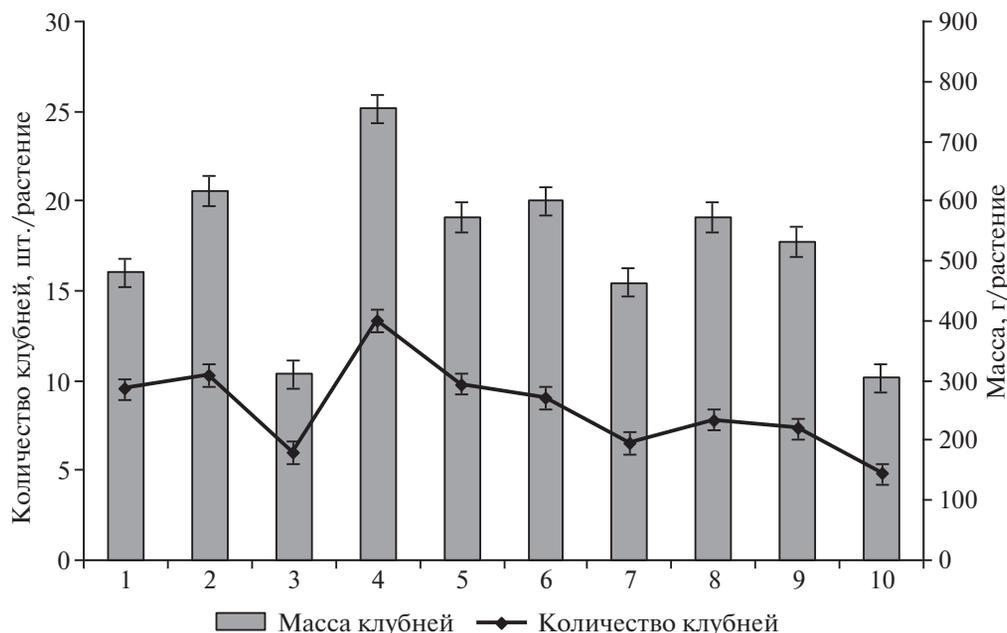


Рис. 6. Влияние инновационных препаратов на количество и массу клубней картофеля в фазе бутонизации—начала цветения (*HCP*₀₅ частных средних: количество клубней – 0.6, масса клубней – 25).

98.3%). Использование для весеннего протравливания остальных инновационных препаратов либо не влияло на столонообразование (препараты 3 и 6), либо приводило к достоверному снижению их числа (препараты 4, 5 и 7) на одном растении на 2.5–5.0 шт. (на 21.4–42.7%). Коммерческий препарат Максим также способствовал существенному росту данного показателя на 2.0 шт./растение (на 19.7%), тогда как в варианте с ТМТД он был на уровне контроля. Из всех изученных препаратов только препарат 1 и ТМТД значительно снижали поражение столонов ризоктониозом на 16.9 и 7.2% соответственно. В остальных вариантах этот показатель был либо на уровне контроля, либо существенно больше его.

Разработанные инновационные препараты также оказывали свое влияние на количество и массу клубней на одном растении (рис. 6). Было установлено, что исключительно препарат 1 способствовал образованию достоверно большего количества клубней на одном растении – на 3.8 шт. (на 40.0%). Остальные инновационные фунгициды либо не влияли на данный показатель (препараты 2 и 3), либо существенно снижали их количество на кусте картофеля (препараты 4–7) на 1.7–4.7 шт., что составило 17.9–49.5% от контроля.

Протравители, использованные в качестве стандартов, также влияли на количество клубней. По сравнению с контролем препарат Максим достоверно увеличивал количество клубней на одном растении на 0.8 шт. (на 8.4%), препарат

ТМТД значительно уменьшал этот показатель на 3.5 шт. (на 36.8%).

Препараты, содержащие в своем составе флудиоксанил (за исключением препарата 1), по сравнению с коммерческим препаратом Максим не способствовали клубнеобразованию. Клубней на одном растении было достоверно меньше от 0.5 до 3.8 шт./растение (от 4.8 до 36.9%). Препарат 1 существенно увеличивал данный показатель на

Таблица 4. Влияние инновационных препаратов на количество и качество столонов на растениях в фазе бутонизация—начало цветения картофеля

Вариант	Количество столонов, шт./растение	Поврежденные столоны, %
Контроль без обработки	11.7	27.4
Максим (стандарт – флудиоксанил)	14.0	27.0
ТМТД (стандарт – тирам)	12.5	20.2
Препарат 1	23.2	10.5
Препарат 2	16.0	23.5
Препарат 3	11.7	48.9
Препарат 4	9.2	39.4
Препарат 5	9.2	32.9
Препарат 6	13.0	55.8
Препарат 7	6.7	24.3
<i>HCP</i> ₀₅	2.1	

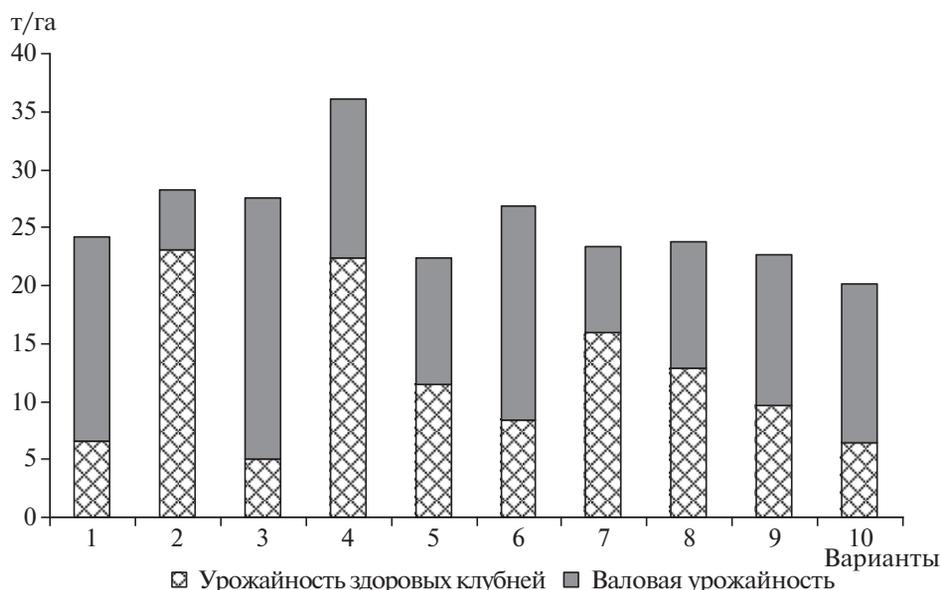


Рис. 7. Влияние инновационных препаратов на урожайность культуры и фитосанитарное состояние клубней нового урожая (HCP_{05} частных средних: урожай здоровых клубней – 3.0, валовый урожай – 0.9).

3.0 шт./растение (на 29.1%) в сравнении с химическим стандартом. Композиции, в составе которых присутствовал тирам, показали себя в сравнении с ТМТД либо на уровне химического стандарта (препарат 4), либо значительно стимулировали клубнеобразование (препараты 5 и 6) – на 1.3–1.8 шт./растение (на 21.7–30.0%), либо существенно уменьшали количество клубней (препарат 7) на 1.2 шт./растение (на 20.0%).

Масса клубней с одного растения при использовании всех инновационных препаратов (за исключением препаратов 4 и 7) была существенно больше, чем в контроле: от 52.5 до 274 г (от 10.9 до 57.0%). При использовании протравителей-стандартов препарат Максим достоверно увеличивал продуктивность культуры на 138 г/растение (на 28.6%), а ТМТД снижал на 170 г (на 35.4%).

Препараты 1–5 на основе флудиоксонил по сравнению со стандартом Максим по-разному влияли на массу клубней: препарат 1 значительно ее увеличивал на 136 г (на 22.1%), препараты 2, 4 и 5 существенно снижали данный показатель от 45.0 до 153.7 г (от 7.3 до 24.9%), тогда как протравитель 3 не влиял на этот показатель. Все разработанные препараты (за исключением препарата 7), содержащие тирам, по сравнению с ТМТД достоверно увеличивали массу клубней на 154–263 г (на 49.6–84.7%).

Комплексное действие предложенных препаратов на развитие заболевания, развитие и рост растений картофеля повлияло на урожайность культуры (рис. 7).

По сравнению с контролем, инновационные препараты 1 и 3 достоверно увеличивали валовую урожайность клубней на 2.7 и 11.9 т/га (на 11.2 и 49.2%) соответственно. Остальные протравители либо обеспечили урожайность картофеля на уровне контроля (препараты 4 и 5), либо значительно снизили ее (препараты 2, 6 и 7) – на 1.6–4.1 т/га (на 6.6–16.9%). Протравители-стандарты позволили получить больше продукции в сравнении с контролем на 3.4–4.1 т/га (на 14.0–16.9%).

В сравнении со стандартом Максим (д.в. флудиоксонил) валовую урожайность картофеля достоверно увеличивал на 7.8 т/га (на 27.6%) только протравитель 1, остальные инновационные препараты существенно снижали данный показатель от 1.4 до 8.2 т/га (от 4.9 до 29.0%). Валовая урожайность картофеля в вариантах с композициями 4–7, содержащими тирам, была достоверно меньше, чем при использовании для протравливания ТМТД (от 3.8 до 7.5 т/га или от 13.8 до 27.2%).

Предлагаемые нами препараты влияли не только на валовую урожайность культуры, но и на его качество (рис. 7, 8). Все предложенные инновационные протравители по сравнению с контролем снижали выход непригодных клубней от 4.2 до 40.9%, и достоверно увеличивали (за исключением препаратов 3 и 7) урожай здоровых клубней от 3.1 до 15.8 т/га (от 47.0 до 239%). Для препарата 3 отмечена тенденция к росту 2-го показателя на 1.8 т/га (на 27.3%), а влияние препарата 7 статистически не отличалось от контрольного варианта. Наибольший эффект наблюдали при использовании фунгицида-протравителя 1, который

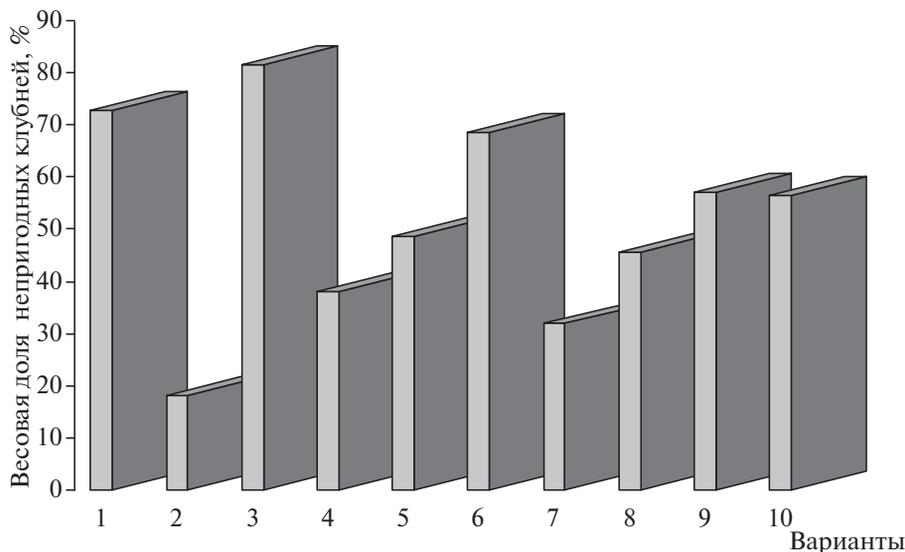


Рис. 8. Влияние инновационных препаратов на качество клубней нового урожая.

обеспечил максимальный выход здоровых клубней – 22.4 т/га (239%). Препарат-стандарт Максим снижал количество непригодных клубней на 54.5% и способствовал увеличению выхода здорового картофеля на 16.5 т/га, что составило 250%, в то же время ТМТД не отличался от контроля.

Было установлено, что все инновационные препараты, содержащие ФДС, уступали коммерческому протравителю Максим по таким показателям, как весовая доля непригодных клубней (на 19.8–50.4%) и выход здоровых клубней (за исключением препарата 1, где он был на уровне стандарта) – на 7.1–14.7 т/га (на 30.7–63.6%).

При использовании композиций, содержащих тирам, в сравнении с ТМТД отмечено снижение весовой доли непригодных клубней на 24.2–49.5%. Полученный при применении композиций 4, 5 и 6 урожай здоровых клубней существенно увеличился по сравнению с вариантом применения химического стандарта на 4.6–10.9 т/га (на 90.2–214%). Препарат 7 не оказал влияния на выход здоровой продукции.

Таким образом, наиболее эффективным оказался препарат 1, который наравне с протравителем-стандартом Максим, более всего способствовал получению урожая высокого качества.

ВЫВОДЫ

1. Разработаны инновационные препараты в виде 2-х альтернативных форм (твердых дисперсий и суспензий) на основе ФДС, ТБК, ТМТД и БМК, которые обладали повышенной растворимостью и стабильностью. Изучена их биологическая эффективность в отношении сухих гнилей в период хранения и ризоктониоза картофеля в те-

чение вегетации. Биологическая эффективность инновационных препаратов варьировала от 94.1 до 99.6%, что было больше, чем у коммерческих протравителей-стандартов. Такой результат, возможно, объясняется включением в состав препаратов таких растительных метаболитов как арабиногалактан и натриевая соль глицирризиновой кислоты, которые могут взаимодействовать с липидами растительных мембран и облегчать проникновение препаратов в растительный объект.

2. Наиболее значимо снижали развитие ризоктониоза в период вегетации препараты 1 и 2, в составе которых содержался арабиногалактан.

3. Выявлено влияние экспериментальных препаратов на биометрические показатели растений, урожайность культуры и качество нового урожая. Препараты 1 и 3, в составе которых содержалась натриевая соль глицирризиновой кислоты, достоверно повышали валовый урожай культуры на 2.7 и 11.9 т/га (на 11.2 и 49.2%) соответственно в сравнении с контролем.

4. Все инновационные протравители по сравнению с контролем снижали выход непригодных клубней от 4.2 до 40.9% и достоверно увеличивали (за исключением препаратов 3 и 7) урожай здоровых клубней от 3.1 до 15.8 т/га (от 47.0 до 239%).

5. Самым эффективным препаратом в борьбе с ризоктониозом картофеля в период вегетации, который также способствовал повышению продуктивности культуры и качества полученной продукции, был препарат 1 в виде суспензионного концентрата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малюга А.А., Чуликова Н.С., Халиков С.С.* Эффективность инновационных препаратов на основе тебуконазола, тирама и карбендазима против болезней картофеля // *Агрохимия*. 2020. № 7. С. 57–67.
2. *Захаренко В.А.* Инновационное развитие интегрированного управления фитосанитарным состоянием картофельных экосистем // *Картофелеводство: история развития и результаты научных исследований по культуре картофеля*. М., 2015. С. 346–352.
3. *Тюттерев С.Л.* Обработка семян фунгицидами и другими средствами оптимизации жизни растений. СПб., 2006. 248 с.
4. *Васильев А.А.* Протравливание семенных клубней повышает урожай картофеля // *Защита и карантин раст.* 2014. № 2. С. 20–22.
5. *Медведева Е.Н., Бабкин В.А., Остроухова Л.А.* Арабиногалактан лиственницы – свойства и перспективы использования (обзор) // *Химия раст. сырья*. 2003. № 1. С. 27–37.
6. *Li J, Cao H, Liu P, Cheng G, Sun M.* Glycyrrhizic acid in the treatment of liver diseases: Literature review // *Bio. Med. Res. Inter*. 2014.
7. *Белан С.Р., Грапов А.Ф., Мельникова Г.М.* Новые пестициды: справочник. М.: Грааль, 2001. 195 с.
8. *Гольшин Н.М.* Фунгициды. М.: Колос, 1993. 319 с.
9. *Мельников Н.Н.* Пестициды. Химия, технология и применение. М.: Химия, 1987. 712 с.
10. *Малюга А.А., Чуликова Н.С., Халиков С.С.* Комплексные препараты для защиты картофеля на основе карбендазима // *Агрохимия*. 2017. № 6. С. 52–61.
11. *Халиков С.С., Малюга А.А., Чуликова Н.С.* Экологически безопасные препараты на основе механохимической модификации тебуконазола для комплексной защиты картофеля // *Агрохимия*. 2018. № 10. С. 46–53.
12. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 351 с.
13. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М., 2018. 853 с.
14. Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКХ, 1967. 264 с.
15. *Frank J., Leach S.S., Webb R.E.* Evaluation of potato clone reaction to *Rhizoctonia solani* // *Plant Dis. Rep.* 1976. V. 60. № 11. P. 910–912.
16. *Метелева Е.С., Евсеенко В.И., Теплякова О.И., Халиков С.С., Поляков Н.Э., Анапасенко Е.И., Душкин А.В., Власенко Н.Г.* Нанопестициды на основе супрамолекулярных комплексов тебуконазола для обработки семян злаковых культур // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2018. Т. 26. С. 279–294.
17. *Selyutina O.Y., Khalikov S.S., Polyakov N.E.* Arabino-galactan and glycyrrhizin based nanopesticides as novel delivery systems for plant protection // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020. V. 27. P. 5864–5872.
18. *Khalikov S.S., Malyuga A.A., Chulikova N.S.* Complex preparations for the protection potato on the basis of tebuconazole // *J. Agricult. Sci. Technol.* 2019. V. 9. № 6 (Ser. № 78). P. 338–343. Doi: <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2019.06.002>

Fludioxonil-Based Preparations as a Means of Protecting Potatoes from Diseases and Their Effectiveness

A. A. Malyuga^{a,#}, N. S. Chulikova^a, M. M. Ilyin^b, and S. S. Khalikov^{b,##}

^a*Siberian Federal Scientific Centre of Agro–BioTechnologies RAS
r.p. Krasnoobsk, Novosibirsk district, Novosibirsk region 630501, Russia*

^b*A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds RAS
ul. Vavilova 28, Moscow 119991, Russia*

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

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

In order to create environmentally friendly dressing agents for the complex protection of potatoes from pathogens of dry rots during storage and black scab, experimental formulations of preparations based on mechanochemically modified fludioxonil with plant metabolites (arabinogalactan and glycyrrhizic acid), have been developed, as well as suspension preparations tebuconazole, thiram and carbendazim without the use of traditional molding components. The testing of these preparations showed their high efficiency against storage rot, and in the field they reduced the development of black scab on potato stems and influenced the productivity of plants, increased the yield of the crop and the quality of the new crop. It was shown that the proposed preparations had high biological effectiveness at reduced rates of consumption of active substances, which contributes to the production of environmentally safe products.

Key words: fludioxonil, tebuconazole, carbendazim, thiram, plant metabolites, mechanochemistry, solubility, fungicidal suspensions, dressing agent, potato, biological effectiveness, productivity.

УДК 632.952:633.11“321”

ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТИВНЫХ ФОРМ ТЕБУКОНАЗОЛА НА ФИТОСАНИТАРНОЕ СОСТОЯНИЕ ОБРАБОТАННЫХ СЕМЯН, РОСТ И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ¹

© 2022 г. С. С. Халиков^{1,*}, О. И. Теплякова^{2,**}, Н. Г. Власенко^{2,***}

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН
119991 Москва, ГСП-1, ул. Вавилова, 28, Россия

²Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН
630501 Новосибирская обл., пгт. Краснообск, Россия

*E-mail: salavatkhalikov@mail.ru

**E-mail: tepol@ngs.ru

***E-mail: vlas_nata@ngs.ru

Поступила в редакцию 08.10.2021 г.

После доработки 08.11.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

Комплексная защита растений от болезней, вредителей и сорняков – важнейший элемент агротехнологии. Использование фунгицидов важно не только для повышения урожайности растений, но и для получения урожая высокого качества. Значительное распространение таких болезней, как фузариоз пшеницы, ржавчина пшеницы и ржи, спорынья ржи и др., не только снижает урожайность сельскохозяйственных культур, но и препятствует использованию зерновых культур как для человека, так и для кормов животным. Поэтому очень актуальна проблема создания как новых препаратов для защиты растений, так и их эффективных рецептур. Особенностью современного уровня научных исследований в области защиты растений является разработка новых наноразмерных форм средств защиты растений с удобной и технологичной формой применения для фермеров, улучшенным проникновением действующего вещества в ткани растений, с уменьшенным расходом норм применения, а также с использованием комплексов с биологическими добавками и химическими индукторами. Нанопестициды на основе природных метаболитов изучали как экологически и экономически устойчивые альтернативы для защиты растений. Это исследование направлено на разработку альтернативных рецептур (микрокапсул, наносуспензий и микроэмульсий) для обработки семян пшеницы от патогенных микроорганизмов и оценки их биологической активности. Результаты исследования выявили высокую активность разработанных препаратов в отношении патогенной микрофлоры с низким ретардантным действием.

Ключевые слова: тебуконазол, растительные метаболиты, препаративные формы, биологическая эффективность.

DOI: 10.31857/S0002188122020065

ВВЕДЕНИЕ

Одними из основных факторов, влияющих на уровень урожайности и качества зерна пшеницы, являются технологии возделывания и разработка эффективной системы защиты растений от болезней и вредителей [1]. Для оперативного контроля фитосанитарной ситуации требуется применение фунгицидной защиты, что позволяет стабилизировать получение зерна пшеницы хорошего качества [2]. Для борьбы с почвенно-семенными инфекциями изучают возможности исполь-

зования пестицидов с лучшим проникновением действующего вещества (ДВ) в растительные ткани, пониженных их норм расхода, новых модификаций препаративных форм, биофунгицидов, природных биополимеров и экстрактов, комплексов с биологическими и химическими индукторами [3–11].

Основную роль в защите зерновых культур от ранне-сезонных болезней и вредителей играет протравливание семян [12], т.к. оно наиболее эффективно обеспечивает защиту проростка на первых этапах его развития от болезней, экономично и экологически безопасно и поэтому позволяет получить плотный и здоровый стеблестой – глав-

¹ Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

ный и решающий фактор запланированной урожайности. Такой ответственный подход к протравливанию семян объясняется тем, что семена являются жизненно важным вкладом в устойчивый рост сельского хозяйства, поскольку более 90% продуктов питания выращиваются из семян [13]. Протравливание семян можно проводить различными методами – физическими, химическими или биологическими, которые используют не только для дезинфекции семян, но это позволяет контролировать болезни и вредителей во время прорастания, появления всходов и раннего роста растений [14]. Надо отметить, что такая обработка семян пестицидами – один из самых экологически чистых способов их использования [15].

Наблюдаемые эпифитотии в посевах сельскохозяйственных культур свидетельствуют о необходимости постоянного поиска новых и совершенствования известных средств защиты растений [16]. К таким многообещающим препаратам относятся производные триазола, которые, распространяясь через межклеточное пространство, одновременно подавляют биосинтез стирола в клеточных мембранах и размножение грибов, а также уничтожение конидий и спор паразитических грибов в начальной фазе их развития и при обнаружении спор на поверхности семян [17]. Также триазольные фунгициды при обработке семян зерновых влияют на рост и развитие проростков, уменьшая длину coleoptilia, первого листа и междоузлий, а также влияют на развитие корневой системы, уменьшение количества первичных корней и т.п. [18, 19]. Поэтому очень важно использовать инновационные фунгицидные составы, особенностями которых являются ростстимулирующее действие на растения и высокая эффективность против семенных инфекций. На сегодняшний день протравители, представленные на рынке российских средств защиты растений, отличаются не только по количеству и составу действующих веществ, но и по препаративной форме. Традиционной формой для протравителей основных мировых производителей служит концентрат суспензии (КС), где размер частиц действующего вещества в препаратах составляет от 2 до 5 мкм. В компании АО «Шелково–Агрохим» разработана новая препаративная форма протравителей Туарег – супсомикроэмульсия (СМЭ), представляющая собой гибрид 2-х форм – концентрата суспензии и микроэмульсии. Размер частиц действующих веществ фунгицидной части (тебуконазол (ТБК) и имидаклоприд) препарата составляет <0.1 мкм, а размер частиц действующего вещества инсектицида

(имидаклоприда) – такой же, как у суспензионной формуляции (2–5 мкм) [20]. По результатам испытаний было установлено, что форма Туарег, СМЭ лучше проникала во внутренние слои семени, чем форма в виде концентрата суспензии (препарат Эталон, КС), и разница в биологической эффективности этих препаратов составила 9.1–12.4%.

Препараты на основе ТБК, полученные методом его механохимической модификации с полисахаридами [21] в виде твердых дисперсий (ТД) и обладающие более высокой водорастворимостью, проявляли высокую фунгицидную активность против возбудителей корневой гнили (*Helminthosporium* spp., *Fusarium* spp.) и других видов грибов (в частности, *Penicillium* spp.) при более низких нормах расхода тебуконазола по сравнению с применяемыми на практике препаратами (например, Раксил КС или Раксил-Ультра). При этом препараты были не только экономически более выгодными, но и менее токсичными. Образующие в воде из этих ТД супрамолекулярные комплексы способны успешно регулировать численность конидий патогена в ризосфере зерновых культур, выращиваемых в условиях центрально-лесостепного агроландшафтного района Западной Сибири на черноземе выщелоченном [22].

Препаративные формы ТБК в виде суспензионных концентратов [23], полученные без использования традиционных структурообразующих и формообразующих компонентов, показали синергизм биологических свойств, проявлявшихся в ускорении роста растений и длины их корневой системы, снижении развития семенных болезней, а также перспективность использования таких форм ТБК.

Учитывая собственные данные о свойствах суспензионных форм ТБК [23], изучение факторов, влияющих на проникновение протравителей через растительные мембраны в присутствии полисахаридов [24], а также литературные данные [20] об инновационных препаративных формах, были получены альтернативные препаративные формы ТБК в виде микрокапсул, микроэмульсий и наносуспензий, которые на российском рынке занимают основные позиции [25]. Например, коммерческие тебуконазолсодержащие фунгициды, рекомендуемые для контроля фитопатогенов (возбудители *Bipolaris sorokiniana* Shoem., грибы *Fusarium* и *Alternaria* spp.), поражающих семена, корни и наземные органы, способны обеспечивать высокий уровень защиты [26, 27]. Вместе с тем, тебуконазол, входящий в состав эффективных двух-, трехкомпонентных препаратов [28],

в условиях лабораторного эксперимента оказывал слабое влияние на конидиогенез *Bipolaris* и *Fusarium* spp. [29]. В качестве альтернативы коммерческим препаратам рассматриваются наноструктурированные формы тебуконазола [21, 30]. Созданы нанофунгицидные комплексы, вызывающие полное ингибирование прорастания конидий *Bipolaris sorokiniana* Shoem. [31]. Изучают контролируемые способы высвобождения тебуконазола из полимерных матриц [10, 32, 33]. С целью снижения количества ДВ без снижения его биодоступности разрабатывают наноэмульсии тебуконазола [34]. Помимо своего основного целевого воздействия тебуконазол способен вызывать рострегулирующее воздействие на растение-хозяина и воздействует на механизмы холодо- и морозоустойчивости злаков [35, 36].

Цель работы – разработка методов получения альтернативных препаративных форм в виде микрокапсул, микроэмульсий и наносуспензий на основе ТБК и изучение воздействия этих форм на фитосанитарное состояние семян, рост и развитие проростков яровой мягкой пшеницы, формирующихся из обработанных ими зерновок.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использовали тебуконазол (ТБК) – [(RS)-1p-хлорфенил-4,4-диметил-3-(1H-1,2,4-триазол-1-ил-метил) пентан-3-ил] – системный фунгицид, используемый для обработки семян зерновых культур. Относится к триазолам 3-го поколения, проявляет системное действие, эффективен в борьбе с фитопатогенами, передающимися с семенами. Хорошо растворяется в органических растворителях, плохо – в воде. Не гидролизует при pH от 4.0 до 9.0, умеренно опасный [37]; натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) марки SEKOL 700 фармакопейной чистоты [38]; экстракт солодки (ЭС) – сухой мелкодисперсный порошок от светло- до темно-коричневого цвета с содержанием глицирризиновой кислоты 24.9% производства ООО “Вистерра” Алтайский край (Декларация соответствия TCN RU Д-RU.AF96.B.00958) [39]; натрия диоктилсульфосукцинат (ДОССН) с содержанием основного вещества 96% (Acgas Organics, Нью-Джерси, США) – мелкодисперсный, гигроскопичный порошок со слегка горьким, мыльным вкусом и запахом октанола. В РФ разрешено его использование в качестве эмульгатора и детергента [40].

Получение микрокапсул ТБК проводили по методике [41]: 1.0 г ТБК растворили в 10.5 г ДМФА и полученный раствор диспергировали в колбу из суспензии, полученной из 3.0 г Na-

КМЦ, 20.0 г этилацетата и 1.0 г Твина-80 при перемешивании на роторной мешалке со скоростью 300 об./мин. Далее в полученную систему приливали 15.6 г метанола и 10.0 г дистиллированной воды. Диспергирование продолжали при скорости 350 об./мин в течение 1 ч. Выпавшие при этом кристаллы отфильтровали и сушили в эксикаторе над безводным сульфатом кальция при пониженном давлении. После сушки в течение 24 ч получили 3.10 г (выход 78%) микрокристаллов ТБК в виде белого сыпучего порошка состава ТКБ : Na-КМЦ = 1 : 3.

Получение микроэмульсии ТБК проводили по методике [42]: в трехгорловую реакционную колбу (объем 1 л) залили из стакана приготовленную органическую фазу, состоящую из 20.0 г ТБК и смеси 20.0 г ДМФА, 20.0 г циклогексанона и 15.0 г ПАВ (Твин-80). Смесь в колбе нагревали при 40°C в течение 10 мин. Затем при перемешивании в органическую фазу добавляли водную фазу из 12.0 г пропиленгликоля и 22.0 г дистиллированной воды, затем смесь выдерживали 30 мин. Полученный препарат представлял собой прозрачную, слегка желтоватую жидкость массой 96.6 г (выход 97.6%) с содержанием 20.0% ТБК.

Получение наносуспензии проводили по собственной методике, описанной в работе [23]: в металлический барабан (объем 800 мл) валковой мельницы LE-101 загрузили 20.0 г ТБК, 76.0 г экстракта солодки (ЭС) и 30 г металлических шаров (диаметр 25 мм). Проводили механообработку смеси в течение 30 мин для получения однородной смеси при модуле 1 : 16, объеме загрузки 60% и скорости вращения барабана 60 об./мин. Затем в полученную смесь добавили 4.0 г эмульгатора ДОССН и продолжили механообработку еще в течение 30 мин. В барабан загрузили 48.0 г дистиллированной воды и готовили суспензию при перемешивании в течение 60 мин. Полученную суспензию отделили от металлических шаров через сито и получили 95.0 г (выход 95%) текучей суспензии ТКБ с содержанием 20% ТБК.

Испытание препаративных форм тебуконазола (ТБК) проводили в лабораторных условиях: было заложено 3 эксперимента с использованием откалиброванных по размеру семян (масса 1000 зерен = 39.8 г) яровой мягкой пшеницы Новосибирская 31. Все опыты включали 9 вариантов: 1 – контроль; без обработки семян фунгицидами, 2 и 3 – обработка семян коммерческим фунгицидом Раксил, КС, норма расхода 0.5 и 0.25 л/т, 4 и 5 – обработка семян микрокапсулами ТБК на основе Na-КМЦ, 1 : 3, 25%, норма расхода 0.5 и 0.25 кг/т, 6 и 7 – обработка семян наносуспензией ТБК на основе ЭС и ПАВ, 6.7%, норма расхода 0.5 и

0.25 л/т, 8 и 9 – обработка семян микроэмульсией ТБК, 20%, норма расхода 0.5 и 0.25 л/т. Обработку семян проводили с увлажнением (10 л H₂O/т). После обработки семена выдерживали в пластиковых сосудах 6 сут, после чего их использовали в запланированных экспериментах.

В опыте 1 изучали фитосанитарное состояние обработанных ТБК семян, пораженность сформировавшихся проростков, их рост и развитие. Условия проведения опыта: зерновки закладывали в рулоны фильтровальной бумаги, проращивание проводили в течении 10 сут (5 сут – $t = 26^{\circ}\text{C}$, термостат, 5 сут – в комнатных условиях, при естественном освещении, $t = 20^{\circ}\text{C}$, постоянной влажности). В конце эксперимента определяли зараженность семян, число нормально сформировавшихся проростков, их число с пораженными корнями и прикорневой зоной, учитывали показатели роста (высоту проростка, число корней, длину главного корня, биомассу).

В опыте 2 определяли наличие и силу рогрегулирующих эффектов препаративных форм ТБК, примененных в качестве фунгицида-протравителя. Условия проведения опыта: метод влажной камеры. Зерновки помещали на влажное ложе (фильтровальная бумага, 4 слоя = ФБ-субстрат) в пластиковые чашки ($n = 40$), при $t = 20^{\circ}\text{C}$, естественном освещении. В ночное время суток чашки с семенами накрывали пластиковыми колпаками. Определяли динамику энергии прорастания (на 1-, 2-, 3-и сут), всхожесть (через 7 сут). Показатели роста фиксировали на 3-и сут (суммарную длину корней 1-го проростка, высоту проростка) и 7-е сут (число корней 1-го проростка, высоту проростка, общую биомассу корней 1-го проростка, 1-го корня и проростка).

В опыте 3 изучено воздействие препаративных форм ТБК на рост и развитие проростков яровой мягкой пшеницы, формирующихся из обработанных ими зерновок в почвенном субстрате. Условия проведения опыта: зерновки выращивали в почвенном субстрате (чернозем выщелоченный, 500 г/пластиковую чашку/40 шт. зерновок), покрытом однослойной марлей, при $t = 20^{\circ}\text{C}$ естественном освещении, контролируемой влажности почвы. В ночное время суток чашки с семенами, как и в опыте 2, накрывали пластиковыми колпаками. Наблюдения за ростом и развитием проростков проводили в течение первых 7-ми сут. Определяли энергию прорастания, всхожесть, высоту проростка, биомассу проростков, отмечали наличие симптомов поражения прикорневой и корневой части проростка.

Статистическая обработка данных выполнена с помощью программ Statistica 7.0 и Excel 13.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные альтернативные препаративные формы в виде микрокапсул, микроэмульсий и наносупензий легко образовывали рабочие растворы для протравливания семян, обладали высоким адгезионным сродством к обрабатываемым семенам и проникающей способностью в зерна пшеницы, что ожидаемо должно было сказаться и на их биологической активности.

Изучение воздействия обработки семян препаративными формами тебуконазола на фитосанитарное состояние зерновок, рост и развитие проростков яровой мягкой пшеницы. Проведенная фитозащита показала высокую фунгицидную активность исследованных препаративных форм ТБК (табл. 1). Их использование в качестве протравителей семян привело к снижению комплексной зараженности в 1.8–5.5 раза (зараженность семян в контроле достигала 84.9%). Максимальный фитосанитарный эффект был получен в варианте применения наносупензии ТБК с нормой расхода 0.5 л/т. Этот препарат подавлял на 100% гельминтоспориозно-фузариозную инфекцию и на 68.6–35.6% – альтернариозную, что было возможно из-за наличия в составе наносупензий природного сапонина (ЭС) и эмульгатора (ДСН), которые, взаимодействуя с растительными мембранами, способствовали лучшему проникновению ТБК в растительную клетку, аналогично [43]. Закладка семян в рулоны фильтровальной бумаги показала высокую биологическую эффективность испытанных форм ТБК против основного возбудителя обыкновенной корневой гнили *B. sorokiniana*, которая в 4-х из 6-ти вариантов (наносупензия ТБК, 0.5 и 0.25, микрокапсулы ТБК, 0.25, микроэмульсия ТБК, 0.25) достигала 100%, в 2-х вариантах (микроэмульсия ТБК, 0.5 и микрокапсулы ТБК, 0.5) была равна 80.5 и 64.8% соответственно. Коммерческий фунгицид (Раксил, КС, 0.5 и 0.25 л/т) подавлял *B. sorokiniana* на 100%. Грибы *Fusarium* spp. полностью не контролировались как Раксилем, КС 0.5 и 0.25 л/т (биологическая эффективность = 19.1 и 77.8%), так и двумя изученными препаративными формами ТБК (микрокапсулами с нормой расхода 0.25 кг/т и микроэмульсией 0.5 л/т (81.9 и 62.7%)).

Все препараты эффективно защищали корневую систему (биологическая эффективность применения микрокапсул ТБК, 0.5 и 0.25–83.3 и 100%, наносупензии ТБК, 0.5 и 0.25–100 и 92.5, микроэмульсии ТБК, 0.5 и 0.25–94.9 и 95.2%), и

Таблица 1. Эффективность протравливания семян препаративными формами тебуконазола (проращивание в рулонах фильтровальной бумаги)

Вариант	Зараженность семян, %						У нормально сформировавшихся проростков поражены, %	
	<i>B. sorokiniana</i>	<i>Fusarium</i> spp.	<i>Alternaria</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.	Бактериоз	Всего	прикорневая часть проростков	корни
Контроль	26.7	9.4	48.8	0	0	84.9	44.4	68.1
Раксил, 0.5	0	7.6	32.5	0	0	40.1	27.3	4.2
Раксил, 0.25	0	2.0	53.1	0	0	55.1	21.5	9.8
Микрокапсулы ТБК, 0.5	9.4	0	28.7	0	0	38.1	27.1	11.4
Микрокапсулы ТБК, 0.25	0	1.7	45.6	0	0	47.2	22.6	0
Наносуспензия ТБК, 0.5	0	0	15.3	0	0	15.3	0	0
Наносуспензия ТБК, 0.25	0	0	31.0	0	0	31.0	12.1	5.1
Микроэмульсия ТБК, 0.5	5.2	3.5	15.5	0	0	24.2	5.2	3.5
Микроэмульсия ТБК, 0.25	0	0	40.0	0	0	40.0	21.7	3.3

этот фитосанитарный эффект не уступал таковому, полученному при обработке семян коммерческим фунгицидом Раксил, 0.5 и 0.25 л/т – 93.8 и 85.6%. Самый высокий уровень защиты прикорневой части проростков обеспечивала обработка семян наносуспензией и микроэмульсией ТБК с нормой расхода 0.5 л/т. В первом случае биологическая эффективность составила 100, во втором – 88.3%. И если такой результат для наносуспензий уже был ожидаем из-за наличия ЭС и ДДСН как ПАВ, способствовавших улучшению проникновения ТБК через растительные мембраны, то для микроэмульсий это можно объяснить наличием в их составе растворителей, (ДМФА, пропиленгликоля), способствовавших увеличению растворимости ТБК и улучшению его прохождения через клеточные оболочки [44]. Сниженная норма расхода наносуспензии ослабляла эффект защиты до 72.7%, микроэмульсии – до 51.1%. При обработке семян пониженной нормой расхода коммерческого фунгицида частота встречаемости проростков с пораженной прикорневой зоной не возрастала (биологическая эффективность равна 38.5 и 51.6%).

В опытных вариантах повышалось количество нормально сформировавшихся проростков (табл. 2). Максимальное и независимое от нормы расхода препарата увеличение (на 21.4 и 23.3%) достигалось обработкой семян микроэмульсией ТБК. В вариантах применения микрокапсул ТБК и наносуспензии ТБК развитие проростков определяла величина нормы расхода. Ее снижение повышало

количество нормально развитых проростков с 15.2 до 21.4% (микрокапсулы ТБК) и с 8.0 до 16.3% (наносуспензия ТБК).

Вместе с тем, в процессе фитоэкспертизы выявлено, что помимо основных (фунгицидных) свойств препаративные формы ТБК оказывали влияние на рост и развитие растения. Их положительное влияние проявилось в формировании корней и накоплении биомассы, отрицательное – на высоту проростка и длину корней. У проростков пшеницы, сформированных из обработанных микрокапсулами ТБК семян, число корней возрастало на 6.9 и 9.4, наносуспензией и микроэмульсией – на 10.3 и 10.3, 9.2 и 10.3% соответственно. Лучший стимулирующий эффект оказывали пониженные нормы расхода ДВ. Его негативное воздействие проявлялось в уменьшении высоты проростков и угнетении роста корней. Снижение высоты проростков вызывала обработка семян наносуспензией (на 3.8 и 1.7%) и микроэмульсией ТБК, 0.5 л/т (на 8.6%). В 5-ти вариантах угнетался рост корней: длина главного корня уменьшалась на 2.5% при использовании микрокапсул ТБК 0.25, на 8.2 и 7.9% – наносуспензии ТБК, на 3.7 и 3.9% – микроэмульсии ТБК. Но все защищенные проростки накапливали большую, чем в контроле, биомассу (на 17 и 69% – при использовании микрокапсул ТБК, на 47 и 50% – наносуспензии ТБК, на 72 и 75% – микроэмульсии ТБК). При использовании Раксила, 0.5 и 0.25 л/т показатель увеличивался на 40 и 64%.

Таблица 2. Показатели роста и развития проростков, сформировавшихся из семян, обработанных препаративными формами тебуконазола (проращивание в рулонах фильтровальной бумаги)

Вариант	Проросших нормально, %	Число корней, шт./проросток	Длина главного корня	Высота проростка
			см	
Контроль	71.7	4.35	17.8 ± 0.4	14.6 ± 0.3
Раксил, 0.5	96.2	4.75	17.1 ± 0.2	12.7 ± 0.2
Раксил, 0.25	80.6	4.45	18.7 ± 0.3	14.7 ± 0.4
Микрокапсулы ТБК, 0.5	86.9	4.65	18.3 ± 0.5	14.7 ± 0.4
Микрокапсулы ТБК, 0.25	93.1	4.76	17.3 ± 0.3	15.6 ± 0.3
Наносуспензия ТБК, 0.5	79.7	4.80	16.3 ± 0.4	14.1 ± 0.4
Наносуспензия ТБК, 0.25	88.0	4.80	16.4 ± 0.3	14.4 ± 0.3
Микроэмульсия ТБК, 0.5	93.1	4.75	17.1 ± 0.3	13.3 ± 0.3
Микроэмульсия ТБК, 0.25	95.0	4.80	17.1 ± 0.2	14.6 ± 0.3
Воздушно-сухая биомасса, мг				
	надземной части 1-го проростка	корней 1-го проростка	1-го корня проростка	1-го проростка
Контроль	6.3 ± 0.2	5.0 ± 0.4	1.15	11.3
Раксил, 0.5	7.3 ± 0.2	8.6 ± 0.2	1.81	15.9
Раксил, 0.25	10.5 ± 0.5	8.1 ± 0.4	1.81	18.5
Микрокапсулы ТБК, 0.5	7.0 ± 0.4	6.3 ± 0.3	1.34	13.3
Микрокапсулы ТБК, 0.25	10.4 ± 0.2	8.7 ± 0.2	1.82	19.1
Наносуспензия ТБК, 0.5	10.2 ± 0.2	6.4 ± 0.5	1.33	16.6
Наносуспензия ТБК, 0.25	10.6 ± 0.5	6.5 ± 0.3	1.35	17.0
Микроэмульсия ТБК, 0.5	10.4 ± 0.2	9.0 ± 0.4	1.90	19.4
Микроэмульсия ТБК, 0.25	10.7 ± 0.01	9.1 ± 0.3	1.90	19.8

Выявление наличия и силы ретардантного эффекта у разных препаративных форм тебуконазола, примененных в качестве фунгицида-протравителя семян пшеницы. Препаративные формы ТБК оказывали неоднозначное влияние на динамику прорастания зерновок. Во всех опытных вариантах, как и химическом контроле (Раксил 0.5 и 0.25 л/т – на 12.5 и 37.5%), через 1 сут отмечено снижение количества наклюнувшихся зерновок (на 7.5 и 10.0% – при применении микрокапсул ТБК, на 25.0 и 12.5% – наносуспензии ТБК, на 35.0 и 47.4% – микроэмульсии ТБК) (рис. 1). Спустя 3 сут число нормально сформировавшихся проростков превышало контроль в вариантах применения микрокапсул ТБК, 0.5 и 0.25 – на 7.5 и 10%. Наносуспензия и микроэмульсия ТБК не угнетала прорастание только при снижении нормы расхода. В первом случае энергия прорастания составила 100%, во втором – 95.5%. В целом за 7-суточный период наибольшее тормозящее воздействие оказывала микроэмульсия и наносуспензия ТБК с нормой расхода 0.5 л/т, что было ранее объяснено влиянием растворителей и ПАВ,

включенных в состав микроэмульсии и наносуспензии ТБК [44].

Выявленный в опыте 1 ретардантный эффект проявился еще сильнее при изучении направленности рострегулирующего воздействия препаративных форм ТБК на развитие растения-хозяина на самом раннем этапе органогенеза. Прорастание обработанных зерновок в условиях влажной камеры при рекомендуемой ГОСТ температуре (20°C) значительно тормозилось. Отмечено как пониженное корнеобразование и рост зародышевых корней, так и формирование проростка (табл. 3).

Относительно чистого контроля число корней при применении микрокапсул ТБК уменьшалось на 5.7 и 4.1%, наносуспензии ТБК – на 19.4 и 13.7%, микроэмульсии ТБК – на 18.7 и 17.6%. Ослабление ингибирующего эффекта (в 1.4 раза) со снижением нормы расхода ДВ заметно проявилось при обработке семян наносуспензией ТБК. Микрокапсулы ТБК на основе Na-КМЦ сдерживали рост корней 3-суточных проростков

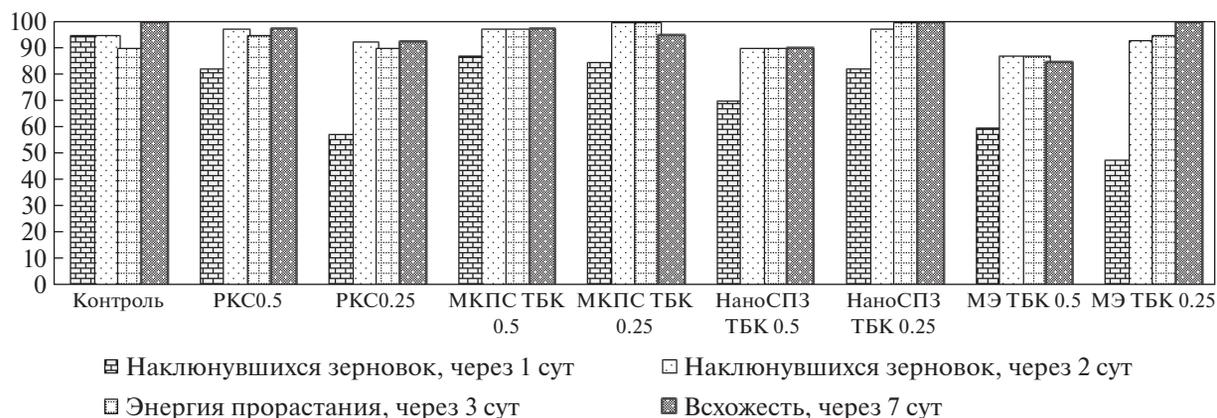


Рис. 1. Влияние препаративных форм тебуконазола на прорастание зерновок яровой пшеницы во влажной камере, %.

слабее (на 10.2 и 9.2% соответственно нормам расхода), нано- и микроэмульсия ТБК – сильнее (на 44.7 и 35.6, 48.6 и 31.6%). Со снижением их норм расхода ретардантный эффект ослабевал в 1.0, 1.25 и 1.53 раза соответственно. Аналогичная направленность прослежена для показателя высоты проростка. Он слабо отличался от контроля при использовании микрокапсул ТБК и значительно – при обработке семян наносуспезией ТБК в обеих нормах расхода (меньше на 47.0 и 29.7%) и микроэмульсии ТБК в норме расхода 0.5 л/т – на 50.3%. На 8-е сут число сформировавшихся корней превышало контроль (4.35 шт./проросток) при использовании обеих норм расхода коммерческого фунгицида Раксил, КС (на 4.8 и 3.2%) и микроэмульсии ТБК (на 7.6 и 3.0%). Микрокапсулы ТБК и его наносуспезия по-прежнему оказывали ретардантный эффект. Наиболее сильное ингибирующее влияние оказала нано-

суспезия, использованная в норме 0.5 л/т. В этом случае количество корней у 7-суточного проростка разнилось с контролем на 7.4% (табл. 4).

Развитие 7-суточных ростков не угнетало только лишь использование микрокапсул ТБК на основе Na-КМЦ. Остальные изученные препараты тормозили развитие проростков не только относительно чистого контроля (на 31 и 21.4% – наносуспезия ТБК, на 24.8 и 10.0% – микроэмульсия ТБК), но и химического эталона (на 16.8 и 9.3% – наносуспезия ТБК, на 19.3 и 7.6% – микроэмульсия ТБК). Накопленная биомасса заметно превысила контроль только при прорастивании зерновок, обработанных микрокапсулами ТБК на основе Na-КМЦ: при их использовании в норме расхода 0.5 л/т возрастала масса проростков (на 10.7%), в норме расхода 0.25 л/т – корней 1-го проростка (на 18%). В остальных вариантах, за исключением наносуспезии ТБК, негативно по-

Таблица 3. Влияние препаративных форм тебуконазола на развитие проростков яровой пшеницы (субстрат – фильтровальная бумага, через 3 сут)

Вариант	Число корней, шт./проросток	Суммарная длина корней 1-го проростка	Средняя длина 1-го корня	Высота проростка
		см		
Контроль	3.86	15.8 ± 0.4	4.10	3.64 ± 0.07
Раксил, 0.5	3.32	9.82 ± 0.30	2.96	2.28 ± 0.10
Раксил, 0.25	3.17	11.0 ± 0.3	3.48	2.82 ± 0.08
Микрокапсулы ТБК, 0.5	3.64	14.2 ± 0.5	3.91	3.56 ± 0.08
Микрокапсулы ТБК, 0.25	3.70	14.4 ± 0.5	3.89	3.54 ± 0.09
Наносуспезия ТБК, 0.5	3.11	8.76 ± 0.39	2.82	1.93 ± 0.10
Наносуспезия ТБК, 0.25	3.33	10.2 ± 0.5	3.06	2.56 ± 0.15
Микроэмульсия ТБК, 0.5	3.14	8.14 ± 0.39	2.59	1.81 ± 0.15
Микроэмульсия ТБК, 0.25	3.18	10.8 ± 0.4	3.41	3.46 ± 0.73

Таблица 4. Влияние разных препаративных форм тебуконазола на развитие проростков пшеницы (субстрат – фильтровальная бумага, через 7 сут)

Вариант	Число корней, шт./проросток	Высота проростка, см	Биомасса воздушно-сухая, мг	
			1 проростка	корней 1-го проростка
Контроль	4.35	10.1 ± 0.3	6.25 ± 0.48	6.00 ± 0.41
Раксил, 0.5	4.56	8.40 ± 0.24	5.36 ± 0.39	6.93 ± 0.42
Раксил, 0.25	4.49	9.86 ± 0.26	6.43 ± 0.34	5.93 ± 0.42
Микрокапсулы ТБК, 0.5	4.62	10.7 ± 0.2	6.92 ± 0.08	5.90 ± 0.10
Микрокапсулы ТБК, 0.25	4.34	10.4 ± 0.3	6.31 ± 0.24	7.08 ± 0.35
Наносуспензия ТБК, 0.5	4.03	6.99 ± 0.31	5.25 ± 0.25	5.50 ± 0.29
Наносуспензия ТБК, 0.25	4.43	7.96 ± 0.34	5.75 ± 0.48	5.75 ± 0.48
Микроэмульсия ТБК, 0.5	4.68	7.62 ± 0.37	6.38 ± 0.55	5.25 ± 0.25
Микроэмульсия ТБК, 0.25	4.48	9.11 ± 0.25	7.00 ± 0.41	5.50 ± 0.29

вливающего на накопление массы проростков, надземная масса сформировалась на уровне чистого контроля, масса корней – ниже такового.

Изучение воздействия препаративных форм ТБК на рост и развитие проростков яровой мягкой пшеницы, сформировавшихся из обработанных ими зерновок, в почвенном субстрате. При смене ФБ-субстрата на почвенный интенсивность развития проростков в вариантах опыта различалась и уступала таковой в контроле в обе даты учета (рис. 2).

Высота 3-суточных проростков снижалась на 34.9 и 18.8% при использовании микрокапсул ТБК, на 30.9 и 39.5% – наносуспензии ТБК, на 51.4 и 30.0% – микроэмульсии ТБК, на 31.1 и

13.9% – Раксила; 7-суточных – соответственно на 24.5 и 13.7, 34.4 и 34.8, 44.0 и 15.3, 23.9 и 18.5%. По истечении 7-ми сут биомасса проростков составила в контроле 18.5 ± 1.4 мг, при применении Раксила – 18.1 ± 0.9 и 20.5 ± 0.5 мг, микрокапсул ТБК – 18.2 ± 2.0 и 24.5 ± 1.7 мг, наносуспензии ТБК – 19.8 ± 3.7 и 14.0 ± 0.7 мг, микроэмульсии – 17.1 ± 0.4 и 18.3 ± 0.9 мг. Надземная часть интенсивнее развивалась при проращивании семян, обработанных микрокапсулами ТБК на основе Na-КМЦ, 0.25 кг/т, что было сопоставимо со скоростью роста, отмеченной в варианте с применением пониженной нормы расхода коммерческого фунгицида (рис. 3).

Биомасса проростков, защищенных микрокапсулами ТБК в пониженной норме расхода, достига-

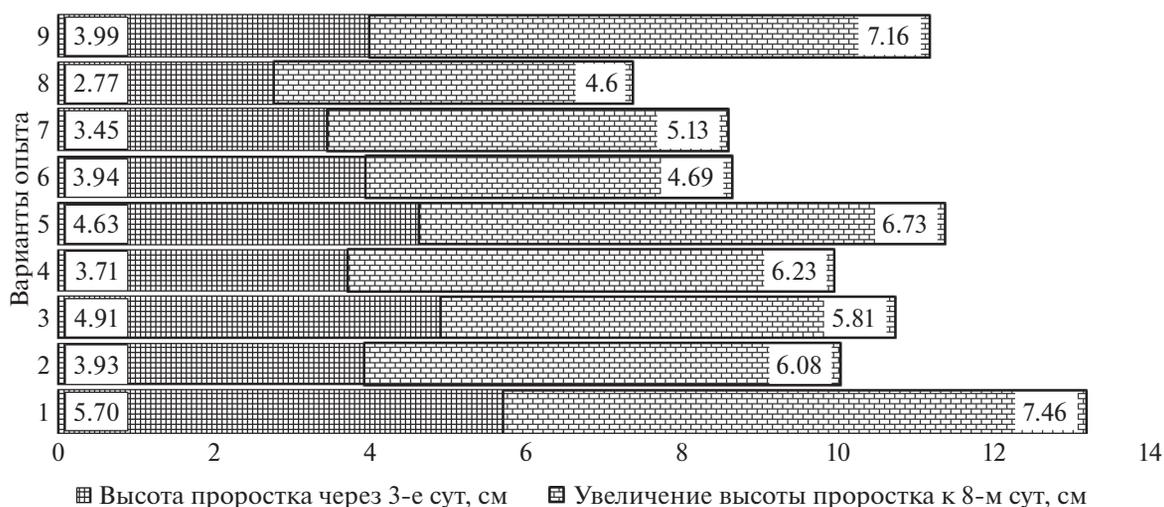


Рис. 2. Влияние препаративных форм тебуконазола (ТБК) на прорастание зерновок яровой пшеницы в почвенном субстрате, варианты: 1 – контроль, 2 и 3 – Раксил, КС, 0.5 и 0.25 л/т, 4 и 5 – микрокапсулы ТБК на основе Na-КМЦ, 0.5 и 0.25 кг/т, 6 и 7 – наносуспензия ТБК, 0.5 и 0.25 л/т, 8 и 9 – микроэмульсия ТБК, 0.5 и 0.25 л/т. То же на рис. 3.

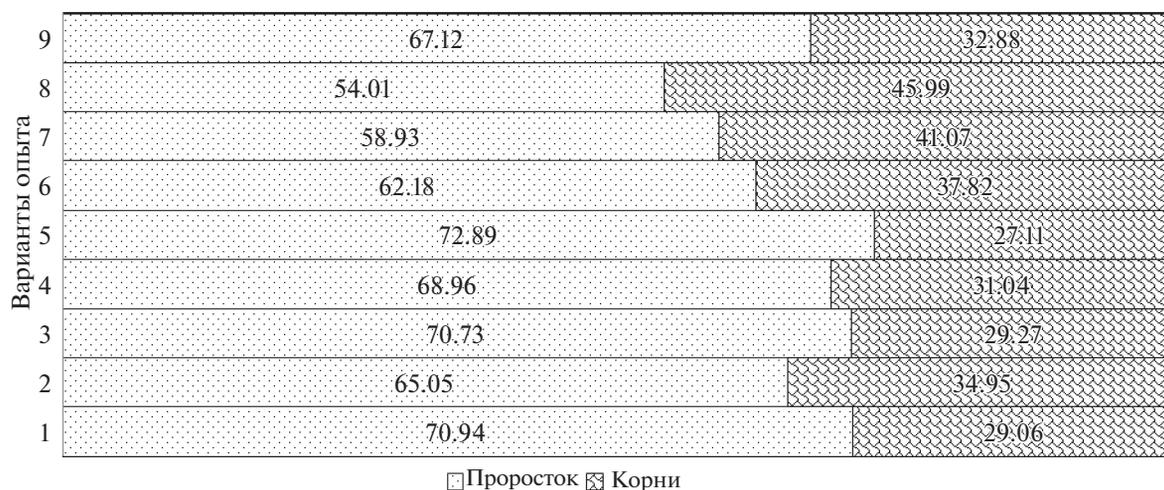


Рис. 3. Соотношение биомассы (воздушно-сухой, %) проросток : корни у проростков пшеницы, выросших из семян, обработанных препаративными формами тебуконазола (субстрат – чернозем выщелоченный, через 7 сут).

ла наибольшей в опыте величины (17.8 ± 1.5 мг), что было больше чистого контроля и применения Раксила, 0.25 в 1.3 и 1.2 раза соответственно. Корневая система не угнеталась при проращивании зерновок, обработанных микроэмульсией ТБК с нормой расхода 0.5 л/т, на что указывала значительно более высокая (в 1.5 раза), чем в чистом контроле, биомасса корней 1-го проростка. На почвенном субстрате все семена яровой пшеницы, обработанные препаративными формами ТБК, обладали энергией прорастания и всхожестью на уровне ГОСТ. Эти показатели достигали максимума (100%) в случае применения обеих норм расхода микроэмульсии, микрокапсул на основе Na-КМЦ и наносуспензии ТБК с пониженной нормой расхода. Симптомы поражения обыкновенной корневой гнилью во всех вариантах не обнаружены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью разработки эффективных фунгицидных протравителей зерновых культур на основе тебуконазола (ТБК) проведены исследования по созданию его альтернативных препаративных форм и приготовлены микрокапсулированная, микроэмульсионная и наносуспензионная формы, которые легко образовывали стабильные рабочие растворы для проведения процесса протравливания семян.

Препараты переданы на биологические испытания. На основании лабораторных исследований сделан вывод, что все изученные препаративные формы тебуконазола обладают высоким фунгицидным свойством против возбудителей

обыкновенной корневой гнили *B. sorokiniana* и *Fusarium* spp. Повышенные нормы расхода ТБК в виде наносуспензии и микроэмульсии способны снижать уровень альтернариозной инфекции. Наибольший оздоровительный эффект у проростков яровой пшеницы наблюдали при обработке семян наносуспензией тебуконазола с нормой расхода 0.5 л/т (100%), несколько меньший (94.9–95.2%) – микроэмульсией. Во всех 3-х экспериментах по изучению обработки семян яровой мягкой пшеницы препаративными формами тебуконазола проявлялись их ретардантные свойства, которые зависели от формы и нормы расхода фунгицида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власенко Н.Г. К вопросу об агротехнологиях вообще и фитосанитарных технологиях в частности // Вестн. защиты раст. 2008. № 2. С. 3–10.
2. Кекало А.Ю., Немченко В.В., Заргарян Н.Ю., Филиппов А.С. Фитосанитарные проблемы пшеничного поля и эффективность средств защиты от болезней // Агрохимия. 2020. № 10. С. 45–50.
3. Жемчужин С.Г., Спиридонов Ю.Я., Клейменова И.Ю., Босак Г.С. Нанотехнологии и пестициды (дайджест публикаций за 2011–2017 гг.) // Агрохимия. 2019. № 8. С. 89–96.
4. Захаренко В.А. Нанофитосанитария – научное направление, объединяющее нанотехнологию и современную защиту растений. Ч. 1. Общая концепция // Агрохимия. 2011. № 3. С. 3–16.
5. Малюга А.А., Чуликова Н.С., Халиков С.С. Эффективность инновационных препаратов на основе тебуконазола, тирама и карбендазима против болезнетворной картофеля // Агрохимия. 2020. № 7. С. 57–67.
6. Volova T.G., Prudnikova S.V., Zhila N.O. Fungicidal activity of slow-release P(3НВ)/ТЕВ formulations in

- wheat plant communities infected by *Fusarium moniliforme* // Environ. Sci. Pollut. Res. 2018. V. 25. I. 1. P. 552–561.
7. Перфильева А.И., Ножкина О.А., Граскова И.А., Забанова Н.С., Клименков И.В., Александрова Г.П., Сухов Б.Г. Влияние нанокompозита селена и арабиногалактана на колонизацию растений картофеля *in vitro* возбудителем кольцевой гнили // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. 2020. Т. 32. С. 3–17. <https://doi.org/10.26516/2073–3372.2020.32.3>
 8. El-Sayed S.A., Abdel-Monaim M.F. Integrated control management of root rot disease in lupine plants by using some bioagents, chemical inducers and fungicides // Plant. Sci. Agr. Res. 2017. V. 1. № 1 : 2. P. 1–8.
 9. Perelló A., Gruhlke M., Slusarenko A.J. Effect of garlic extract on seed germination, seedling health, and vigor of pathogen-infested wheat // J. Plant Protect. Res. 2013. V. 53. № 4. С. 317–323. <https://doi.org/10.2478/jppr-2013-0048>
 10. Asrar J., Ding Y., La Monica R.E., Ness L.C. Controlled release of tebuconazole from a polymer matrix micro-particle: release kinetics and length of efficacy // J. Agric. Food Chem. 2004. № 52. P. 4814–4820. <https://doi.org/10.1021/jf0306385>
 11. Banik S., Pérez-de-Luque A. *In vitro* effects of copper nanoparticles on plant pathogens, beneficial microbes and crop plants // Spanish J. Agricult. Res. 2017. V. 15. I. 2. e1005. <https://doi.org/10.5424/sjar/2017152-10305>
 12. Немченко В.В., Кекало А.Ю., Заргарян Н.Ю., Цыпышева М.Ю. Протравливание семян – первая ступень получения защищенного и продуктивного агроценоза // Защита и карантин раст. 2014. № 3. С. 22–24.
 13. Schwinn F. Seed treatment, progress, and prospects. Proceedings of a symposium organised by the British Crop Protection Council and the Pesticides Group of the Society of Chemical Industry and held at the University of Kent, Canterbury on 5–7 January 1994. Surrey, UK: British Crop Protection Council in Farnham, 1994. 482 p.
 14. Forsberg G., Kristensen L., Eibel P., Titone P., Haiti W. Sensitivity of cereal seeds to short duration treatment with hot, humid air // J. Plant Disease Protect. 2003. V. 110 (1). P. 1–16.
 15. Edgington L.V., Martin R.A., Bruin G.C., Parsons I.M. Systemic fungicides: a perspective after 10 years. Plant Disease. 1980. V. 64 (1). P. 20–23.
 16. Гришечкина Л.Д., Долженко В.И., Кунгурцева О.В., Ишкова Т.И., Здрожевская С.Д. Развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов // Агрохимия. 2020. № 9. С. 32–47.
 17. Pontzen R., Scheinpflug H. Effects of triazole fungicides on sterol biosynthesis during spore germination of *Botrytis cinerea*, *Venturia inaequalis* and *Puccinia graminis* f. sp. Tritici // Netherland. J. Plant Pathol. 1989. V. 95. P. 151–160.
 18. Montfort F., Klepper B.L., Smiley R.W. Effects of two triazole seed treatments, triticonazole and triadimenol, on growth and development of wheat // Pest Manag. Sci. 1996. V. 46. P. 299–306.
 19. Korsukova A.V., Gornostai T.G., Grabeinykh O.I., Dorofeev N.V., Pobezhimova T.P., Sokolova N.A., Dudareva L.V., Voinikov V.K. Tebuconazole regulates fatty acid composition of etiolated winter wheat seed lings // J. Stress Physiol. Biochem. 2016. V. 12 (2). P. 72–79.
 20. Karakotov S.D., Saraev P.V. Preparative forms of modern pesticides // Adaptively-integrated plant protection. M.: Printing city, 2019. P. 65–76.
 21. Khalikov S.S., Dushkin A.V., Davletov R.D., Evseenko V.I. Creation of innovative fungicidal agents based on tebuconazole with the involvement of mechanochemical processes // Fund. Res. 2013. V. 12 (10). P. 2695–2700.
 22. Теплякова О.И., Власенко Н.Г., Душкин А.В., Халиков С.С. Влияние обработки семян механокомпозициями тебуконазола на накопление спор *Bipolaris sorokiniana* Шоет. в черноземе выщелоченном // Агрохимия. 2018. № 5. С. 33–38. <https://doi.org/10.7868/S0002188118050058>
 23. Vlasenko N.G., Khalikov S.S., Burlakova S.V. Flexible technology of protectants for grain seeds // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 548 082003. P. 10. <https://doi.org/10.1088/1755–1315/548/8/082003>
 24. Selyutina O.Y., Khalikov S.S., Polyakov N.E. Arabinogalactan and glycyrrhizin based nanopesticides as novel delivery systems for plant protection // Environ. Sci. Pollut. Res. 2020. V. 27. P. 5864–5872. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07397-9>
 25. Karakotov S.D. The Benefits and economic exit of CVS // Inter. Agricult. J. 2015. V. 1. P. 9–14.
 26. Постовалов А.а. Оценка эффективности предпосевной обработки семян яровой пшеницы препаратами в борьбе с корневой гнилью // Вестн. Курган. ГСХА. 2018. № 2. С. 60–62.
 27. Гришечкина Л.Д. Фунгициды на основе тебуконазола в борьбе с фузариозом колоса хлебных злаков // Зерн. хоз-во. 2012. № 4. С. 59–64.
 28. Гришечкина Л.Д., Долженко В.И., Кунгурцева О.В., Ишкова Т.И., Здрожевская С.Д. развитие исследований по формированию современного ассортимента фунгицидов // Агрохимия. 2020. № 9. С. 32–47.
 29. Хижняк С.В. Чувствительность фитопатогенных грибов рр. *Bipolaris* и *Fusarium* к фунгицидам разного химического состава // Вестн. КрасГАУ. 2015. № 12. С. 3–10.
 30. Теплякова О.И., Власенко Н.Г., Душкин А.В. Супрамолекулярные комплексы тебуконазола с веществами экстракта корнев солодки – эффективные фунгициды для защиты яровой пшеницы от обыкновенной корневой гнили // Агрохимия. 2020. № 5. С. 31–37.
 31. Mishra S., Singh B.R., Singh A., Keswani C., Naqvi A.H., Singh H.B. Biofabricated silver nanoparticles act as a strong fungicide against *Bipolaris sorokiniana* causing spot blotch disease in wheat // PLoS ONE. 2014. V. 9 (5). e97881. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097881>
 32. Volova T., Zhila N., Vinogradova O., Shumilova A., Prudnikova S., Shishatskaya E. Characterization of bio-

- degradable poly-3-hydroxybutyrate films and pellets loaded with the fungicide tebuconazole // Environ. Sci. Pollut. Res. 2016. V. 23 (6). P. 5243–5254. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5739-1>
33. *Shershneva A.V., Murueva A.V., Zhila N.O., Volova T.G.* Antifungal activity of P3HB microparticles containing tebuconazole // J. Environ. Sci. Health. Part B. 2019. T. 54. № 3. P. 196–204.
34. *Díaz-Blancas V., Medina D. I., Padilla-Ortega E., Bortolini-Zavala R., Olvera-Romero M., Luna-Bárceñas G.* Nanoemulsion formulations of fungicide tebuconazole for agricultural applications // Molecules. 2016. V. 21(10). P. 1271. <https://doi.org/10.3390/molecules21101271>
35. *Побезимова Т.П., Корсукова А.В., Дорофеев Н.В., Грабельных О.И.* Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы // Изв. вузов. Прикл. хим. и биотехнол. 2019. Т. 9. № 3. С. 461–476. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476>
36. *Zhang C., Wang Q., Zhang B., Zhang F., Liu P., Zhou S., Liu X.* Hormonal and enzymatic responses of maize seedlings to chilling stress as affected by triazoles seed treatments // Plant Physiol. Biochem. 2020. V. 148. P. 220–223.
37. *Paranjape K., Gowariker V., Krishnamurthy V.N., Gowariker S.* The pesticide encyclopedia. CABI, 2014. 725 p.
38. Продукция компании СРKelco. <http://cpkelco.com/products/cellulosegum>
39. Продукция компании ООО “Вистерра”. <https://altaimag.ru/brands/visterra/?yclid=663881714528189118>
40. *Столбовская Н.В., Зорина А.В., Перельгина И.Э., Ляпун Д.В.* Физико-химические свойства сульфосукцинатов диэтаноламидов некоторых жирных кислот // Конденсированные среды и межфазные границы. 2015. Т. 17. № 4. С. 526–533.
41. Пат. РФ 2522267 (2012). *Быковская Е.Е., Кролевец А.А.* Способ инкапсуляции фенбендазола. Опубл. 10.07.2014.
42. Пат. РФ 2 481 822 (2012). *Севастьянов В.И., Саломатина Л.А., Кузнецова Е.Г., Тихобаева А.А.* Микроэмульсионные композиции для создания трансдермальных и трансмукозальных форм фармацевтических средств и косметических препаратов и способ их получения. Опубл. 20.05.2013.
43. *Selyutina O.Yu., Polyakov N.E., Korneev D.V., Zaitsev B.N.* Influence of glycyrrhizin on permeability and elasticity of cell membrane: perspectives for drugs delivery // Drug Deliv. 2014. P. 1–8. <https://doi.org/10.3109/10717544.2014.919544>
44. Химическая защита растений / Под ред. Груздева Г.С. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1987. 415 с.

Effect of Preparative Forms of Tebukonazole on Phytosanitary State of Treated Seeds, Growth and Development of Sprouts of Spring Soft Wheat

S. S. Khalikov^{a,#}, O. I. Teplyakova^{b,##}, and N. G. Vlasenko^{b,###}

^a*A.N. Nesmeyanov Institute of Organoelement Compounds RAS
ul. Vavilova 28, Moscow, 119991, Russia*

^b*Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies RAS
Novosibirsk district, Novosibirsk region, r.p. Krasnoobsk 630501, Russia*

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

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

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

Comprehensive protection of plants from diseases, pests and weeds is the most important element of agricultural technology. The use of fungicides is important not only to increase the yield of plants, but also to obtain a high quality harvest. The significant spread of such diseases as wheat fusarium, wheat and rye rust, ergot rye, etc., not only reduces the productivity of agricultural crops, but also prevents the use of grain crops both for humans and for animal feed. Therefore, the problem of creating both new drugs for plant protection and their effective formulations is very urgent. A feature of the modern level of scientific research in the field of plant protection is the development of new nanoscale forms of plant protection products with a convenient and technological form of application for farmers, improved penetration of the active substance into plant tissues, with reduced consumption and application rates, as well as using complexes with biological additives and chemical inductors. Nanopesticides based on natural metabolites have been studied as environmentally and economically sustainable alternatives for plant protection. This research is aimed at developing alternative formulations (microcapsules, nanosuspensions and microemulsions) for treating wheat seeds against pathogenic microorganisms and assessing their biological activity. The results of the study revealed a high activity of the developed drugs against pathogenic microflora with a low retardant effect.

Key words: tebuconazole, plant metabolites, formulations, biological effectiveness.

УДК 631.445.42:546.16:546.14(571.15)

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФТОРА И БРОМА В ЧЕРНОЗЕМАХ ОПОДЗОЛЕННЫХ ГОРНОГО АЛТАЯ

© 2022 г. Г. А. Конарбаева^{1,*}, Е. Н. Смоленцева¹

¹Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090 Новосибирск, просп. Лаврентьева, 8/2, Россия

*E-mail: konarbaeva@issa.nsc.ru

Поступила в редакцию 22.07.2021 г.

После доработки 18.08.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

Изучены закономерности содержания и распределения галогенов (фтора и брома) в черноземах оподзоленных на территории Горного Алтая. Основные факторы, влияющие на аккумуляцию и миграцию данных галогенов в этих почвах аналогичны тем, что были уже отмечены и в других подтипах черноземов Западной Сибири. К ним относятся реакция почвенной среды, содержание гумуса, гранулометрический состав и водный режим. В черноземе оподзоленном валовое содержание фтора и брома, а также и подвижная форма фтора, согласно литературным данным, не превышают допустимых пределов. Содержание водорастворимой формы фтора значительно меньше ПДК, в то время как водорастворимая форма брома, на которую отсутствует ПДК, либо не обнаружена, либо имеет очень низкую концентрацию.

Ключевые слова: Горный Алтай, черноземы оподзоленные, фтор, бром.

DOI: 10.31857/S0002188122020077

ВВЕДЕНИЕ

Изучение взаимодействий между живыми организмами и природной средой является одним из актуальных направлений современной науки. В связи с этим оценка эколого-геохимического статуса почв, частью которого являются показатели содержания различных элементов, в том числе и галогенов, имеет важное научное и практическое значение.

Необходимость галогенов для нормальной жизнедеятельности живых организмов установлена давно (за исключением брома) [1–4]. Значимость брома доказана недавно американскими исследователями [5]. Как и в случае с другими микроэлементами огромную роль играет не только присутствие галогенов в объектах окружающей среды, но и в каких концентрациях они находятся. Очевидно, следует согласиться с мнением Мельничука о том, что "... токсичность элемента не противоречит его биологической необходимости, и что самый токсичный элемент имеет узкое "концентрационное окно", внутри которого он становится необходимым" [6].

Фтор и особенно бром являются наименее изученными галогенами в природных системах Сибири, в том числе и в почвах. Об этом, например, свидетельствует тот факт, что предельно до-

пустимая концентрация (ПДК) валового содержания этих элементов в почвах до настоящего времени не установлена.

Актуальность исследования фтора обусловлена его важной ролью в жизнедеятельности различных организмов. Известно, что дефицит фтора в организме приводит к кариесу, избыток – к поражению зубов и скелета, остеопорозу. Негативное влияние фтора на растения проявляется в подавлении синтеза крахмала, уменьшения содержания хлорофилла [3], также высказано мнение, что почвы служат источником поступления фтора в атмосферу [7].

Влияние дефицита брома на живые организмы не установлено, однако общеизвестным является его седативное действие. Вместе с тем бром может оказывать негативное влияние на физиологические функции живых организмов и быть причиной развития некоторых заболеваний, например, бромизм и бромодерма [4]. По мнению некоторых исследователей, бром для человека является токсичным при любом пути его попадания в организм [5]. Негативное влияние брома на здоровье человека связано с тем, что он способствует образованию мочекаменной болезни [8]. Потребление воды с высоким содержанием брома и бора приводит к болезни органов пищеварения [9].

Найдена связь между развитием рака печени и содержанием брома в водах [10], а также его накопление в окружающей среде может усиливать дефицит йода [11]. Бром – сильный конкурент йода за активные центры ферментов и способен препятствовать его поглощению, а также снижать его количество в щитовидной железе [12, 13]. Бром может быть токсичным и для растений, т.к. способен замещать необходимый для них хлор.

Длительный период бром относили к условно необходимым элементам. Но недавно американские исследователи установили [5], что без брома молекулы коллагена IV типа, которые играют важную роль в сохранении целостности эпителиальных и эндотелиальных клеточных оболочек, не могут связываться друг с другом должным образом для образования структурного белка соединительной ткани, что может привести к нарушению ее развития. Эксперимент показал, что бром является эссенциальным для всех живых организмов. Теперь, когда установлена эссенциальность брома, надеемся, что начнется более активное его изучение в природных объектах, в том числе и в почвах.

Одной из причин недостаточного внимания к изучению брома является трудность определения его в биологических объектах, а также сложность отделения его от хлоридов. Экологическая оценка содержания брома в почвах затруднена в связи с отсутствием государственных нормативов и ПДК.

Работы по вопросам аккумуляции и миграции брома в окружающей среде, в том числе и в почвах, немногочисленны. Имеются данные валового содержания брома и его водорастворимой формы в зональных и интразональных почвах юга Западной Сибири [14, 15], валового содержания брома в почвах Томской обл. [16–18].

Изученность форм соединений фтора и особенно брома, прежде всего их подвижных и водорастворимых форм в почвах, также довольно слабая. В то же время водорастворимая форма – самая миграционно способная и доступная для растений, поэтому существует вероятность загрязнения ею пищевой цепи. В нашем исследовании уделено внимание содержанию и распределению этих форм изученных элементов.

Изучая содержание галогенов в природных объектах Западной Сибири (почвах, водах и растениях), пришли к выводу, что необходима оценка экологического риска, которая позволит показать действие природных и антропогенных факторов на состояние окружающей среды и живых организмов. Однако считаем, что количественные показатели такой оценки не должны опи-

раться на валовое содержание элемента-загрязнителя. Объективней использовать для этих целей данные содержания подвижных форм, т.к. именно они формируют геохимическую ситуацию и обеспечивают поток химических элементов в растения, а затем в животных и человека. В то же время необходимо отметить, что подвижные формы не могут быть полностью усвоены растительностью. Существует несколько процессов, препятствующих этому: реакции образования труднорастворимых и комплексных соединений с участием элемента-загрязнителя или токсиканта, защитные возможности самого растения и свойственная ему избирательность в поглощении химических элементов. Например, в результате образования комплексного аниона $[BF_4]^-$ сразу снижается негативное влияние на растения фтора и бора. Помимо защитных механизмов, в растениях работает и механизм избирательного отношения к ионам, который обеспечивает более интенсивное поглощение дефицитного элемента и активное задержание избыточных. За счет этих процессов в растениях поддерживается необходимый элементный химический состав. Вот почему очень важным является изучение подвижных форм элементов, и прежде всего водорастворимой.

Цель работы – установить основные закономерности распределения в черноземах оподзоленных Горного Алтая валового содержания, подвижной и водорастворимой форм фтора и водорастворимой брома, а также оценить вероятность экологического риска загрязнения почв этими галогенами.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение галогенов в почвах Западной Сибири было решено дополнить исследованиями почв Горного Алтая, сосредоточив свое внимание на черноземах оподзоленных, которые преобладают в составе сельскохозяйственных угодий в северной его части. Эти почвы играют важную роль в формировании качества подземных и поверхностных вод региона, влияют на химический состав растений, многие из которых являются сельскохозяйственными, кормовыми и лекарственными культурами. Поэтому информация о содержании в них галогенов является необходимой для оценки геохимического статуса почв и экологической ситуации в регионе.

Объекты исследования расположены на территории Майминского р-на Республики Алтай. Регион характеризуется сильнорасчлененным холмисто-увалистым рельефом, прохладным влаж-

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Вариант (разрез, угодье)	Название почвы по классификации		Высота, м (н.у.м.)/ПЛ
	1977 г.	2004 г.	
1–20, залежь 1 (25 лет)	Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	Агрочернозем глинисто-иллювиальный элювирированный постагрогенный	535/ЭЛ
2–20, залежь 2 (17 лет)	Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	Агрочернозем глинисто-иллювиальный элювирированный постагрогенный	448/ТА
3–20, целина	Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	Чернозем глинисто-иллювиальный элювирированный	526/ТЭ
4–20, пашня	Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый	Агрочернозем темный глинисто-иллювиальный элювирированный	390/ТА

Примечание. ПЛ – позиция в ландшафте: ЭЛ – элювиальная, ТЭ – транзитно-элювиальная, ТА – транзитно-аккумулятивная позиция.

ным климатом со среднегодовой температурой воздуха 0.1–3.0°C и годовой нормой осадков 500–700 мм [19]. Абсолютные отметки высот варьируются в пределах 300–600 м над уровнем моря (н.у.м.). Почвообразующими породами являются делювиальные лессовидные карбонатные суглинки тяжелого гранулометрического состава [20]. В этих условиях формируются черноземы выщелоченные и оподзоленные. В прошлом веке эти почвы были повсеместно распаханы [19]. В настоящее время большая их часть находится под залежью, на которых уже сформировался естественный растительный покров.

Изучены 4 разреза черноземов оподзоленных тяжелосуглинистых под различными видами угодий: целина, пашня и 2 залежи (17- и 25-летняя) (табл. 1). Особенностью выбранных объектов является различное их положение в рельефе. Три разреза образуют каскадно-геохимическую систему [21], включающую элювиальную позицию (ЭЛ, разрез 1–20), транзитно-элювиальную (ТЭ, разрез 3–20) и транзитно-аккумулятивную (ТА, разрез 2–20). Разрез 4–20 (пашня) расположен на другом участке и занимает также ТА-позицию. Название почв приведены по 2-м классификациям: 1977 г. [22] и 2004 г. с дополнениями [23, 24]. Индексы горизонтов приведены в соответствии с [24].

Отбор почвенных образцов проводили в пределах гумусового горизонта послойно с глубины 0–5, 5–10, 10–20, 20–30, 30–40 см. В нижележащей толще почвенные образцы отобраны по генетическим горизонтам. В образцах определяли следующие показатели: содержание органического углерода ($C_{орг}$) по методу Тюрина, содержание карбонатов – газовой методикой, рН водной и солевой суспензий – потенциометрическим методом, обменные основания

(Ca^{2+} и Mg^{2+}) – методом Шолленберга [25], с последующим определением катионов методом пламенной фотометрии. Анализ гранулометрического состава проводили пипет-методом с предварительной обработкой образцов пирофосфатом натрия [26].

Для характеристики галогенов в почвенных образцах определяли валовое содержание, подвижную и водорастворимую форму фтора, а также валовое содержание и водорастворимую форму брома. Анализ каждого галогена требует предварительного выделения, что делает их анализ сложным в методическом плане. Валовое содержание фтора определяли комплексным методом, включавшем 2 последовательные стадии: первая – это сплавление почвы и перевод галогена в раствор по [27], вторая – конечное определение фтора с ионоселективным электродом по [28]. Подвижную форму этого галогена определили с ализаринкомплексом [29], водорастворимую форму – потенциометрическим методом с использованием фторидселективного электрода. Валовое содержание брома определяли по методикам Каменева (первая часть анализа, включающая перевод пробы в раствор [30] и конечное определение по методу Винклера, описанному в монографии Полянского [31]). Водорастворимую форму брома анализировали из водной вытяжки в соотношении почва : вода = 1 : 4, после центрифугирования бром в растворе также определяли по методу Винклера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Черноземы оподзоленные Горного Алтая характеризуются особенностями морфологии и свойств. Профиль почв хорошо дифференциро-

Таблица 2. Физико-химические свойства черноземов оподзоленных Горного Алтая

Горизонт	Образец, см	рН		Обменные катионы		Гумус	CaCO ₃	Ил	Физическая глина
		H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺				
				ммоль/100 г					
Разрез 1–20ГА, чернозем оподзоленный (залежь 25 лет)									
Ad	0–5	5.7	4.9	21.0	8.2	8.1	2.2	15.1	49.2
AУра	5–10	5.8	4.4	23.8	5.6	6.8	2.4	22.2	60.7
AУра	10–20	5.6	4.4	23.8	5.0	4.4	3.1	24.2	61.2
AU	20–30	5.8	4.5	18.2	4.5	5.4	3.1	22.4	58.9
AU	30–40	5.8	4.2	22.4	4.3	4.7	2.6	н/о	н/о
AB	40–50	5.9	4.2	24.3	2.9	4.6	2.2	31.2	68.0
BI	60–70	6.1	4.1	22.5	2.5	1.4	2.2	37.5	69.1
BI	80–90	6.5	5.5	18.4	3.6	0.6	2.7	35.7	67.0
BCca	90–100	8.0	Не обнаружено			0.4	6.1	33.1	65.2
Разрез 2–20ГА, чернозем оподзоленный (залежь 17 лет)									
AУра	0–5	5.8	4.7	22.4	4.4	6.6	1.8	27.7	60.8
AУра	5–10	5.9	4.6	19.6	4.1	5.4	1.8	28.6	64.3
AУра	10–20	6.0	4.6	30.8	5.4	4.8	2.2	34.6	69.5
AU	20–30	6.1	4.7	30.9	4.8	6.1	2.2	31.8	68.4
AU	30–40	6.0	4.8	12.0	1.4	7.5	1.8	Не обнаружено	
AU	40–50	6.1	4.5	24.8	3.9	1.2	1.8	34.7	69.0
BI	60–70	5.9	4.0	14.0	4.8	6.6	2.6	39.5	70.0
Разрез 3–20ГА, чернозем оподзоленный (целина)									
AUd	0–5	5.4	4.5	23.1	4.6	12.4	1.7	9.8	39.0
AUd	5–10	5.3	4.3	26.0	4.8	12.1	1.7	10.7	41.2
AU	10–20	5.4	4.2	25.4	4.1	10.3	2.2	11.5	44.5
AU	20–30	5.5	4.2	25.2	3.9	7.5	2.2	19.8	56.2
AB	30–40	5.6	4.0	24.8	3.6	3.8	2.1	29.2	65.6
BI	40–50	5.6	3.9	24.6	3.3	2.3	2.4	31.5	65.0
BI	70–80	5.9	3.8	26.7	3.0	0.4	2.4	40.3	68.6
BM	90–100	6.2	4.0	27.2	3.6	0.2	3.5	42.0	69.0
Разрез 4–20ГА, чернозем оподзоленный (пашня)									
PU	0–5	5.8	4.4	23.8	4.2	4.3	2.1	25.7	61.3
PU	5–10	5.9	4.5	22.7	3.8	4.8	2.4	24.6	60.0
PU	10–20	5.9	4.6	23.5	4.0	5.9	2.4	23.3	59.8
PU	20–30	5.9	4.4	23.7	3.7	5.9	2.4	21.7	59.6
BI	30–40	5.8	3.8	19.4	2.7	0.8	2.1	29.6	59.2
BI	55–65	6.0	3.9	20.6	3.2	0.7	2.6	34.3	61.8

ван на генетические горизонты. Все изученные почвы имеют хорошо развитый темноокрашенный гумусово-аккумулятивный горизонт, мощность которого составляет 30 см в пахотной почве и 40–50 см – в остальных. Ниже гумусового горизонта расположен уплотненный иллювиальный горизонт с ореховато-мелко-призматической

структурой. Элювиально-иллювиальная дифференциация в почвенных профилях фиксируется по следующим признакам: выщелоченность карбонатов за пределы профиля во всех почвах, кроме разреза 1–20, кремнеземистая присыпка в нижней части гумусового горизонта и под ним, иллювиирование физической глины и ила и обра-

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между содержанием ила и фтора

Вариант, разрез	Валовой фтор–ил	Подвижный фтор–ил	Водорастворимый фтор–ил
1–20	0.64	0.89	0.35
2–20	0.48	–0.65	–0.71
3–20	0.65	0.83	0.81
4–20	0.97	0.94	0.90

зование глинистых кутан на поверхности агрегатов в средней части профиля. Эти признаки являются результатом периодически промывного типа водного режима [20].

Гранулометрический состав изученных черноземов преимущественно тяжелосуглинистый и глинистый (59–70% физической глины) с высоким содержанием ила, максимум которого в каждом разрезе приурочен к иллювиальному горизонту (табл. 2). Поэтому последний является геохимическим барьером при миграции вещества, в том числе и для фтора и брома как будет показано ниже.

В изученных черноземах реакция среды кислая и слабокислая и только в нижнем горизонте целинной почвы (разрез 1–20) она слабощелочная, что связано с присутствием карбонатов. Черноземы оподзоленные обладают также высокой потенциальной кислотностью: реакция среды (pH_{KCl}) преимущественно сильнокислая. Самые низкие показатели pH_{KCl} (3.8–3.9) приурочены к глинисто-иллювиальному горизонту в пахотной и целинной почвах и характеризуют реакцию среды как очень сильнокислую. Разрез 2–20 (залежь 2) имеет слабокислую реакцию в слое 10–50 см гумусового горизонта.

Содержание гумуса в черноземах оподзоленных Горного Алтая изменяется по аналогии с другими подтипами черноземов, уменьшаясь сверху вниз. Как и следовало ожидать, минимальное количество гумуса отмечено на пашне, максимальное – на целине. В залежных почвах содержание гумуса меньше, чем на целине, что обусловлено его потерями в аграрный период, но больше, чем в агропочве.

Изученные почвы характеризуются высоким содержанием обменного кальция, особенно в гумусовом горизонте (18–30 ммоль/100 г почвы), в иллювиальном горизонте оно снижается (14–27 ммоль/100 г почвы). Количество обменного магния значительно меньше – 2–8 ммоль/100 г почвы, выражена закономерность его биогенной

аккумуляции, т.к. максимум содержания приурочен к гумусовым горизонтам.

Фтор. По литературным данным, щелочные почвы обладают меньшей способностью к фиксации фтора, чем кислые [32, 33], поэтому вполне закономерно, что в изученных почвах, обладающих слабокислой реакцией, валовое содержание фтора не самое низкое. В то же время оно несколько меньше экологически допустимого уровня в 500 мг/кг, в то время как критический уровень фтора в почвах составляет 500–1000, а недопустимый – >1000 мг/кг [34]. Корреляция между содержанием гумуса и валового фтора во всех вариантах была отрицательной, что связано со слабой сорбирующей способностью органического вещества к фтору, а также малочисленностью возможных химических реакций между ними [35]. Доли подвижного и водорастворимого фтора (в %) от валового соответственно были наименьшими в вариантах целина (0.28–1.51 и 0.021–0.166%) и пашня (0.51–1.11 и 0.018–0.119%), хотя причины этого, по нашему мнению, в данном случае различные. В варианте целина все процессы, происходящие в почве, такие как минерализация органического вещества и потребление питательных веществ, происходят более медленно, чем на пашне, в которую вносят удобрения и где произрастающая растительность и ее остатки после уборки урожая оказывают более заметное влияние на скорость этих процессов. В то же время более высокие показатели получены в вариантах залежи: в разрезе 1–20–2.4–6.6 и 0.10–0.53%, в разрезе 2–20–0.28–3.29 и 0.48–0.17% соответственно, что обусловлено, по-видимому, месторасположением этих разрезов. Транзитно-аккумулятивная позиция разреза 2–20 благоприятствует накоплению в ней различных форм фтора, а в разрезе 1–20 этому способствовали содержание физической глины и ила. Корреляция между количеством ила и валовым содержанием фтора и его формами представлена в табл. 3.

Статистическая обработка результатов выявила максимальную степень корреляции между содержанием валового фтора и ила в варианте 4–20. Такая тесная связь может быть обусловлена как внутривидовой дифференциацией по гранулометрическому составу, так и его неоднородностью. Наиболее слабая корреляция между параметрами ил–валовое содержание отмечена в варианте 2–20, а между содержанием ила и форм фтора она была отрицательной. В случае с вариантом 2–20 обилие образующихся солей могло вызвать явление соосаждения, а с учетом солевого эффекта и его роли можно предположить, что даже в случае поступления фтора в составе труд-

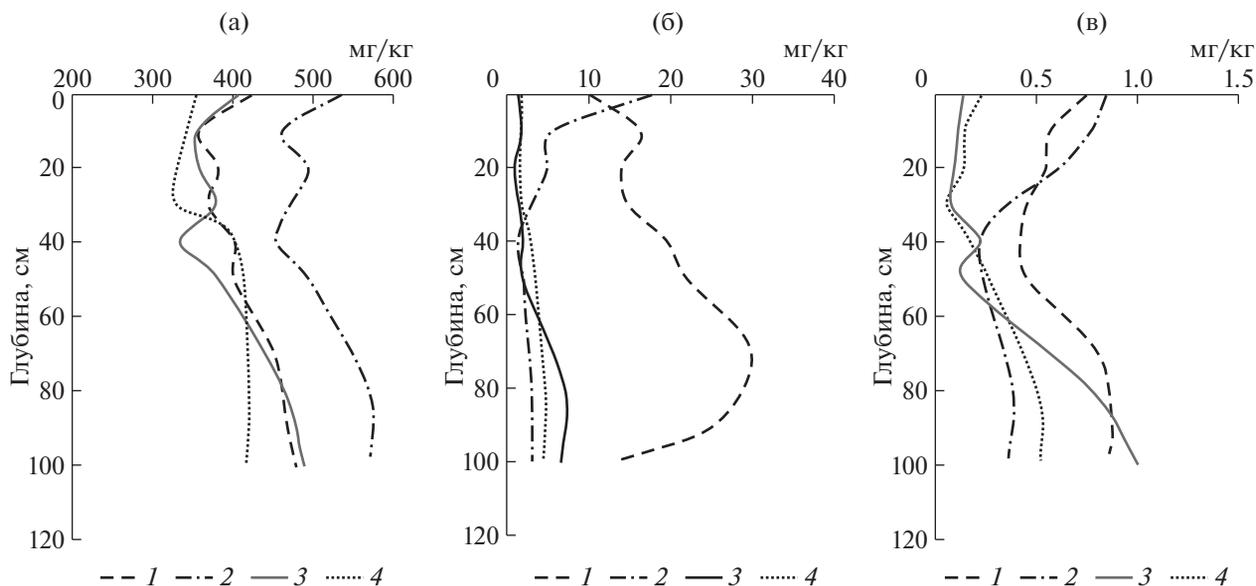


Рис. 1. Содержание фтора в черноземах оподзоленных Горного Алтая: (а) – валовое содержание, (б) – подвижная форма, (в) – водорастворимая форма; 1 – разрез 1–20ГА (залежь 25 лет), 2 – разрез 2–20ГА (залежь 17 лет), 3 – разрез 3–20ГА (целина), 4 – разрез 4–20ГА (пашня).

норастворимых солей возможно их частичное растворение вследствие увеличения ионной силы почвенного раствора, а значит корреляции между содержанием компонентов ила и форм фтора могло и не быть.

Слабая сорбирующая способность органического вещества к фтору, а также малочисленность возможных реакций между ними способствуют нисходящей миграции галогена. Это особенно ярко выражено на пашне (разрез 4–20). Наблюдаемые незначительные изменения содержания гумуса в почвенном профиле вариантов пашня и залежь обусловлены, скорее всего, суммарным действием гранулометрического состава и водного режима. Присутствие фтора в гумусовой толще позволяет предположить его закрепление либо за счет сорбции, либо за счет обменных реакций с другими галоидпроизводными. Наблюдаемое увеличение содержания фтора вниз по профилю почвы связано с его поглощением глинистыми минералами и полуторными оксидами минерального субстрата, осаждением на геохимических барьерах и прежде всего на кальциевом барьере, потому что образующийся CaF_2 с ($\text{ПР} = 4.0 \times 10^{-11}$) труднорастворим (рис. 1).

Таким образом, показано, что наименьшее валовое содержание фтора (330–419 мг/кг) в черноземах оподзоленных найдено в варианте пашня, а наибольшее – в варианте 2–20 (454–569 мг/кг), что связано с его местоположением в транс-аккумулятивной позиции. В целом валовое содержа-

ние фтора пока не вызывает особого беспокойства. Что касается водорастворимой формы, то его концентрация намного меньше ПДК, равного 10 мг/кг (ГН 2.1.7.2041–06). Минимальное содержание подвижного фтора отмечено на целине и пашне, преимущественно до 2.8 мг/кг (ГН 2.1.7.2041–06), максимальное (10.2–29.8 мг/кг) обнаружены в варианте 1–20, хотя почва варианта занимает элювиальную позицию. Такое противоречие может быть обусловлено, по нашему мнению, тем, что для этой почвы характерна более высокая степень окристаллизованности гидроксидов, что может препятствовать поглощению ими фторидов, в результате чего концентрация подвижного фтора будет больше.

Бром. В связи с высокой растворимостью большинства солей брома, условия увлажнения почв влияют на интенсивность его миграции. Поэтому было вполне ожидаемым, что в черноземах оподзоленных, характеризующихся периодически промывным типом водного режима, содержание валового брома будет минимальным. Вместе с тем известно, что бром удерживается гумусом довольно прочно, что и предполагает низкую концентрацию его водорастворимой формы. Прочность связи брома с гумусом связана с тем, что фенол и его производные, а также другие ароматические соединения, содержащиеся в почве, бромруются уже при низкой температуре. Эта связь очень прочна, из-за чего галоген трудно извлечь из почвы даже горячей водой [35].

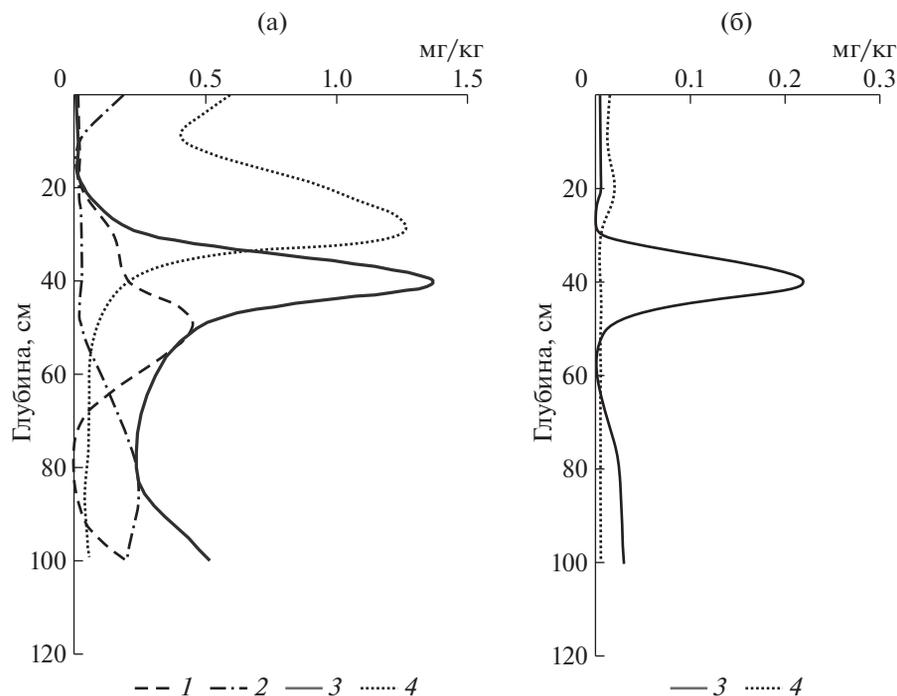


Рис. 2. Содержание валового брома (а) и его водорастворимой формы (б) в черноземах оподзоленных Горного Алтая, разрезы: 1— 1–20 (залежь 25 лет), 2— 2–20 (залежь 17 лет), 3— 3–20 (целина), 4— 4–20 (пахня).

Содержание валового брома в вариантах целина и пахня в целом было заметно более значимым, чем в вариантах залежь. Объяснить это можно только позициями транзитно-аккумулятивной для разреза 4–20 и транзитно-элювиальной для разреза 3–20. В черноземах в качестве доминирующего источника поступления брома выступают атмосферные осадки, а доминантом процесса миграции является вынос с поверхностными водами.

Содержание валового брома в черноземах оподзоленных катены изменялось в широких пределах — от 0.02 до 1.37 мг/кг. Верхняя часть гумусового горизонта почв катены характеризовалась минимальным его содержанием. Максимум содержания брома зафиксирован в целинной почве на границе с иллювиальным горизонтом. В почвах залежей содержание валового брома значительно меньше — 0.01–0.45 мг/кг. 25-летняя залежь имела сходный характер его распределения по профилю также с выраженным максимумом на границе с иллювиальной толщей. Пахотная почва в отличие от почв катены имела бимодальное распределение валового брома по профилю: первый максимум приурочен к слою 0–5 см, второй — к нижней части пахотного горизонта на границе с иллювиальной толщей. При этом содержание его в верхней толще больше, чем в почвах залежи и сходно с целинной почвой.

При общем невысоком содержании валового брома в черноземах оподзоленных проявлялась тенденция к его аккумуляции в нижней части гумусового горизонта почв, где на границе с иллювиальной толщей создавался геохимический барьер для этого галогена. Характер распределения валового брома по профилю почв катены — элювиально-иллювиальный и зависит от особенностей педогенеза. Есть закономерности распределения по профилю, но не обнаружено закономерностей распределения в каскадно-геохимической системе. Выявлено снижение содержания брома в залежных почвах по сравнению с целинной. Причины данного явления не очевидны и требуют дополнительных исследований. Водорастворимая форма брома обнаружена только в целинной и пахотной почве. В целинной почве ярко выражена аккумуляция ее на геохимическом барьере иллювиального горизонта. В почвах залежей значимые количества этой формы брома отсутствуют (рис. 2).

Среднее содержание брома в почвах по Виноградову [36] — 5 мг/кг. По нашим данным, в различных типах черноземов на территории юга Западной Сибири его содержание варьирует в пределах (1.73–14.4 мг/кг) [14]. В связи с высокой растворимостью большинства солей брома, условия увлажнения почв существенно влияют на интенсивность его миграции. Вследствие этого в

изученных почвах с периодически промывным водным режимом вынос элемента будет усиливаться. Необходимо также учитывать и возможность бокового внутрипочвенного стока. Содержание водорастворимой формы в черноземах Западной Сибири изменяется в диапазоне от 0.8 до 3.0 мг/кг [14]. Полученные нами результаты были значительно меньше.

Среди различных компонентов почвы, участвующих в процессах аккумуляции и связывания брома, приоритетную роль играет гумус. Влияние других свойств почвы: реакции почвенной среды, гранулометрического состава, водного режима почв, содержания полуторных окислов и карбонатов несколько менее значимо. Тем не менее, они оказывали в некоторой степени влияние на содержание валового и водорастворимого брома в черноземе оподзоленном.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные данные содержания фтора и брома позволили оценить экологическую ситуацию в черноземах оподзоленных Горного Алтая. К сожалению, отсутствие ПДК на содержание валового фтора и брома не позволило обсудить эту проблему досконально. Тем не менее, можно хотя бы ориентировочно, опираясь на экспериментальные данные, говорить об этом. Если судить по валовому количеству фтора в изученных почвах, то в вариантах целина и пашня его содержание значительно меньше 500 мг/кг, в вариантах залежь его содержание также меньше 500 мг/кг. Что касается наиболее подвижной его формы (водорастворимой), то во всех вариантах его содержание не вызывает каких-либо опасений, т.к. оно находится преимущественно в диапазоне 0.06–1.00 мг/кг, что значительно меньше 10 мг/кг (согласно ГН 2.1.7.2041–06).

Полное отсутствие государственных нормативов на содержание брома в почвах позволило только сравнить полученные результаты с литературными данными. Валовое содержание брома во всех разрезах варьировалось в диапазоне от 0.21 до 1.37 мг/кг, что было намного меньше опубликованных данных. Водорастворимая форма отсутствовала в вариантах залежь, а на пашне и целине также была заметно меньше литературных данных.

Таким образом, в настоящий момент можно свидетельствовать о нормальной экологической ситуации и отсутствии наступления экологического риска по содержанию фтора и брома в черноземах оподзоленных Горного Алтая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перельман А.И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972. 287 с.
2. *Перельман А.И.* Геохимия. М.: Высш. шк., 1989. 422 с.
3. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 438 с.
4. *Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А.* Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 495 с.
5. *Перминова Т.А.* Бром в компонентах природной среды Томской области и оценка его токсичности: Дис. ... канд. геолого-минер. наук. Томск: Труа, 2017. 182 с.
6. *Мельничук Ю.П.* Влияние ионов кадмия на клеточное деление и рост растений. Киев: Наукова думка, 1990. 148 с.
7. *Савенко В.С.* Почвы как возможный источник фтора в атмосферу // Геохимия. 2018. № 9. С. 920–922.
8. *Sarmani S., Kuan L.L., Bakar M.A.* Instrumental neutron activation analysis of kidney stones // Biol. Trace Element Res. 1990. V. 26–27. P. 497–502.
9. *Семенов С.В., Монисов А.А., Роговец А.И.* Гигиенические проблемы водоснабжения населения // Мелиорат. и водн. хоз-во. 1994. № 5. С. 40–42.
10. *Litch O.A.B.* Human health risk areas in the state of Parana, Brazil: results from low density geochemical mapping // TERRAE. 2005. V. 2. P. 9–19.
11. *Vobecky M., Babicky A., Lener J.* Effect of increased bromide intake on iodine excretion in rats // Biol. Trace Element Res. 1996. V. 55. P. 215–219.
12. *Pavelka S., Babicky A., Vobecky M., Lener J.* Effect of high bromide levels in the organism on the biological half-life of iodine in the rat // Biol. Trace Element Res. 2001. V. 82. № 1–3. P. 125–132.
13. *Pavelka S., Babicky A., Lener J., Vobecky M.* Impact of high bromide intake in the rat dam on iodine transfer to the sucklings // Food Chem. Toxicol. 2002. V. 40. № 7. P. 1041–1045.
14. *Конарбаева Г.А.* Галогены в почвах юга Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 200 с.
15. *Конарбаева Г.А.* Содержание и закономерности распределения брома в почвах катены Барабинской равнины // Агрохимия. 2016. № 2. С. 60–64.
16. *Жорняк Л.В.* Эколого-геохимическая оценка территории г. Томска по данным изучения почв: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск, 2009. 24 с.
17. *Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В.* Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 264 с.
18. *Перминова Т.А., Барановская Н.В., Ларамт Б.* Бром в почвах Томской области // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 2. С. 36–45.
19. Почвы Горно-Алтайской автономной области / Отв. ред. П.В. Ковалев. Новосибирск: Изд-во Наука, 1973. 351 с.
20. *Хмелев В.А.* Почвы низкогорий Северного Алтая. Новосибирск: Наука, 1982. 152 с.

21. Глазовская М.А. Почвы мира. М.: Изд-во МГУ, 1973. 426 с.
22. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
23. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
24. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
25. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
26. Шейн Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
27. Миллер А.Д., Капитонова Г.А. Метод определения фтора с ализаринкомплексом в горных породах и минералах без предварительной отгонки // Методы анализа редкометалльных минералов, руд и горных пород. М., 1971. Вып. 2. С. 80–89.
28. Головкова Т.В., Краснова Н.М. Определение валового фтора в почве с помощью ионоселективного электрода // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1988. № 42. С. 19–22.
29. Конарбаева Г.А., Парфенов А.И. Способ фотометрического определения фтора в солонцах: А.С. № 1670600, приоритет от 4.05.1987.
30. Каменев В.Ф. Определение йода и брома в почве, воде и биологическом материале растительного и животного происхождения // Химия в сел. хоз-ве. 1965. № 1. С. 26–38.
31. Полянский Н.Г. Аналитическая химия брома. М.: Наука, 1980. 240 с.
32. Omueti J.A.I., Jones R.L. Fluorine distribution with depth in relation to profile development in Illinois // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1980. V. 44. № 2. P. 247–249.
33. Gupta R.K., Shhabra R., Abrol I.P. Fluorine adsorption behavior in alkali sjils: Relative roles of pH and sodicity // Soil Sci. 1982. V. 133. № 6. P. 364–368.
34. Гапонюк Э.И., Кузнецова М.В. Влияние фтористого натрия на свойства почвы и развитие некоторых сельскохозяйственных культур // Гигиена и санитария. 1984. № 6. С. 77–79.
35. Карпер П. Курс органической химии. Л.: Госхимиздат, 1960. 1216 с.
36. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 234 с.

Content and Distribution of Fluorine and Bromine in Chernozes of the Surrounded Gorny Altai

G. A. Konarbaeva^{a,#} and E. N. Smolentseva^a

^a*Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS
prosp. Lavrentieva 8/2, Novosibirsk 630090, Russia*

[#]*E-mail: konarbaeva@issa.nsc.ru*

The regularities of the content and distribution of halogens (fluorine and bromine) in podzolized chernozems on the territory of Gorny Altai have been studied. The main factors affecting the accumulation and migration of these halogens in these soils are similar to those that have already been noted in other subtypes of chernozems in Western Siberia. These include the reaction of the soil environment, humus content, particle size distribution and water regime. In podzolized chernozem, the total content of fluorine and bromine, as well as the mobile form of fluorine, according to the literature data, do not exceed the permissible limits. The water-soluble form of fluorine is significantly lower than the MPC, while this form of bromine, for which there is no MPC, is either not detected or has a very low concentration.

Key words: Gorny Altai, podzolized chernozems, fluorine, bromine.

УДК 631.41:631.445.41:631.45(470.324)

СОВРЕМЕННОЕ СОЛЕНАКОПЛЕНИЕ В ЧЕРНОЗЕМАХ ПОД СТАРОВОЗРАСТНЫМИ ЛЕСОПОЛОСАМИ КАМЕННОЙ СТЕПИ

© 2022 г. Ю. И. Чевердин^{1,*}, А. Ю. Чевердин¹

¹Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева
397463 пос. 2-го участка института им. Докучаева, Воронежская обл., Таловский р-н, Россия

*E-mail: cheverdin62@mail.ru

Поступила в редакцию 14.06.2021 г.

После доработки 18.07.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

Изучено изменение солевых характеристик черноземов Каменной Степи на примере старовозрастной лесной полосы. Лесная полоса представляет собой дубово-ясенево-лесное насаждение 1899 г. посадки шириной 73 м. На момент проведения исследования ее возраст составлял более 110 лет. Для выявления особенностей процесса соленакопления заложена регулярная сетка скважин опробования глубиной до 2 м. Оценку проводили по активности иона натрия и составу водной вытяжки. Установлено, что непосредственно под лесной полосой формируются глубокозасоленные почвенные горизонты, начиная с глубины 120 см. Наибольшая концентрация солей была характерна для центральной части лесной полосы. В приопушечной части засоленность снижалась до уровня содержания солей, свойственного прилегающим фоновым почвам.

Ключевые слова: агролесомелиоративный комплекс, пашня, натрий, токсичные соли.

DOI: 10.31857/S0002188122020053

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений антропогенного воздействия на агроландшафты степной части России в течение прошлого столетия стало агролесомелиоративное обустройство территории. Изучение изменения характеристик и свойств почвенного покрова под влиянием различного рода внешних воздействий имеет важное значение для оценки изменения плодородия черноземов. В Каменной Степи в конце 19-го столетия (1892 г.) был основан крупный полевой эксперимент по изменению обустройства естественного ландшафта и усилению его обводненности. Ключевым звеном предложенных мероприятий явилась посадка густой сети лесных полос. С момента начала эксперимента намечена программа изучения изменения свойств почв.

Большое внимание вопросам трансформации черноземов ЦЧЗ под влиянием искусственных лесных полос уделено в ряде работ [1–57]. Из этих работ следует, что лесные полосы с момента посадки оказывают благоприятное воздействие на накопление органического вещества, физические, физико-химические, биологические свойства черноземов.

В современной научной литературе уделяется много внимания лесным полосам, как одной из составляющих современных агроландшафтов степной части, определяющих направленность и интенсивность почвообразовательных процессов [10, 14, 15, 42, 43, 47, 48, 50].

При этом многие вопросы изменения свойств черноземов и компонентов современных агролесокультурных ландшафтов недостаточно изучены. Имеются противоречивые сведения, касающиеся объема зоны влияния лесных полос на почвенный покров [11, 13, 22, 24], трансформацию физических свойств черноземов [12, 29]. Значительный интерес представляет влияние лесополос на солевой режим черноземов [38, 42].

Наряду с положительным влиянием лесных полос на черноземы отмечена и их негативная роль, в частности, увеличение количества гидроморфных и сезонно-переувлажненных почв [34, 41]. Проведенными исследованиями в последние годы установлено увеличение концентрации солей в составе водных вытяжек в почвах под лесными полосами [37, 40].

Имеются публикации зарубежных авторов о роли лесных насаждений в изменении водно-солевых характеристик почв [44–57]. Отмечена вы-

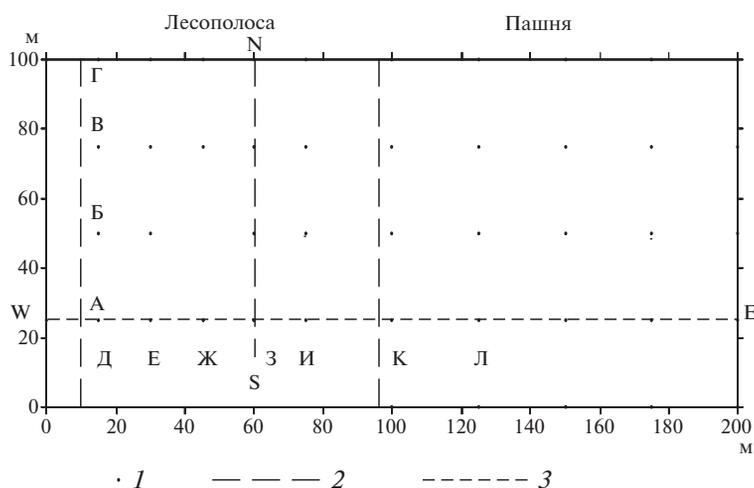


Рис. 1. Сетка опробования на ключевом участке: 1 – скважина, 2 – границы (западная и восточная) лесополосы 43, 3 – трансекты (WE – запад-восток, SN – юг-север) вертикального распределения солей; А, Б, В, Г – трансекты, пересекающие лесную полосу в поперечном направлении с запада на восток, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, М – трансекты в направлении с юга на север. То же на рис. 3–5.

сокая скорость транспирации засоленных вод древесными культурами, установлена видовая избирательность в этом отношении. Указано, что даже увеличение засоления почв на низком уровне является абиотическим стресс-фактором, оказывающим сильное влияние на состав древесных культур.

Цель работы – оценка процессов современного соленакопления в черноземах под старовозрастными лесополосами в условиях активного влияния агролесомелиоративного комплекса.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования была старовозрастная лесная полоса и почвы прилегающих пахотных угодий землепользования Воронежского федерального аграрного научного центра (Каменная Степь). Территория относится к юго-восточной части Воронежской обл. Битюгско-Хоперского междуречья и представляет собой слабоволнистую равнину с врезами ветвистых оврагов. Почвообразующими породами служат четвертичные лессовидные глины [4]. Фоновой почвой является чернозем миграционно-мицелярный. Подчиненное положение занимают черноземы сегрегационные, глинисто-иллювиальные и зоотурбированные [32]. Для условий Каменной Степи характерно близкое залегание грунтовых вод к дневной поверхности. На протяжении длительного периода наблюдений (с 1892 г.) отмечена цикличность изменений уровня грунтовых вод (УГВ) [23].

Исследование проводили в лесной полосе 43 и прилегающих к ней пашнях. Лесная полоса заложена в конце 19-го столетия (1899 г.). В настоящее время ее общая площадь составляет ≈ 3.0 га. Протяженность с юга на север составляет 408 м при ширине 73 м. Состав сформировавшегося и функционирующего в настоящее время древостоя состоит из дуба черешчатого (Д), ясеня остролистного (Я) и вяза (В). Диаметр деревьев в среднем составляет 37 см, высота – 26 м [6].

Почвенные пробы отбирали по регулярной сетке опробования ручным буром до глубины 200 см. Под лесной полосой шаг составлял 15×25 м, на пашне – 25×25 м (рис. 1). Количество точек составило в первом случае 24 скважины, в межполосном пространстве – 25 скважин. Почвенные пробы отбирали в слоях 0–20, 20–30, 30–50, 50–70, 70–100, 100–120, 120–150, 150–170 и 170–200 см. Общее количество проанализированных образцов составило 441 шт. При отборе проб в полевых условиях определяли принадлежность почв к почвенной разности.

Активность ионов натрия определяли ион-селективным методом в пасте при 50%-й влажности на иономере ЭВ-74, общее содержание и качественный состав легкорастворимых солей – в водной вытяжке при соотношении почва : вода = 1 : 5 [3].

Почвенную карту ключевого участка строили методом интерполяции по сети точек опробования [33]. Картограммы площадного распределения солей в отдельных слоях и двумерные диаграммы распределения солей в координатах “рас-

стояние—глубина” получали методом кригинга с помощью пакета Surfer-9.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для почвенного покрова изученных ключевых участков лесной полосы и пашни межполосного пространства была характерна относительная однородность. Под исследованной лесной полосой доминировал чернозем обыкновенный с долей до 41%. Равновеликие доли принадлежали чернозему типичному и чернозему выщелоченному — примерно по 23%. Чернозем перерытый занимал чуть более 10%. Под лесной полосой доля зоотурбированного варианта составляла 28%. На остальные компоненты почвенного покрова приходилось по 24%.

Некоторую отличительную особенность имели мощность и глубина почвенных горизонтов в зависимости от характера использования угодий. Для почв лесной полосы можно отметить некоторое увеличение мощности горизонта А (AU или PU + AU) — до 28–45 см против 23–38 см на пашне. Общая мощность гумусового горизонта (AV или AUb) довольно существенно изменялась: на пашне — в интервале от 45 до 100 см, в лесной полосе — от 48 до 95 см. Столь значительное варьирование нижней границы гумусового горизонта связано с наличием в составе почвенного покрова перерытых вариантов. По глубине вскипания также не выявлено существенных различий.

Проведенное исследование характера распределения снега в условиях влияния лесных полос позволило выявить свои особенности. В силу влияния господствующих юго-восточных ветров наибольшее количество снега накапливалось на восточной опушке лесных полос. В период проведения наблюдений величина снежного покрова составила в среднем 57.3 ± 2.3 см, в средней части лесной полосы — 39.7 ± 2.2 см, на западной опушке — 51.2 ± 1.9 см. В соответствии с запасами снега находилось и количество общей влаги в почвенном профиле. На конец марта—начало апреля в 1-метровом слое почвы на опушках отмечена примерно одинаковая влажность — 455 и 460 мм. В центральной части лесной полосы влагозапасы были несколько меньше — 380–440 мм. Это было связано, видимо, с несколькими причинами: во-первых, дубово-ясеневый древостой в значительной степени иссушает почвенную толщу в предшествующий летний период вследствие явления дессукации, во-вторых, — меньшие показатели снегонакопления в зимний период, не позволявшие пополнить влагозапасы до уровня опушечной части.

Исследование активности ионов натрия позволило выявить четкую дифференциацию по почвенному профилю ключевого участка (рис. 2). Определяющим фактором в изменении содержания солей была длительно произрастающая древесная растительность лесной полосы с преобладанием дуба и ясеня. При этом увеличение активности иона натрия начинало наиболее заметно проявляться в горизонтах почвы с глубины 120 см. Пахотные аналоги почв при этом до глубины 2 м оставались незасоленными. Очевидно, в почве под лесной полосой важное место занимают процессы, приводящее к количественному накоплению натрия в глубоко залегающих почвенных горизонтах.

В верхней части почвенного профиля чернозема пахотного аналога отмечено незначительное количество натрия. В пахотном слое оно не превышало 0.25 ммоль/л. Верхние горизонты почвы под лесной полосой также формально не были засоленными. Но, несмотря на это активность ионов натрия возрастала в несколько раз — до 0.50–0.75 ммоль/л. Таким образом, для почв лесных ценозов характерно различие в засоленности, начиная уже с верхних гумусированных горизонтов почвы. На глубине 70–120 см активность натрия составила соответственно для пашни и лесной полосы 0.17–0.23 и 1.1–2.5 ммоль/л, и отмечено начало более заметной дифференциации засоленности почвенных горизонтов исследованных угодий.

В пахотных почвах в общем сохранялся такой же характер активности ионов натрия, свойственных верхним горизонтам, не превышая в основном 1 ммоль/л на глубине 170–200 см. Существенного увеличения количества натрия по всему почвенному профилю не отмечено, что характерно для фоновых почв. Незначительное повышение его концентрации в нижних горизонтах обусловлено контактом со слабоминерализованными грунтовыми водами. В черноземах лесной полосы в горизонте ниже 120 см было характерным существенное увеличение активности натрия до 2–30 ммоль/л. Максимальные величины отмечены на глубине 170–200 см на уровне 30–68 ммоль/л.

Особенности пространственного распределения активности ионов натрия наглядно представлены на рис. 2. Для черноземных почв лесной полосы четко выделялась восточная наветренная сторона с повышенным содержанием натрия. Обнаружена закономерная изменчивость активности Na в пространстве: на восточной опушке и центральной части лесной полосы активность натрия была больше по сравнению с западной частью по всему почвенному профилю. Причем эта

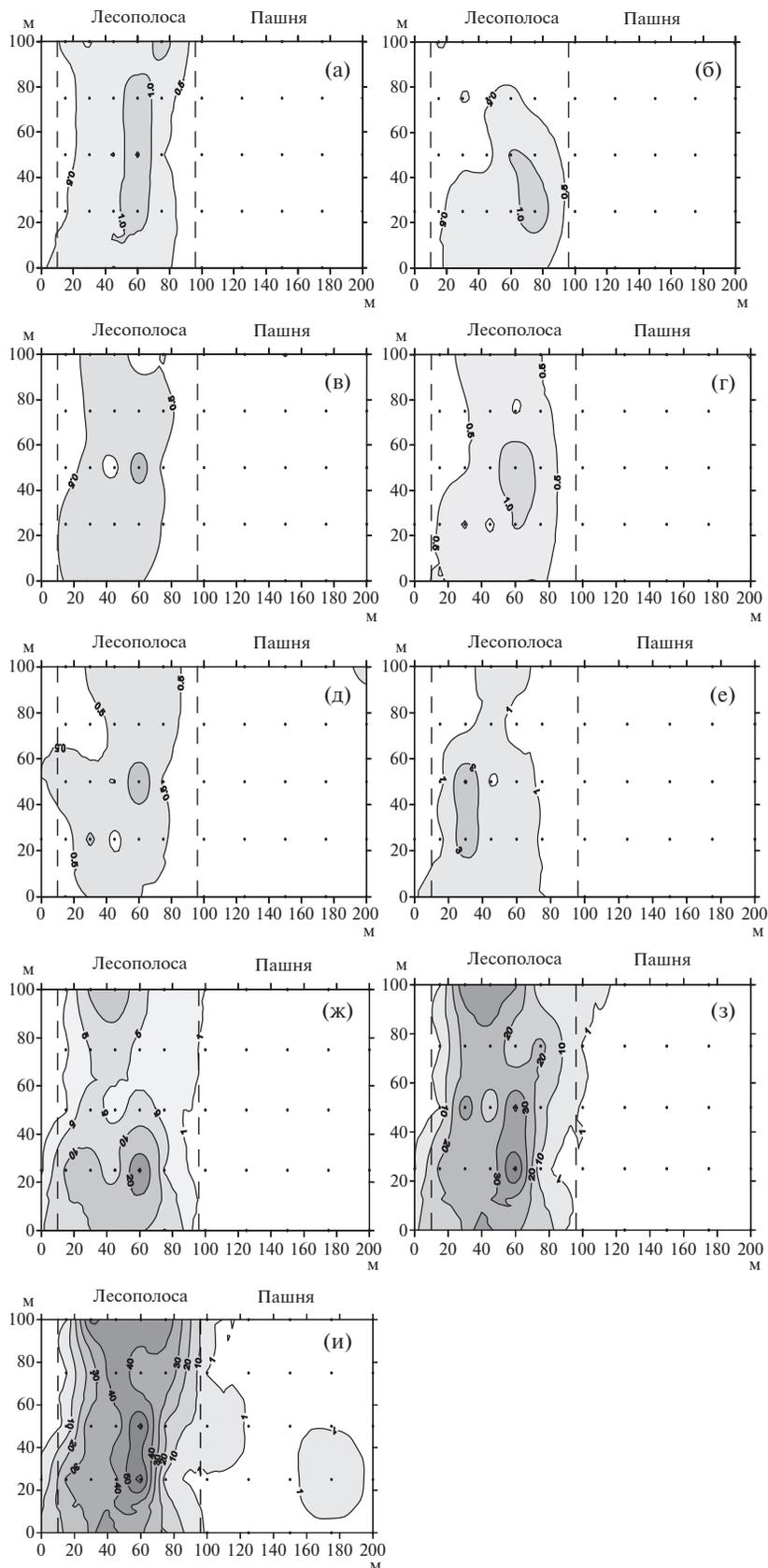


Рис. 2. Площадное распределение активности ионов натрия (ммоль/л при влажности 50%) по слоям: (а) – 0–20 см, (б) – 20–30 см, (в) – 30–50 см, (г) – 50–70 см, (д) – 70–100 см, (е) – 100–120 см, (ж) – 120–150 см, (з) – 150–170 см, (и) – 170–200 см.

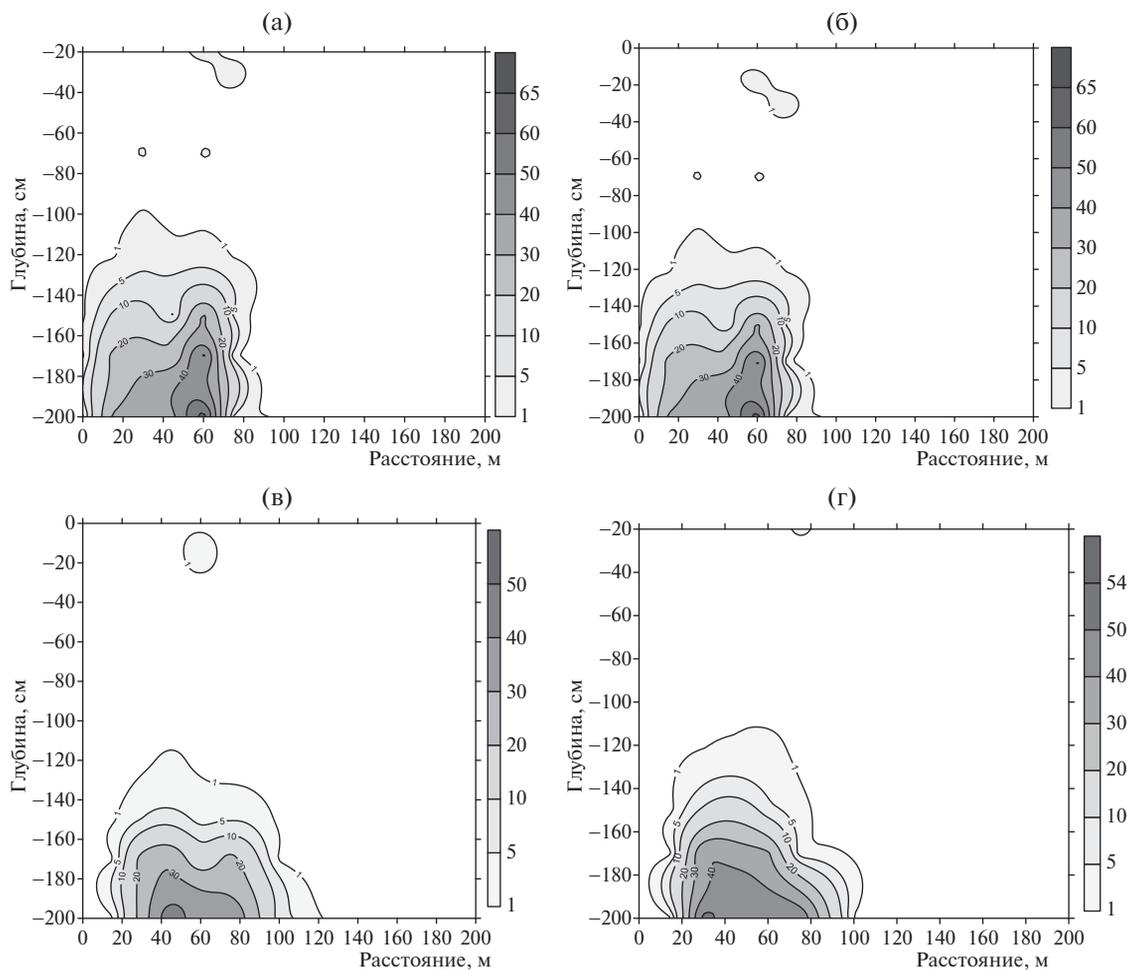


Рис. 3. Изолинии активности ионов натрия (ммоль/л, измерение в пасте при влажности 50%) по трансекте, пересекающей лесополосу 43 в поперечном направлении: (а) – ($Y = 0$ м), (б) – ($Y = 25$ м), (в) – ($Y = 50$ м), (г) – ($Y = 75$ м).

отличительная особенность начинала проявляться с верхних горизонтов. В слое почвы 0–20 см эти показатели равнялись соответственно 0.86, 0.80 и 0.43 ммоль/л. Начиная с глубины 50–70 см, максимальные показатели были характерны для центра лесной полосы.

Рассмотрение анализа профильного распределения активности иона натрия показало существенное увеличение до 37–42 ммоль/л на глубине 170–200 см в центре лесной полосы. По мере удаления от осевой центральной линии отмечено ее заметное снижение. Причем на западной заветренной части показатели были меньше по сравнению с восточной и равнялись в среднем 18–20 и 33–36 ммоль/л соответственно.

На прилегающем к западной стороне участке поля засоленность почвенного профиля была близка к показателям, отмеченным в пашне, прилегающей к лесной полосе с восточной стороны. В первом случае количество натрия составляло

0.22–0.94, во втором – 0.12–0.25 ммоль/л. Таким образом, накопление солей в нижних горизонтах почв отмечено строго под лесополосой с максимумом в центральной ее части и резким переходом к фоновым незасоленным черноземам сразу за ее пределами. Этот вывод иллюстрирован двумерными диаграммами распределения активности ионов натрия вдоль трансект, одна из которых пересекает участок поперек лесополосы, а другая – вдоль осевой ее линии (рис. 3, 4).

Для оценки качественного состава солей исследованных почв сделана водная вытяжка 1 : 5 (рис. 5). Пахотные черноземы характеризовались отсутствием легкорастворимых солей во всем почвенном профиле. Общая сумма солей варьировала в интервале от 0.10 до 0.15%, содержание токсичных солей – 0.05–0.10%. В черноземах под лесной полосой минимумы общей суммы солей (0.08–0.15%) и суммы токсичных солей (0.03–0.10%) были характерны для опушечной части.

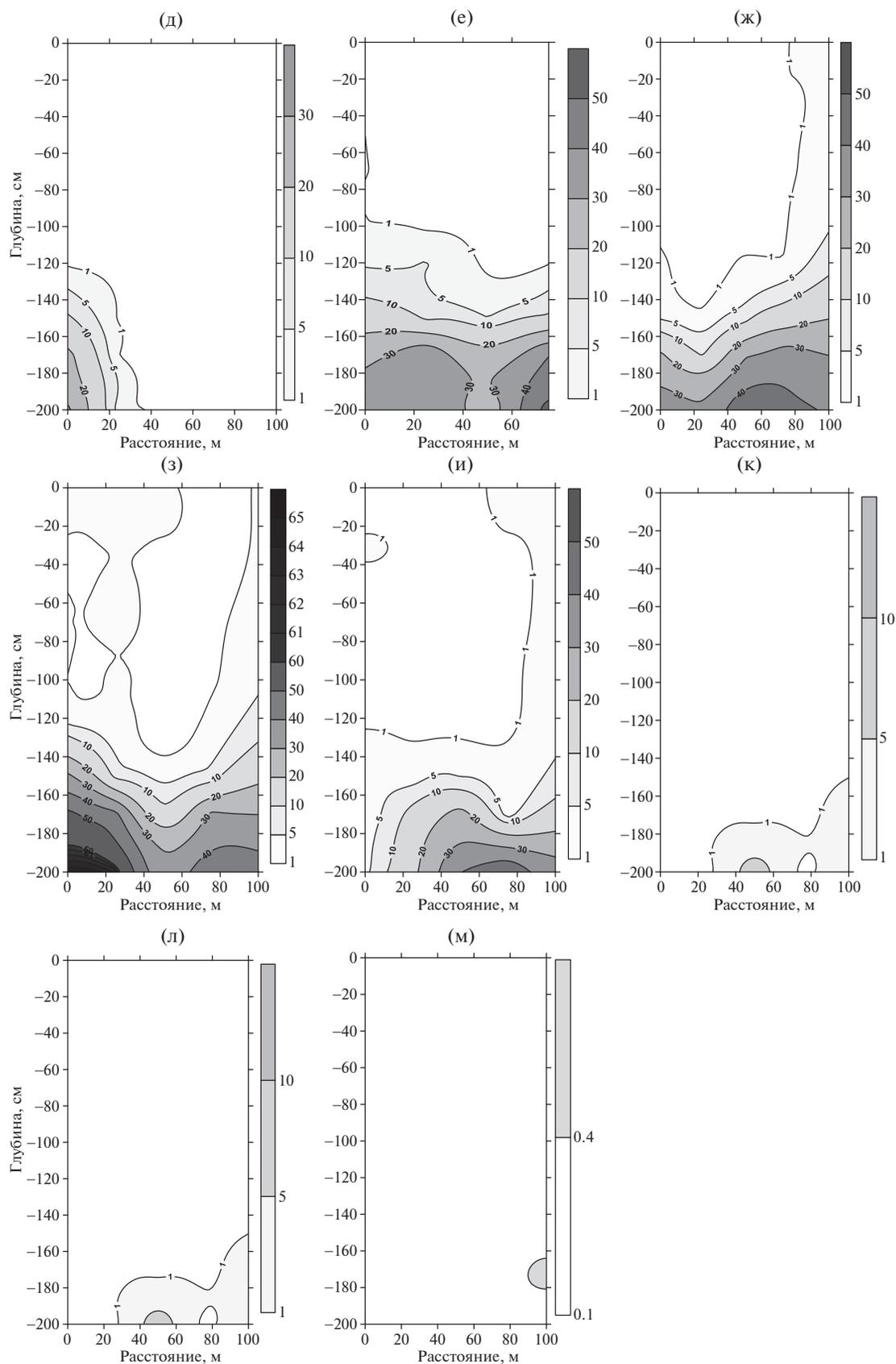


Рис. 4. Изолинии активности ионов натрия (ммоль/л, измерение в пасте при влажности 50%) по трансекте от западного края лесополосы 43 с юга на север: (д) – ($X = 15$ м), (е) – ($X = 30$ м), (ж) – ($X = 45$ м), (з) – ($X = 60$ м), (и) – ($X = 75$ м), (к) – ($X = 100$ м), (л) – ($X = 125$ м), (м) – ($X = 150$ м).

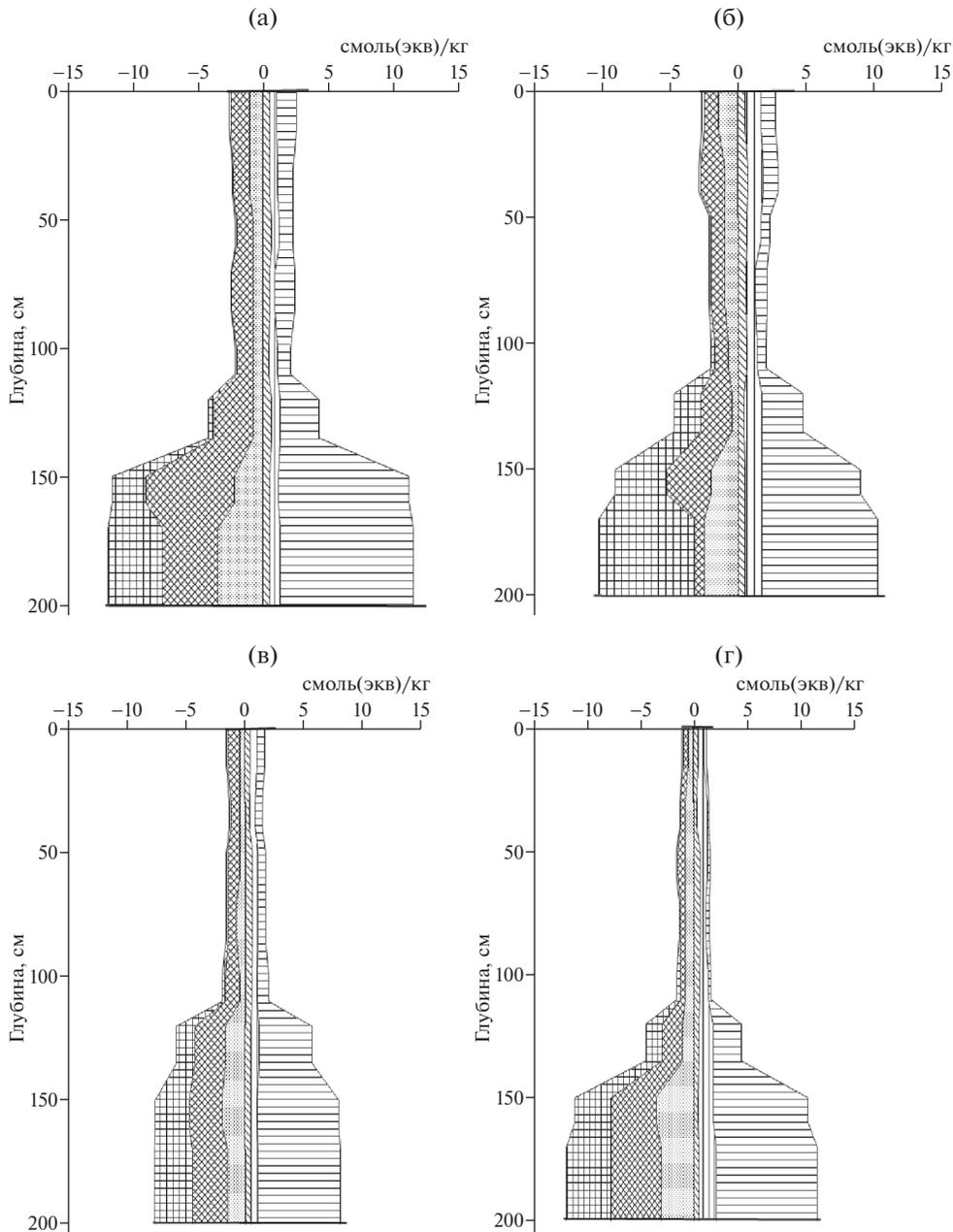


Рис. 5. Солевой профиль по трансекте от западного края лесополосы 43 с юга на север: (а) – ($X = 15$ м), (б) – ($X = 30$ м), (в) – ($X = 45$ м), (г) – ($X = 60$ м), (д) – ($X = 75$ м), (е) – ($X = 100$ м), (ж) – ($X = 125$ м), (а–г) – лесная полоса 43, (д, е) – пашня межполосного пространства).

Причем как западная, так и восточная опушка по степени засоления в гумусовой толще не различались, оставаясь незасоленными. Начиная с глубины 120 см, отмечено существенное увеличение засоленности почв. Особенно четко это проявилось на восточной опушке, где в зимние месяцы накапливалось максимальное количество снега. Величина общей суммы солей водной вытяжки в этом случае увеличивалась от 0.12–0.17% (в слое 120–150 см) до 0.13–0.77% (в слое 170–200 см).

Сумма токсичных солей изменялась от 0.05–0.25 до 0.42–0.56%, что соответствовало градации от слабого до сильного засоления.

Посадка лесных полос в степных условиях в первую очередь изменяет характер распределения снега в агроландшафте, приходные и расходные части водного баланса [18, 30, 31]. В лесостепной и степной части под дубовым насаждением почва отличается большим поступлением влаги на питание грунтовых вод, десукции и денсации [8, 9,

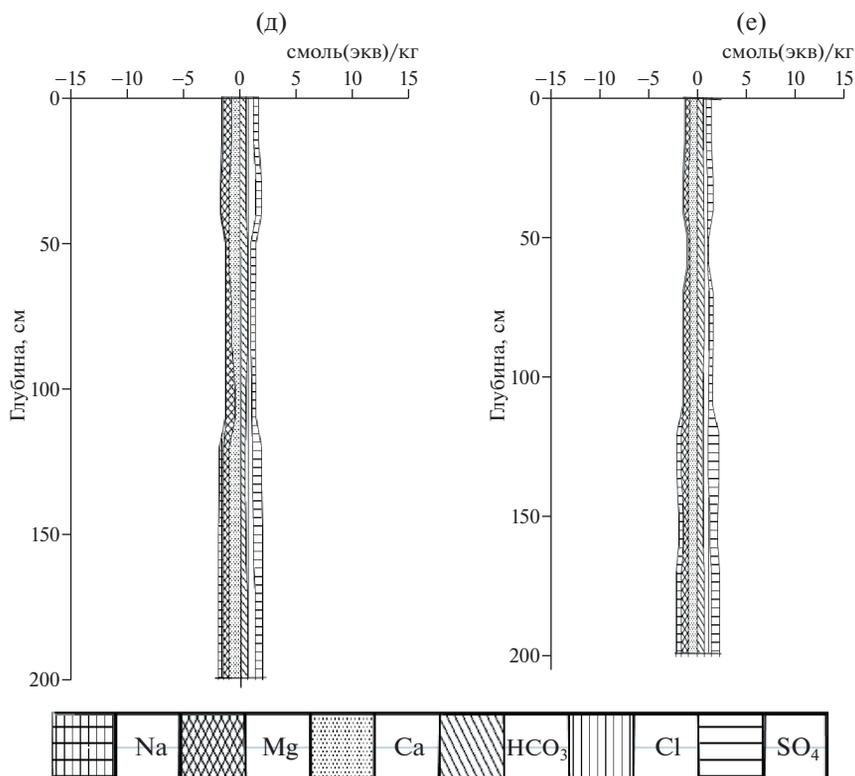


Рис. 5. Окончание.

31]. При этом отмечено повышение уровня грунтовых вод под влиянием старовозрастных лесных полос [16]. В степной зоне за счет более высокого температурного фона увеличивается испаряемость, и, как следствие, концентрация растворимых солей в зоне аэрации почвенной толщи [17]. В работе [27] отмечено негативное влияние наличия солей в лессовых почвах степи на развитие древесной растительности.

Снеговые воды агроландшафта Каменная Степь имеют низкую минерализацию, равную 65.7 мг/л в среднем за период наблюдений 1995–2008 гг. Анионы представлены гидрокарбонатами, хлоридами и сульфатами приблизительно в равном соотношении. Среди катионов доминирующее положение занимает кальций. Доли магния и натрия незначительны. Величина рН талых вод составляет 6.82. Таким образом, накопление снега в лесополосах не может стать причиной накопления солей в почвах.

Причин повышения концентрации солей в почвенном профиле под старовозрастной лесной полосой несколько. Во-первых, несмотря на довольно высокую интенсивность осадков в летний период дополнительное поступление влаги в почву ограничивается так называемым горизонтальным стоком. Во-вторых, по нашему мнению, высокие

показатели транспирации дубовых насаждений в летний период способствуют подтягиванию солевых растворов к поверхности почвы, и, как результат, повышению концентрации солей на определенной глубине под древесной растительностью в течение длительного времени. На момент проведения исследования возраст лесной полосы составил более 120 лет. В-третьих, равномерное распределение зимних твердых осадков на поверхности почвы с высокими показателями водопроницаемости лесной полосы способствуют поглощению всего количества влаги и многолетнему накоплению солей. Возможно, эти закономерности носят общий региональный характер. Но, в то же время нельзя исключать свойства почвы, и, в частности, характеристики подстилающей породы. Функция подстилающей породы в процессах соленакопления, несомненно, играет определенную роль.

Существует реальная возможность изменения состава грунтовых вод под старовозрастными лесными полосами в степной части России. Их минерализация может достигать >10 г/л [23, 38]. Накопление солей на определенной глубине связано, по-видимому, с биологическими особенностями дуба, избирательностью поглощения отдельных компонентов почвенного раствора в

зоне максимального всасывания воды корневой системой. Существует мнение о зависимости накопления солей под деревьями от гранулометрического состава почв. В более тяжелых почвах, богатых органикой, содержание солей больше [45, 47, 48, 57].

Вырубка деревьев, которая изменяет гидрологический баланс ландшафтов и может способствовать засолению почв, приводит к изменению и качества грунтовых вод [53, 54, 56]. Облесение ландшафта приводит к снижению удаления солей с водосборной территории до 13% [44].

Исследованиями [52] установлено увеличение концентрации хлоридов в непосредственной близости от дубовых насаждений на глубине >1 м. На удалении >6 м содержание хлоридов резко снижалось. Было высказано мнение, что накопление хлоридов связано с активной деятельностью корневой системы [51, 55]. Максимальное накопление хлоридов отмечено в образцах, отобранных в осенний период [53]. Варьирование количества осадков по годам не оказывало при этом существенного влияния на концентрацию Cl в почве.

От характера произрастающей растительности во многом зависит транспирация влаги из почвы [46]. В летний период под дубовым насаждением транспирация влаги одного дерева составляет до 150 л/сут [51]. Древесные культуры снижают уровень грунтовых вод непосредственно под насаждением. При удалении более чем на 10 м этот эффект нивелируется [47].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование в агролесомелиоративном стационаре «Каменная Степь» изменения концентрации солей выявило закономерное увеличение содержания натрия в черноземах под старовозрастной дубово-ясеновой лесной полосой. Наибольшее количество солей отмечено на глубине 150–200 см, способствуя формированию глубокозасоленных почвенных горизонтов.

Выявлена четкая пространственная дифференциация увеличения содержания солей непосредственно под лесной полосой с максимумом вдоль центральной осевой линии. Для опушечной части характерен четкий и резкий переход к незасоленным почвам пашни, что может свидетельствовать о снижении роли древесных культур.

Возможным механизмом накопления солей в черноземах Каменной Степи под лесополосами является изменившийся гидрологический режим. Высокая транспирация взрослого здорового

лесного насаждения с деревьями до 16–25 м высотой на фоне общего повышенного залегания уровня грунтовых вод на территории агролесоландшафта способствует активному расходу воды под лесополосами в летний период, вызывая локальное понижение уровня грунтовых вод вдоль лесополосы, пополнение образовавшейся депрессионной воронки грунтовыми водами со стороны окружающих полей и концентрирование передвигающихся с водой солей в области отбора воды корневыми системами.

Авторский коллектив выражает глубокую признательность и благодарность Н.Б. Хитрову за ценные советы и пожелания, высказанные при подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адерихин П.Г., Богатырева З.С.* Влияние ползащитных лесных полос на структуру обыкновенных черноземов Каменной Степи // Почвоведение. 1979. № 2. С. 71–81.
2. *Адерихин Я.Г., Богатырева З.С.* Воздействие защитных лесных насаждений на содержание и состав органического вещества обыкновенных черноземов Каменной степи // Почвоведение. 1974. № 5. С. 43–53.
3. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
4. *Басов Г.М., Гриценко М.Н.* Гидрологическая роль лесных полос (по материалам исследований, проведенных в Каменной степи). М.: Гослесбумиздат, 1963. 201 с.
5. *Бойко В.П., Горбуленко А.С.* К вопросу воздействия ползащитных лесных полос на почву // Почвоведение. 1949. № 6. С. 313–324.
6. *Вавин В.С., Рымарь В.Т., Ахтямов А.Г., Свиридов Л.Т.* Создание долговечных защитных насаждений в условиях юго-востока ЦЧЗ. Воронеж, 2007. 240 с.
7. *Винокурова И.К.* Мелиоративная роль системы защитных лесных полос // Преобразование природы в Каменной степи. М., 1970. С. 64–77.
8. *Высоцкий Г.Н.* Избр. тр. М.: Сельхозгиз, 1960. 435 с.
9. *Георгий Николаевич Высоцкий и его труды (автобиография)* // Почвоведение. 1941. № 3. С. 13–42.
10. *Ковалев Н.Г., Анциферова О.Н., Полозова В.Г., Сухоруких Ю.И., Свинцов И.П.* О создании лесных насаждений на непригодных для сельскохозяйственного использования землях // Вестн. сел.-хоз. науки. 2017. № 1. С. 4–7.
11. *Колесникова Л.В.* Лесные полосы и их влияние на плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность угодий в степи Приволжской возвышенности: Дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 2006. 238 с.
12. *Королев В.А., Громовик А.И., Йонко О.А.* Изменение физических свойств почв Каменной степи под влиянием ползащитных лесных полос // Почвоведение. 2012. № 3. С. 299–308.
<https://doi.org/10.1134/S1064229312030064>

13. *Кретицин В.М.* Мониторинг плодородия почв лесоаграрных ландшафтов лесостепной зоны // Докл. ВАСХНИЛ. 1992. № 3. С. 16–20.
14. *Кулик К.Н.* Защитные лесные насаждения – основа экологического каркаса агротерриторий // Вестн. рос. сел.-хоз. науки. 2018. № 1. С. 18–21.
15. *Куулар Ч.И., Сорокина О.А.* Оценка почвозащитной роли искусственных лесонасаждений в Ширинской степи // Плодородие. 2014. № 2. С. 39–41.
16. *Лабунский И.М.* Орошение степей Велико-Анадоля // Почвоведение. 1948. № 5. С. 285–298.
17. *Нестеренко Ю.М.* Водная компонента аридных зон: экологическое и хозяйственное значение. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 286 с.
18. *Петров Н.Г.* Система лесных полос. М., 1975. 115 с.
19. *Поротиков И.Ф., Чевердин Ю.И.* Агроресомелиоративный комплекс и гидрогенез черноземов // Антропогенная деградация почвенного покрова и меры ее предупреждения. Тез. и докл. Всерос. конф., Москва, 16–18 августа 1998 г. Т. 1. М., 1998. С. 303–304.
20. *Приходько В.Е., Чевердин Ю.И., Титова Т.В.* Изменение форм органического веществ черноземов Каменной степи при разном использовании, местоположении и увеличении степени гидроморфизма // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1494–1504. <https://doi.org/10.1134/S1064229313120065>
21. *Сауткина М.Ю., Чевердин Ю.И.* Микробиологическая оценка состояния почвенного покрова агроресомелиоративных ландшафтов Каменной степи // Лесн. журн. (Изв. высш. учеб. завед.). 2019. № 6. С. 62–78. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2019.6.62>
22. *Свищов И.П., Шмыков В.А., Шабарина Е.В., Тищенко В.В.* Роль лесных полос в мелиорации агроландшафтов в условиях речных долин Среднерусской лесостепи // Плодородие. 2013. № 2. С. 31–33.
23. *Середин Е.А., Кожухарь Н.С.* Аналитический обзор состояния недр на опорном полигоне “Каменная Степь” за период 2005–2009 гг. Вып. 1 (отчет). Воронеж, 2010. 59 с.
24. *Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г.* Влияние полезных лесных насаждений на локальное разнообразие почв (Белгородская область) // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1031–1042. Doi: <https://doi.org/10.31857/S0032180X20090166>
25. *Соловьев П.Е.* Влияние лесных насаждений на почвообразовательный процесс и плодородие почв. М.: Изд-во МГУ, 1967. 201 с.
26. *Сухарев И.П.* Гидрологическая и противоэрозионная роль лесных полос. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1966. 119 с.
27. *Танфильев Г.И.* Пределы лесов на юге России. 1894. 167 с.
28. *Тумин Г.М.* Влияние лесных полос на почву в Каменной степи. Воронеж: Изд-во “Коммуна”, 1930. 40 с.
29. *Турусов В.И., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А., Титова Т.В.* Изменения физических свойств черноземов сегрегационных в агроресомелиоративных ландшафтах Центрального Черноземья // Лесн. журн. (Изв. высш. учеб. завед.). 2020. № 4. С. 95–112. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-4-95-112>
30. *Турусов В.И., Чеканышкин А.С., Тищенко В.В.* Агроэкологическая роль лесных полос в преобразовании ландшафтов (на примере Каменной степи). Каменная Степь, 2012. 191 с.
31. *Харитонов Г.А.* Осадки в лесу, поле и поступление их в почву // Почвоведение. 1949. № 2. С. 95–109.
32. *Хитров Н.Б.* Структура почвенного покрова Каменной степи // Разнообразие почв Каменной степи. Научн. тр. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2009. С. 41–71.
33. *Хитров Н.Б.* Создание детальных почвенных карт на основе интерполяции данных о свойствах почв // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1045–1046.
34. *Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И.* Почвы Каменной степи от времени В.В. Докучаева до наших дней // Живые и биокосн. сист. 2016. № 16. <http://www.jbks.ru/archive/issue-16/article-2>
35. *Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И.* Сезонно переувлажненные почвы Каменной степи // Деградация богатых и орошаемых черноземов под влиянием переувлажнения и их мелиорация. М., 2012. С. 64–89.
36. *Чевердин Ю.И.* Изменения свойств почв юго-востока Центрального Черноземья под влиянием антропогенного воздействия. Воронеж: Истоки, 2013. 336 с.
37. *Чевердин Ю.И.* Солевой состав черноземов в зоне влияния лесной полосы // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Сб. докл. Международ. научн.-практ. конф. Курского отделения МОО “Общество почвоведов имени В.В. Докучаева”. Курск: Курский ФАНЦ, 2020. С. 416–418.
38. *Чевердин Ю.И., Вавин В.С., Ахтямов А.Г., Воронин Д.А.* Роль лесных насаждений в изменении свойств черноземов // Достиж. науки и техн. АПК. 2014. № 2. С. 11–14.
39. *Чевердин Ю.И., Поротиков И.Ф., Свиридов А.К., Титова Т.В., Иванов В.А.* Роль лесных насаждений в сезонной переувлажненности почв Каменной степи // Черноземы Центральной России: генезис, география, эволюция. Мат-лы Международ. научн. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. основателя Воронежской школы почвоведов П.Г. Адерихина, 25–28 мая 2004 г. Воронеж, 2004. С. 328–332.
40. *Чевердин Ю.И., Сауткина М.Ю.* Роль искусственных лесных насаждений в изменении солевых характеристик черноземов степной зоны // Лесные почвы и функционирование лесных экосистем: Мат-лы VIII Всерос. научн. конф. с международ. участием М.: ЦЭПЛ РАН, 2019. С. 85–87.
41. *Чевердин Ю.И., Титова Т.В.* Гидроморфные почвы Каменной степи: Монография. Воронеж: Истоки, 2020. 253 с.
42. *Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Лукин С.В., Соэр Т.Д., Заздравных Е.А., Белеванцев В.Г., Смирнова М.А.* Изменение лесостепных черноземов под влиянием лесополос на юге Среднерусской возвышенно-

- сти // Почвоведение. 2020. № 8. С. 934–947.
https://doi.org/10.31857/S0032180X20080031
43. Чендев Ю.Г., Соэр Т.Д., Геннадиев А.Н., Новых Л.Л., Петин А.Н., Петина В.И., Заздравных Е.А., Буррас С.Л. Накопление органического углерода в черноземах (моллисолях) под полевзщитными лесными насаждениями в России и США // Почвоведение. 2015. № 1. С. 49–60.
https://doi.org/10.1134/S1064229315010032
 44. van Dijk A.I.J.M., Hairsine P.B., Penã Arancibia J., Dowling T.I. Reforestation, water availability and stream salinity: A multi-scale analysis in the Murray-Darling Basin, Australia // Forest Ecol. Manag. 2007. V. 251. P. 94–109.
https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.012
 45. Antonellini M., Mollema P.N. Impact of groundwater salinity on vegetation species richness in the coastal pine forests and wetlands of Ravenna, Italy // Ecol. Engin. 2010. V. 36. P. 1201–1211.
 46. Chhabra R., Thakur N.P. Lysimeter study on the use of biodrainage to control waterlogging and secondary salinization in (canal) irrigated arid/semi-arid environment // Irrigat. Drain. Syst. 1998. № 12. P. 265–288.
 47. Dagar J.C., Minhas P.S. Global perspectives on agroforestry for the management of salt affected soils // Agroforest. Manag. Waterlog. Saline Soils Poor-qual. Waters. 2016. P. 5–22.
https://doi.org/10.1007/978-81-322-2659-8_2
 48. Dagar J.C., Minhas P.S. Use of tree plantations in water–table drawdown and combating soil salinity // Agroforest. Manag. Waterlog. Saline Soils Poor-qual. Waters Adv. Agroforest. 2016. V. 13. P. 33–48.
https://doi.org/10.1007/978-81-322-2659-8_3
 49. Dagar J.C., Sharma P.C., Chaudhari S.K., Jat H.S., Sharif A. Climate change vis-a-vis saline agriculture: Impact and adaptation strategies // Springer India, Innovative Saline Agriculture, 2016.
https://doi.org/10.1007/978-81-322-2770-0_2
 50. Georgea S.J., Harperb R.J., Hobbsc R.J., Tibbetta M. Asustainable agricultural landscape for Australia: A review of interlacing carbon sequestration, biodiversity and salinity management in agroforestry systems // Agricult. Ecosyst. Environ. 2012. V. 163. P. 28–36.
 51. Grimaldi C, Thomas Z., Fossey M., Fauvel Y., Merot P. High chloride concentrations in the soil and groundwater under an oak hedge in the West of France: an indicator of evapotranspiration and water movement // Hydrol. Process. 2009. V. 23. P. 1865–1873.
 52. Hao H., Grimaldi C., Walter C., Dutin G., Trinkler B., Merot P. Chloride concentration distribution under oak hedgerow: an indicator of the water–uptake zone of tree roots? // Plant Soil. 2015. V. 386. P. 357–369.
https://doi.org/10.1007/s11104-014-2262-y
 53. Runyon C.W., D’Odorico P. Ecohydrological feedbacks between salt accumulation and vegetation dynamics: role of vegetation–groundwater interactions // Water Resour. Res. 2010. V. 46 (W11561). P. 11.
 54. Smith M., Dixon R., Bonieck, L., Berti M., Sparks T., Bari M., Platt J. Salinity situation statement: Warren River, Department of Water, Water Resource Technical. Ser. 2006. WRT 32. Government of Western Australia, Perth.
 55. Thomas Z., Ghazavi R., Merot P., Granier A. Modelling and observation of hedgerow transpiration effect on water balance components at the hillslope scale in Brittany // Hydrol. Process. 2012. V. 26. P. 4001–4014.
 56. Williamson D.R. The hydrology of salt affected soils in Australia // Reclamat. Revegetat. Res. 1986. № 5. P. 181–196.
 57. Zanoni D. Caratterizzazione pedologicadella Pineta di San Vitale, Ravenna, Italy // PhD thesis, University of Bologna, Italy. 2008.

Modern Salt Accumulation in Chernozems under Old-Growth Forest Belts in the Stone Steppe

Yu. I. Cheverdin^{a,#} and A. Yu. Cheverdin^a

^aVoronezh Federal Agricultural Scientific Centre named after V.V. Dokuchaev,
settlement of the 2nd section of the Institute named after Dokuchaev,
Voronezh region, Talovsky district 397463, Russia

[#]E-mail: cheverdin62@mail.ru

The change in the salt characteristics of the chernozems of the Stone Steppe was studied on the example of an old-age forest strip. The forest strip is an oak-ash forest plantation of 1899 with a width of 73 m. At the time of the study, her age was more than 110 years. To identify the features of the salt accumulation process, a regular grid of sampling wells with a depth of up to 2 m is laid. The assessment was carried out by the activity of the sodium ion and the composition of the aqueous extract. It has been established that deep-saline soil horizons are formed directly under the forest strip, starting from a depth of 120 cm. The highest concentration of salts was characteristic of the central part of the forest strip. In the apical part, the contamination decreased to the level of salt content characteristic of adjacent background soils.

Key words: agroforestry complex, arable land, sodium, toxic salts.

УДК 632.4:633.11“324”(470.32/.45/.6)

МОНИТОРИНГ АЛЬТЕРНАРИЕВЫХ ГРИБОВ НА ЗЕРНЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ХОЗЯЙСТВАХ ЮГА РОССИИ (2014–2020 гг.)

© 2022 г. Н. И. Будынков^{1,*}, С. Н. Михалева¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, пос. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

*E-mail: oranzar@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.09.2021 г.

После доработки 05.10.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

Проведены мониторинг колонизации зерна озимой пшеницы альтерналиевыми грибами в Ростовской, Курской, Волгоградской обл. и Ставропольском крае в период 2014–2020 гг., а также микологическая оценка сортообразцов пшеницы с заболеванием “черный зародыш”. За период исследования общий уровень колонизации находился в диапазоне 48–85%. Наибольшая колонизация семян озимой пшеницы альтерналиевыми грибами за период 2014–2020 гг. отмечена в Ставропольском крае (61–85%), меньшая – в Курской (69–79%), Волгоградской (53–80%), Ростовской (48–73%) обл. В 2020 г. наименьший уровень колонизации был отмечен на зерне из Волгоградской обл. (59%), более высокий – в Ставропольском крае (65%) и в Курской области – (69%), наибольший – в Ростовской области (73%). При высоком уровне колонизации семян альтерналиевыми грибами зерно имело хорошие посевные качества и незначительное количество зерен с черным зародышем. Это доказало, что зерно озимой пшеницы на юге европейской территории России колонизируют в основном непатогенные виды *Alternaria*. Микологический анализ зерна сортов озимой пшеницы с черным зародышем показал, что потемнение зерновок зачастую не было связано с альтерналиевыми грибами – данные микромицеты отсутствовали на части локально потемневших зерен.

Ключевые слова: озимая пшеница, зерно, семена, микромицет, виды альтерналии, колонизация, сильные патогены, слабые патогены, микотоксины, “черный зародыш”.

DOI: 10.31857/S0002188122020041

ВВЕДЕНИЕ

Продовольственное и фуражное зерно может быть колонизировано продуцентами микотоксинов – фузариевыми, аспергилловыми, пеницилловыми и головневыми грибами, а также возбудителем спорыньи. Фитопатогенные микромицеты вызывают заболевания растений, приводящие к снижению их урожайного потенциала и качества продукции. Наиболее опасны карантинные виды патогенов, но они в большинстве сельскохозяйственных регионов практически не встречаются, и эта опасность, благодаря активной работе карантинных служб, носит в основном потенциальный характер. Реальную опасность повсеместно представляют сильные патогены, постоянно присутствующие в полевых агроценозах, а также переносимые на значительные расстояния аэрогенным путем, имеющие высокий эпифитотийный потенциал (например, возбудители стеблевой и желтой ржавчины пшеницы при благоприятных для их эпифитотийного развития условиях).

Резерваторами сильных патогенов в полевых агроценозах могут быть больные растения, растительные остатки с высоким уровнем колонизации, почва, а также зерно – падалица, семена. Так сохраняются в межсезонье возбудители листовых и сосудистых заболеваний, гнилей и др. Семена, колонизированные опасными видами, нередко обеспечивают лишь низкий урожайный потенциал посевов, проблемы с развитием болезней растений, позволяют опасным видам перемещаться на значительные расстояния от места первичной колонизации, делают партии зерна с запороговыми заражениями и загрязнениями, непригодными к реализации и использованию для посева и переработки. Поэтому семенная микробиота представляет особый интерес для инспекций и зернопроизводителей.

Наряду с опасными патогенами на зерне часто встречаются виды микромицетов, имеющие неоднозначные оценки их вредоносности. К ним, в частности, относятся альтерналиевые грибы. Они встречаются на зерне пшеницы всех регионах

планеты с высокой частотой (до 100%), их часто относят к возбудителям опасных заболеваний, в частности, черни, “черного зародыша” зерновок. Отдельные фирмы-производители и дистрибьюторы средств защиты растений построили на базе опасности альтернарии стратегии массовых продаж препаратов; есть также австралийский прецедент карантинных проблем с экспортом зерна пшеницы, колонизированного видом *Alternaria triticina* [1, 2].

Грибы рода *Alternaria*, видимо, чаще других грибов и бактерий встречаются на семенах основных зерновых культур (пшеницы, ячменя, овса, ржи и др.) во всем мире и представляют собой наиболее обычный компонент микробиома зерна [1]. О систематике, этиологии и вредности заболеваний, традиционно связываемых с грибами р. *Alternaria*, существуют противоречащие друг другу мнения. Альтернариевые грибы относят к 3-м разным секциям р. *Alternaria*, различающимся не только по морфологическим признакам, но и по экологическим свойствам и практическому значению. Из числа мелкоспоровых видов (секция *Alternaria* род *Alternaria*) на зерновых и других культурах наиболее распространены 3 вида. Значительно чаще других встречается *A. tenuissima*, реже, но также повсеместно, выявляют *A. alternata* и *A. arborescens*. Эти виды способны синтезировать микотоксины альтенуен, альтернариол, альтернариол-метилловый эфир [3]. Вид *A. avenicola* из секции *Panax* обнаруживают приблизительно в 10% образцов зерна в европейской части России. Вероятно, *A. avenicola* также является неспециализированным сапротрофом.

Комплекс видов *A. infectoria* по молекулярным признакам сильно отличается от остальных видов *Alternaria*, и, возможно, когда-нибудь будет выделен в отдельный новый род. Виды комплекса *A. infectoria* обычно являются сапротрофами и не синтезируют известные микотоксины. Комплекс включает ≈40 филогенетически близких видов, многие из которых трудноотличимы друг от друга. В том числе в данный комплекс включают *A. infectoria* E.G. Simmons и, судя по всему, довольно патогенный вид *A. triticina* Prasad et Prabhu. Для 9-ти видов известно несколько случаев обнаружения в природе телеоморф из рода *Lewia* [1, 4].

Виды *Alternaria* могут проявлять дифференцированную патогенную активность. В работе индийских ученых-биохимиков при изучении различной активности изолятов *Alternaria alternata* один из 15-ти изолятов (AA1) оказался высоковирулентным, другой (AA6) — авирулентным. Вирулентный изолят *A. alternata* продуцировал больше целлюлолитических (C1 и Cx) и пектинолитических (ферменты мацерации, пектиновая метилэстераза и эндо-полигалактуроназа) ферментов *in*

vitro, чем авирулентный. Активность целлюлолитических ферментов повышалась с увеличением возраста культуры. В то же время пектинолитические ферменты были высокоактивны в 10-суточной культуре, и их активность снижалась с увеличением возраста культуры. Активность ферментов, продуцируемых авирулентным изолятом патогена, не снижалась, и эти ферментативные активности увеличивались с увеличением возраста культуры [5].

По деградации энзимов пектинметилэстеразы и эндополигалактуроназы были выявлены 3–5-кратные различия между вирулентным и авирулентными штаммами *A. alternata*, а также — по величине массы сухого мицелия альтернарии [5].

Встречаемость видов *Alternaria* на зерне в большинстве регионов мира высокая. Например, в работе словацких исследователей была проведена оценка колонизации зерна суслового ячменя видами патогенных и сапротрофных микромицетов. Встречаемость альтернариевых грибов находилась в диапазоне 32–97%, аспергиллов — 0–39%, гельминтоспориума — 1–49% [6].

Сербские ученые выявили в 2012–2013 гг. 55–80%-ный уровень колонизации зерна озимой пшеницы видами *Alternaria*. Они предупреждали об опасности альтернариевых микотоксинов, а также о значительной вредности патогенов данной группы при взаимодействии с более сильными возбудителями опасных болезней пшеницы, например, с *F. graminearum* [7].

В провинциях Турции зараженность зерна видами *Alternaria* достигала 80%. Были идентифицированы виды альтернарии *Alternaria alternata*, *A. chlamydosporigena*, *A. infectoria*, *A. quercus*, *A. tenuissima*, *A. triticina*; доминировали *A. alternata*, *A. tenuissima*, *A. triticina*. Изоляты *A. alternata* отдельно или с другими грибами, например, *A. triticina*, *A. tenuissima*, выделяли из зерен с черным зародышем. Изоляты *A. triticina* выделяли также из листьев с темной пятнистостью [8].

По данным аргентинских специалистов, колонизация семян пшеницы альтернариевыми грибами составляла от 20 до 79%; сказывался региональный фактор. Сообщали также об изоляции штаммов *Alternaria* sp. из семян пшеницы (*Triticum aestivum*); развитие альтернариоза на растениях, полученных из зараженных семян, экспериментально не было продемонстрировано. После передачи от семян инфекции штаммов *Alternaria tenuissima*, *A. alternata*, *A. infectoria*, *A. triticina*, *A. chlamydospora* и представителей родственных родов *Embellisia* и *Ulocladium* проросткам, с большинством изолятов *Alternaria* spp., *Embellisia* sp. и *Ulocladium* sp. появлялись отчетливые симптомы гнили семян и инфицирования растений [9].

Наиболее опасным для пшеницы видом альтернарии признана *A. triticina*, вызывающая листовую пятнистость, и иногда приводящая к ощутимым потерям урожая зерна [2, 9–11], хотя встречающийся в Аргентине вид *Alternaria triticimaculan*, мог быть иногда более вредоносным [9, 12, 13].

На основе результатов проведенного исследования в Тамбовской обл. показано, что основными возбудителями инфекции на семенах являлись грибы родов *Fusarium* (в 2017 г. зараженность ими семян составила 0–21%) и *Alternaria* (в 2017 г. – 19–60%). Грибы рода *Alternaria* – токсикогенные грибы, поражающие вегетирующие растения и зерно, их вредоносность возрастает в ЦЧР и усиливается зараженность семенного материала. На семенах с низкой всхожестью присутствовали возбудители альтернариоза и фузариоза [14].

Негативное влияние альтернариевых инфекций и токсинов на показатели продуктивности и качества зерна спелты отмечено группой сербских ученых; в то же время повышение содержание токсинов имело положительную корреляцию с содержанием белка в зерне спелты [15].

Многие виды альтернарии сопровождают заболевание “черный зародыш” зерна озимой пшеницы. Делаются попытки назвать альтернарию возбудителем этого заболевания по причине ее очень частой встречаемости на зернах с черным зародышем [14], но ряд исследований ставит под сомнение данное допущение. Например, исследования, проведенные в Австралии на восприимчивом к заболеванию “черный зародыш” сорте *SUN239V*, показали, вопреки устоявшемуся мнению, что никаких белков грибного и бактериального происхождения в потемневшей ткани не было; очевидно, ее потемнение не было связано с микробной активностью. В то же время здесь присутствовали стрессовые растительные белки, т.е. продукты генов, связанных со стрессом, болезнями и защитой. Были обнаружены более высокие уровни содержания этих белков в зерне без черного зародыша. Авторы предполагают, что защита от болезни может быть обеспечена повышенным уровнем “стрессовых” белков [16]. Допускали отсутствие связи между черным зародышем и колонизацией зерна альтернариевыми грибами также российские специалисты из Санкт-Петербурга [1, 4]. Отмечены успешные попытки подавления развития альтернарии на пшенице с помощью химических и биологических средств защиты растений [1, 4, 7, 17].

Цель работы – мониторинг количественного состава альтернариевых грибов в образцах семян озимой пшеницы из Ростовской, Курской, Волгоградской областей и Ставропольского края за период 2014–2020 гг. и оценка альтернариевых

грибов как возбудителей черного зародыша пшеничных зерновок.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на образцах семенного зерна озимой пшеницы с производственных полей Волгоградской, Курской, Ростовской областей и Ставропольского края в лаборатории ВНИИФ в 2014–2020 гг.

Образцы семян отбирали с токов и из зернохранилищ хозяйств. Они отличались высокими посевными качествами: имели всхожесть не меньше 94%, встречаемость зерен с черным зародышем не превышала 0.5%.

Микробиологические анализы в условиях лаборатории ВНИИФ проводили по методике с использованием искусственной питательной среды Чапека. Зерновки озимой пшеницы закладывали на питательную среду с целью оценки уровня их колонизации микроорганизмами грибной природы. Анализ видового состава микробиоты *in vitro* проводили на 7-е сут инкубации. Видовую принадлежность образующихся на питательной среде колоний микромицетов определяли по форме органов споруляции (конидиеносцев, конидий, асков, спор и др.) под микроскопом [18–20].

Учитывали количество колоний микроорганизмов разных видов, выделенных *in vitro*, далее вычисляли долю (%) каждого выделенного микроорганизма относительно числа зерновок, размещенных на питательной среде, проводили также подсчет доли зерновок с колонизацией тем или иным микроорганизмом. В статье приведены 7-летние результаты оценки уровня колонизации зерна альтернариевыми грибами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Лабораторная оценка колонизации зерна озимой пшеницы альтернариевыми грибами в 2014–2020 гг. в зернопроизводящих хозяйствах Северного Кавказа (Ставропольский край, Ростовская обл.), Черноземной зоны (Курская область) и Нижнего Поволжья (Волгоградская область) показала следующие результаты (рис. 1).

За период изучения общий уровень колонизации находился в диапазоне 48–85%. Наименьший уровень колонизации семян озимой пшеницы видами альтернарии в начале исследования (2014 г.) отмечен в Волгоградской (53%) и Ростовской (55%) обл. Значительно больше он был в Курской обл. (79%) и в Ставропольском крае (85%).

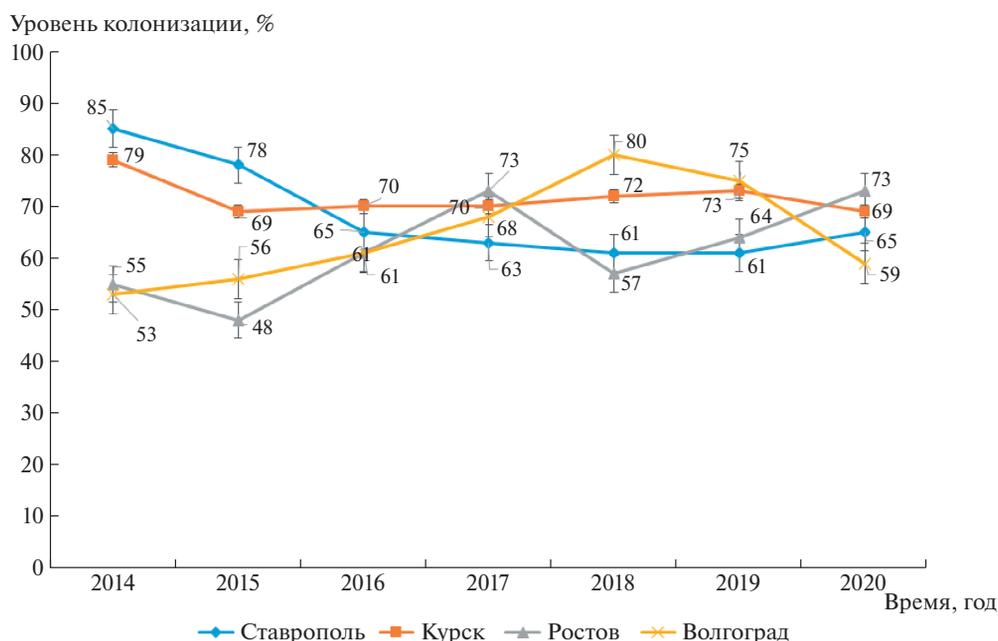


Рис. 1. Колонизация зерна озимой пшеницы альтернариевыми грибами (2014–2020 гг.).

На семенах урожая 2015 г. в Ставропольском крае, Курской и Ростовской обл. в сравнении с аналогичными показателями предыдущего года произошло снижение доли колонизированных ими зерен на 7–10%, в Волгоградской обл. – ее повышение на 3%.

К 2016 г. с повсеместным повышенным увлажнением на полях регионов, снижение уровня зараженности семян альтернарией (на 13%) наблюдали только в хозяйствах Ставропольского края, а в Ростовской, Волгоградской и Курской областях отмечали увеличение данного показателя на 13, 5 и 1% соответственно. В 2017 г., также с высокой влагообеспеченностью, эти тенденции в регионах сохранились. В 2018–2019 гг. по сравнению с 2017 г. относительная стабильность заселенности семян озимой пшеницы видами альтернарии отмечена в Курской обл. и Ставропольском крае, несмотря на снижение влагообеспеченности полей. В то же время в Волгоградской обл. данный показатель увеличился к 2018 г. на 12%, но снизился к 2019 г. на 5%, в Ростовской обл. он снизился к 2018 г. на 16% и увеличился к 2019 г. на 7%. Довольно резкое уменьшение уровня колонизации (на 16%) произошло к 2020 г. в Волгоградской обл.; в то же время в Ставропольском крае отмечено 4%-ное, в Ростовской обл. – 9%-ное увеличение, в Курской обл. – 4%-ное снижение показателя. Ни в годы с повсеместным увлажнением (2014, 2016, 2017), ни в засушливые (2015, 2018) годы не наблюдали однозначного изменения уровня колонизации се-

мян озимой пшеницы видами альтернариевых грибов: в одних регионах могло идти увеличение данного показателя, в других – его снижение или относительная стабилизация.

Прослежены региональные особенности динамики уровня колонизации: с 2014 г. отмечено снижение данного показателя в Ставропольском крае до 2015 г., в Курской обл. – до 2016 г., а затем – относительная стабилизация, соответственно на уровне 61–65% и 69–73%. В Ростовской и Волгоградской обл. с 2015 г. до 2017 г. шло нарастание уровня зараженности семян озимой пшеницы альтернарией, а затем наблюдали противоположные тенденции: до 2018 г. в Волгоградской обл. – довольно резкий подъем, в Ростовской обл. – не менее резкий спад уровня зараженности, затем к 2020 г. в Волгоградской обл. – уменьшение показателя с 80 до 59%, в Ростовской – его подъем с 57 до 73%.

Таким образом, наибольший уровень колонизации семян озимой пшеницы альтернариевыми грибами за период 2014–2020 гг. отмечен в Ставропольском крае (61–85%), меньший – в Курской обл. (69–79%), Волгоградской (53–80%), Ростовской (48–73%). В то же время, по величине показателя в 2020 г. наименьший уровень колонизации был отмечен на семенах из Волгоградской обл. (59%), более высокий – в Ставропольском крае (65%) и в Курской обл. (69%), наибольший – в Ростовской области (73%). Наибольшая вариабельность данного показателя прослежена в Волгоградской обл.; относительная стабильность

в 2016–2020 гг. – в Курской обл. и Ставропольском крае на уровне 69–72 и 61–65% соответственно. При высоком уровне колонизации зерна альтернариевыми грибами семена имели высокий уровень посевных качеств и незначительное количество зерен с черным зародышем. Это показало, что зерно озимой пшеницы колонизируют в основном непатогенные виды *Alternaria*.

Было проведено сравнительное изучение колонизации зерна с заболеванием “черный зародыш” и без него видами микромицетов в образцах озимой пшеницы из различных регионов юга России.

В Волгоградской обл. на стадии полной спелости летом 2017 г. на одном из полей было замечено массовое формирование зерновок с черным зародышем. Из образца зерна с данного поля были отобраны зерновки с потемнением в области зародыша и без потемнения и заложены на питательную среду Чапека. Микробиологический анализ показал следующие результаты (табл. 1). На зерновках без потемнения частота встречаемости альтернариевых грибов составила 28, на зерновках с черным зародышем – 23%, т.е. на 5% меньше. В то же время мукоровые и неспорулирующие грибы, а также аспергиллы на зерновках с черным зародышем встречались чаще, чем на зерновках без заболевания. Альтернария была выделена из 23% потемневших зерен, т.е. на 77% зерновок с черным зародышем альтернарии не было, поэтому едва ли следует считать ее в данном случае возбудителем заболевания “черный зародыш”. Микромицеты колонизировали 59% зерновок с черным зародышем, на 41% их не было выявлено, поэтому в данном случае потемнение в области зародыша не было связано с жизнедеятельностью грибов в их отсутствии. Аналогичные результаты получили австралийские ученые на биохимическом уровне, когда проведенные на восприимчивом к заболеванию “черный зародыш” сорте исследования показали, вопреки устоявшемуся мнению, что никаких белков грибного и бактериального происхождения в потемневшей ткани не было, и ее потемнение не связано с микробной активностью [16].

Для дальнейшего изучения связи заболевания “черный зародыш” с микромицетами из образцов семян Ростовской, Волгоградской обл. и Ставропольского края были разделены и заложены на питательную среду зерновки с потемнением в области зародыша и без потемнений. Сравнительная оценка встречаемости колонизирующих микромицетов показала следующие результаты (табл. 2). В ростовском образце семян сорта Алексеич альтернариевые грибы присутствовали на семенах

Таблица 1. Частота колонизации зерна озимой пшеницы микромицетами в связи с заболеванием “черный зародыш” (Волгоградская обл., 2017 г.)

Микромицет	Частота встречаемости на зерновках, %	
	Без потемнения	С черным зародышем
<i>Alternaria</i> spp.	28	23
<i>Mucor</i> spp.	14	20
<i>Arthrobotrys</i> sp.	7	0
<i>Mycelia sterilia</i>	0	12
<i>Aspergillus niger</i>	0	4

без потемнения (здоровых) в 72% зерновок, на семенах с черным зародышем – в 29% зерновок. 71% потемневших зерновок не содержал альтернарии и потемнение в этом случае, очевидно, не было связано с ее паразитированием. Кроме того, на семенах с черным зародышем было выявлено 12% зерен с высокопатогенным грибом *Fusarium moniliforme*, 10% – с возбудителем гельминтоспориозных гнилей *B. sorokiniana*, из зерен без потемнения эти патогены на питательную среду не высевались. Плесневые грибы родов ризопус и аспергилл присутствовали только на больных зернах, и неспорулирующих грибов *Mycelia sterilia* в этом случае было в 2.4 раза больше, чем на здоровых зерновках, грибы-пенициллы отмечены только на здоровых зернах, и грибов-муковок также было значительно больше.

В образце сорта Станичная (из Волгоградской обл.) отмечена 88%-я колонизация потемневших зерен альтернариевыми грибами, других микромицетов выявлено не было. На 12% потемневших зерен альтернария не была обнаружена, 73% зерен без потемнения были колонизированы видами *Alternaria*, а также *F. moniliforme* и неспорулирующими грибами с долей 20% и 11% соответственно – на больных черным зародышем зернах фузариоза в данном случае выявлены не были.

В образце зерна пшеницы сорта Жайвир из Ставропольского края альтернария присутствовала на 69% больных зерен, кроме того, из 22% выделяли мукоры, из 18% – неспорулирующие грибы. На здоровых зернах 2-х последних групп микромицетов не было, но на 52% отмечена колонизация видами *Alternaria*, на 31% – *F. sporotrichiella* и на 16% – *Epicoccum* sp., 2 последних вида из больных зерен образца выделено не было.

В образце зерна пшеницы сорта Баграт из Ставропольского края альтернария присутствовала на 62% зерен с черным зародышем, кроме

Таблица 2. Частота колонизации семян озимой пшеницы микромицетами в связи с заболеванием “черный зародыш” в регионах юга России (2017 г.)

Микромицет	Частота встречаемости на зерновках, %	
	без потемнения	с черным зародышем
Ростовская обл., сорт Алексееч		
<i>Alternaria</i> spp.	72	29
<i>F. moniliforme</i>	0	12
<i>Bipolaris sorokiniana</i>	0	10
<i>Mucor</i> spp.	41	23
<i>Rhizopus nigricans</i>	0	11
<i>Aspergillus flavus</i>	0	18
<i>Aspergillus niger</i>	0	35
<i>Mycelia sterilia</i>	10	24
<i>Penicillium chrisogenum</i>	3	0
Волгоградская обл., сорт Станичная		
<i>Alternaria</i> spp.	73	88
<i>F. moniliforme</i>	20	0
<i>Mycelia sterilia</i>	11	0
Ставропольский край, сорт Жайвир		
<i>Alternaria</i> spp.	52	69
<i>F. sporotrichiella</i>	31	0
<i>Epicoccum</i> sp.	16	0
<i>Mucor</i> spp.	0	22
<i>Mycelia sterilia</i>	0	18
Ставропольский край, сорт Баграт		
<i>Alternaria</i> spp.	43	62
<i>F. graminearum</i>	6	0
<i>F. moniliforme</i>	36	29
<i>F. sporotrichiella</i>	4	31
<i>Mucor</i> spp.	0	0
<i>Mycelia sterilia</i>	28	10

того, на 29% зерен был обнаружен патогенный гриб *F. moniliforme*, на 31% – токсикант *F. sporotrichiella* и на 10% – неспорулирующие сапротрофные грибы. В 38% зерен с черным зародышем альтерналиевые грибы отсутствовали.

На 43% здоровых зерен отмечена колонизация видами *Alternaria* (на 19% меньше, чем при наличии черного зародыша), на 36% – *F. moniliforme*, на 4% – *F. sporotrichiella*. Из 28% здоровых зерновок выделяли неспорулирующие грибы.

Проведенные исследования зерна сортов озимой пшеницы с черным зародышем показали, что потемнение зерновок зачастую имеет физиологическую природу, не связано с альтерналиевыми грибами, из-за отсутствия последних на части локально потемневших зерен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен мониторинг колонизации семян озимой пшеницы альтерналиевыми грибами в Ростовской, Курской, Волгоградской обл. и Ставропольском крае за период 2014–2020 гг., а также микологическая оценка сортообразцов пшеницы с заболеванием “черный зародыш”. За период изучения общий уровень колонизации находился в диапазоне 48–85%. Наибольший уровень колонизации семян озимой пшеницы альтерналиевыми грибами за период 2014–2020 гг. отмечен в Ставропольском крае (61–85%), меньший – в Курской (69–79%), Волгоградской (53–80%), Ростовской (48–73%) обл. В то же время по величине этого показателя в 2020 г. наименьший уровень колонизации был отмечен на семенах из Волгоградской области (59%), более высокий – в Ставропольском крае (65%), в Курской обл. (69%), наибольший – в Ростовской обл. (73%). При высоком уровне колонизации семян альтерналиевыми грибами они имели хорошие посевные качества и незначительное количество зерен с черным зародышем. Это показало, что зерно озимой пшеницы на юге европейской территории России колонизируют в основном непатогенные виды *Alternaria*.

Микологический анализ зерна сортов озимой пшеницы с черным зародышем установил, что потемнение зерновок зачастую не связано с альтерналиевыми грибами – данные микромицеты отсутствовали на части локально потемневших зерен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганнибал Ф.Б. Альтерналиоз зерна – современный взгляд на проблему // Защита и карантин раст. 2014. № 6. С. 11–15.
2. Gordon M. Murray Industry biosecurity plan for the grains industry. Threat Specific Contingency Plan: Leaf blight of wheat *Alternaria trititica* // Plant Health Australia. 2009. № 8. 28 p. Website: www.planthealthaustralia.com.au
3. Аверкиева О., Айдинян Т., Крюков О. Какие микотоксины “прячутся” в нашем зерне // Комбикорма. 2012. № 6. С. 119–120.
4. Ганнибал Ф.Б. Мониторинг альтерналиозов сельскохозяйственных культур и идентификация грибов рода *Alternaria*. Метод. пособ. СПб.: ВИЗР, 2011. 70 с.
5. Hubballi M., Sornakili A., Anand S.N.T., Raguchander T. Virulence of *Alternaria alternata* infecting noni associated with production of cell wall degrading enzymes // J. Plant. Prot. Res. 2011. V. 51. № 1. P. 87–92.

6. Roháčik T., Hudec K. Fungal infection of malt barley kernels in Slovak Republic // *Plant Protect. Sci.* V. 43. № 3. P. 86–93.
7. Jevtić R., Župunski V., Lalošević M., Tančić Živanov S. Colonization of winter wheat grain with *Fusarium* and *Alternaria* species and influence on pest control management // *J. Gen. Plant Pathol.* 2019. V. 85. P. 273–281.
<https://doi.org/10.1007/s10327-019-00844-y>
8. Ūnal F., Çakır E. Molecular identification of sooty molds on wheat fields in central anatolia region and effect of seed germination // *Euras. J. Agricult. Res.* 2017. V. 1. № 1. P. 73–81.
9. Perelló A., Larran S. Nature and effect of *Alternaria* spp. Complex from wheat grain on germination and disease transmission // *Pak. J. Bot.* 2013. V. 45. № 5. P. 1817–1824.
10. Прескотт Дж.М., Бурнетт П.А., Сару Е.И., Рансом Дж., Боуман Дж., де Миллиано В., Сингх Дж., Бекеле Г. Болезни и вредители пшеницы. Алматы: ГТЦ-СИММИТ, 2002. 135 с.
11. Дувеллер Е., Сингх П.К., Меццалама М., Сингх Р.П., Дабабат А. Болезни и вредители пшеницы. Рук-во для полевого определения (2-е изд.). Анкара, 2018. 148 с.
12. Andersen B., Sorensen J.L., Nielsen K.F., Gerrits van den Ende B., de Hoog S. A polyphasic approach to the taxonomy of the *Alternaria infectoria* species-group // *Fungal Genet. Biol.* 2009. V. 46. P. 642–656.
13. Perello A., Cordo C., Simon M.R. A new disease of wheat caused by *Alternaria triticimaculans* in Argentina // *Agronomie.* 1996. V. 16 (2). P. 107–112.
14. Полунина Т.С., Лавринова В.А., Леонтьева М.П., Гусев И.В. Зависимость патогенной микобиоты семян от сортовых особенностей озимой пшеницы в ЦЧР // Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем. Вып. 10. Мат-лы Международ. науч.-практ. конф. “Биологическая защита растений — основа стабилизации агроэкосистем. Становление и перспективы развития органического земледелия в Российской Федерации” 11–13 сентября 2018 г. Краснодар, 2018. С. 360–363.
15. Disalov J.N., Bodroža-Solarov M.I., Krulj J.A., Pezo L.L., Čurčić N.Ž., Kojić J.S., Ugrenović V.M. Impact of *Alternaria* spp. and alternaria toxins on quality of spelt wheat // *J. Agricult. Sci.* 2018. V. 10. № 2. P. 89–97.
16. Mac Y., Willows R.D., Roberts T.H., Wrigley C.W., Sharp P.J., Copeland L. Black Point is associated with reduced levels of stress, disease- and defence-related proteins in wheat grain // *Mol. Plant Pathol.* 2006. V. 7. № 3. P. 177–189.
17. Kakraliya S.S., Zacharia S., Bajiya M.R., Mukesh Sh. Management of leaf blight of wheat (*Triticum aestivum* L.) with bio-agents, neem leaf extract and fungicides // *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2017. V. 6. № 7. P. 296–303.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.607.034>
18. Наумова Н.А. Анализ семян на грибную и бактериальную инфекцию. М., 1951, 140 с.
19. Будынков Н.И., Михалева С.Н., Проскурин А.В. Динамика факультативных паразитов грибной природы в полевых агроценозах с минимальной обработкой почвы в западной части Волгоградской области // *Агрохимия.* 2021. № 1. С. 64–71.
20. Будынков Н.И., Михалева С.Н. Болезни нута на юге европейской территории России. Семенная инфекция // *Достижения. науки и техн. АПК.* 2018. Т. 32. № 7. С. 31–35.

Monitoring of *Alternaria* Fungi on Winter Wheat Grain in Farms in the South of Russia (2014–2020)

N. I. Budynkov^{a,#} and S. N. Mikhaleva^a

^aThe All-Russian Research Institute of Phytopathology
ul. Institute, vlad. 5, Moscow region, Odintsovo district, village Bolshye Vyazemy 143050, Russia

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

Monitoring of colonization of winter wheat grain by *Alternaria* fungi in the Rostov, Kursk, Volgograd region and Stavropol Territory in the period 2014–2020, as well as mycological assessment of wheat varieties with the disease “black germ” were carried out. During the study period, the overall colonization rate was in the range of 48–85%. The largest colonization of winter wheat seeds by *Alternaria* fungi over the period 2014–2020 was noted in the Stavropol Territory (61–85%), smaller – in the Kursk (69–79%), Volgograd (53–80%), Rostov (48–73%) regions in 2020. The lowest level of colonization was observed on grain from the Volgograd region (59%), higher – in the Stavropol Territory (65%) and in the Kursk region (69%), the highest – in the Rostov region (73%). With a high level of seed colonization by *Alternaria* fungi, the grain had good sowing qualities and an insignificant number of grains with a black embryo. This proved that winter wheat grains in the south of the European territory of Russia are colonized mainly by non-pathogenic *Alternaria* species. Mycological analysis of the grain of winter wheat varieties with a black embryo showed that the darkening of the grains was often not associated with *Alternaria* fungi – these micromycetes were absent on a part of locally darkened grains.

Key words: winter wheat, grain, seeds, micromycete, alternaria species, colonization, strong pathogens, weak pathogens, mycotoxins, “black germ”.

УДК 631.432:631.436:631.421.1:633.11“321”

ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ДЛИТЕЛЬНОМ СТАЦИОНАРНОМ ПОЛЕВОМ ОПЫТЕ

© 2022 г. А. Е. Малыгин^{1,*}, Г. М. Захаров¹

¹ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН
630501 Новосибирская обл., Новосибирский р-н, р.п. Краснообск, СФНЦА РАН, Россия

*E-mail: alekmal48@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.04.2021 г.

После доработки 28.05.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

В длительном стационарном полевом опыте изучено влияние гидротермических условий вегетационного периода на агробиологические показатели яровой пшеницы в севооборотах с разным насыщением зерновыми культурами. Показано, что наименее чувствительными к гидротермическим условиям на экстенсивном фоне оказались пшеница после пара и пшеница после клевера. Применение минеральных удобрений в дефицитные по влагообеспеченности годы сглаживало негативное влияние гидротермических условий на урожайность яровой пшеницы. Выявлено, что содержания клейковины и сырого белка, характеризующие качество зерна пшеницы, зависели от погодных условий начала августа в период полного созревания.

Ключевые слова: севообороты, яровая пшеница, урожайность, качество зерна гидротермический коэффициент, фазы развития яровой пшеницы.

DOI: 10.31857/S0002188121120073

ВВЕДЕНИЕ

На продуктивность севооборотов оказывают влияние как агротехнологические приемы, применение разнообразных экзогенных химических веществ и набор сельскохозяйственных культур, так и особенности погодных условий вегетационного периода [1, 2]. В настоящее время общепризнанным является представление о том, что продуктивность земледелия в условиях изменяющегося глобального климата и устойчивость сельскохозяйственного производства представляют собой взаимосвязанные факторы [3].

Урожайность зерновых культур определяется гидротермическими условиями вегетационного периода, которые влияют не только на формирование, но и на варьирование величины урожая, биохимический состав и технологические качества зерна. Это связано с тем, что ростовые процессы и прохождение фаз развития растений в период их вегетации проходят в условиях различных температур, уровня выпавших осадков, продолжительности светового дня и прихода ФАР [2, 4, 5].

Следует отметить, что метеорологические условия в отдельные годы и особенно в период вегетации растений могут значительно отличаться от среднемноголетних. При этом интегральным показателем оценки условий тепло- и влагообеспечения вегетационных периодов является предложенный Селяниновым гидротермический коэффициент (ГТК) [6].

В настоящий момент в литературе по этому вопросу имеются данные, полученные в разных климатических зонах и в разных севооборотах [3, 7, 8]. Поэтому представляло интерес продолжить исследования на выщелоченном черноземе лесостепной зоны Западной Сибири в севооборотах с разным насыщением зерновыми культурами в длительном стационарном опыте [4].

Цель работы – в многолетнем стационарном полевом опыте выявить влияние гидротермических условий на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в севооборотах при разных уровнях интенсивности ее возделывания.

Таблица 1. Ресурсы тепло- и влагообеспеченности в годы проведения опыта на стационаре СибНИИЗиХ (гидротермический коэффициент по Селянину (ГТК), АМС “Огурцово”, Новосибирская обл.), $X_{cp} \pm S_x$

Фаза вегетации пшеницы	Годы с дефицитной влагообеспеченностью (2003, 2005, 2011, 2012, 2016)	Годы с умеренно-дефицитной влагообеспеченностью (2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2014)	Годы с умеренно-увлажненной влагообеспеченностью (2000, 2001, 2007, 2009, 2013, 2015)
Посев–кущение 20.05–20.06	0.5 ± 0.2	1.0 ± 0.4	2.1 ± 0.4
Трубкавание 20.06–01.07	0.7 ± 0.3	0.8 ± 0.3	0.7 ± 0.3
Колошение–цветение 01.07–20.07	1.0 ± 0.4	1.4 ± 0.5	2.3 ± 0.6
Созревание 20.07–20.08	0.6 ± 0.2	0.9 ± 0.5	1.6 ± 0.6
ГТК _{6,7,8}	0.78 ± 0.09	1.08 ± 0.12	1.55 ± 0.22

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено на центральном опытном поле СибНИИЗиХ, расположенном в центрально-лесостепном Приобском агроландшафтном районе Северо-Предалтайской лесостепной провинции [9]. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый. Мощность гумусового горизонта (А1) – 39 см, АВ – 13 см. Плотность сложения выщелоченного чернозема варьирует от 1.02 в пахотном горизонте до 1.46 г/см³ в горизонте Вк. Содержание гумуса в пахотном слое почвы – 4.2–4.8%, общего азота – 0.27–0.41%, подвижного фосфора по Карпинскому–Замятиной – 3.4–5.9 мг/кг, по Чирикову – 180–185, обменного калия – 70–77 мг/кг почвы, рН_{Н₂О} 6.7.

Стационар по изучению севооборотов заложен в 1996 г. Опыты проводили при 2-х уровнях интенсификации: 1 – экстенсивный, без удобрений и средств химизации, 2 – интенсивный, с полным набором средств химизации (удобрения + + применение пестицидов для защиты растений от болезней, вредителей и сорняков). Аммиачную селитру вносили из расчета N60 под культуру, суперфосфат – P120 за ротацию 4-польного севооборота осенью под основную обработку. Обработку против вредных объектов проводили в зависимости от результатов фитосанитарной диагностики.

Приемы основной и предпосевной обработки почвы соответствовали рекомендациям СибНИИЗХим [10], причем с соблюдением принципа соответствия обработки почвы оптимальным технологиям возделывания культур. Посев яровой пшеницы сорта Новосибирская 29 в годы опыта проводили в период с 20 по 25 мая, что было связано с благоприятными агроклиматическими условиями в центральной лесостепи Приобья,

достаточными запасами влаги (110–160 мм) и элементов питания (нитратный азот 60–90 кг/га – на экстенсивном фоне, 110–140 кг/га – на интенсивном фоне) в 1-метровом слое почвы.

На продолжительность фаз развития выращиваемого сорта яровой пшеницы и всего периода ее вегетации гидротермические условия существенного влияния не оказали. Период посев–кущение происходил с 20 мая по 20 июня. Трубкавание заканчивалось к 1 июля, период колошение–цветение – к 20 июля. Уборку зерновых проводили после 20 августа.

Материалы, представленные в статье, получены в 2000–2016 гг., начиная со 2-й ротации 4-польных севооборотов: 1 – зернопаровой (пар – пшеница – пшеница – ячмень), 2 – зерновой (вики-овес на зерно – пшеница – пшеница – ячмень), 3 – зернотравяной (клевер на зеленую массу – пшеница – пшеница – ячмень + клевер), 4 – зерновой (пшеница – овес – пшеница – ячмень и бессеменное выращивание пшеницы).

Годы периода опытов были сгруппированы согласно величине ГТК (табл. 1).

Анализы почвы, зерна и биомассы растений выполнены по соответствующим ГОСТам, ОСТам и общепринятым методикам [11]. Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием табличного процессора Microsoft Excel. Результаты представлены в виде средних (X_{cp}) ± стандартное отклонение (S_x). Статистическую обработку результатов исследования выполнили с помощью пакета прикладных программ SNEDECOR [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожайность пшеницы существенно изменялась в зависимости от складывавшихся гидротер-

Таблица 2. Урожайность яровой пшеницы в различных севооборотах в зависимости от гидротермических условий вегетации ($X_{cp} \pm S_x$), т/га

Предшественник пшеницы	Дефицитная влагообеспеченность		Умеренно-дефицитная влагообеспеченность		Умеренно-увлажненная влагообеспеченность	
	1	2	1	2	1	2
Пар	1.57 ± 0.4	2.89 ± 0.6	2.59 ± 0.42	3.51 ± 0.6	3.63 ± 0.34	4.64 ± 0.16
Вика-овес (на зерно)	0.91 ± 0.4	1.76 ± 0.8	1.78 ± 0.5	3.01 ± 0.6	2.48 ± 0.45	3.92 ± 0.4
Клевер	1.0 ± 0.3	2.01 ± 0.7	1.94 ± 0.27	3.04 ± 0.7	2.73 ± 0.6	4.18 ± 0.39
Ячмень	0.88 ± 0.09	1.98 ± 0.24	1.69 ± 0.3	2.90 ± 0.31	2.28 ± 0.4	3.64 ± 0.28
Пшеница	0.81 ± 0.20	1.49 ± 0.48	1.56 ± 0.28	2.63 ± 0.35	2.10 ± 0.35	3.62 ± 0.39

Примечание. В графе 1 – экстенсивный фон, 2 – интенсивный фон.

мических условий конкретного вегетационного периода. Максимальная урожайность была отмечена в зернопаровом севообороте на интенсивном фоне в умеренно увлажненные годы (в среднем в опыте 4.6 т/га), минимальная – при бессменном выращивании пшеницы на экстенсивном фоне в дефицитные по влагообеспеченности годы (в среднем в опыте 0.8 т/га) (табл. 2). Таким образом, при высоких весенних запасах влаги и нитратного азота была отмечена вариабельность величины урожая пшеницы, которую определяли изменения гидротермических условий как всего периода вегетации, но в основном гидротермические условия отдельных фаз вегетации.

В промежуток посев–кушение в годы умеренно-дефицитные по влагообеспеченности (ГТК = 1.0) средняя урожайность в зависимости от севооборота на экстенсивном фоне находилась в пределах 1.6–2.6 т/га, в умеренно-увлажненные годы (ГТК > 2) средняя урожайность в зависимости от севооборота на экстенсивном фоне составила 2.1–3.6 т/га, а в годы с ГТК = 0.5 урожайность находилась в пределах 0.8–1.6 т/га. Таким образом, сложившиеся гидротермические условия в начальный период вегетации пшеницы на экстенсивном фоне являлись определяющими для формирования величины урожая. Аналогичные закономерности были отмечены и на интенсивном фоне.

Контрастные условия увлажнения отмечены и в период с конца трубкования до колошения: в 6-ти вегетационных сезонах из 17 ГТК составил 2.3, в 5-ти – был равен 1.0, в очень засушливом 2012 г. гидротермический коэффициент снизился до 0. Следует отметить, что недостаток влаги в 2008 г. (ГТК = 0.6) и 2010 г. (ГТК = 0.8) в период с конца трубкования до колошения не оказал существенного влияния на урожайность пшеницы в севооборотах, она находилась на уровне 2001 г.,

когда было отмечено значительное и равномерное выпадение осадков в период посев–цветение и, как следствие, нормальное увлажнение в вегетационный период. На формирование урожая в 2008 и 2010 гг., как было отмечено ранее, оказали большее влияние весенние запасы продуктивной влаги (130 мм).

Гидротермические условия при созревании пшеницы также значительно различались: в 5 сезонах из 17 лет опыта наблюдали острый дефицит влаги (в среднем ГТК был равен 0.6), в 6 сезонах ГТК был ≈ 1.0 и в 3-х сезонах (2000, 2001 2013 гг.) с избыточным увлажнением ГТК был > 2.0.

Корреляционно-регрессионный анализ связи между урожайностью первой пшеницы в севооборотах и величиной ГТК показал сопряженность этих показателей. Высокие стартовые запасы продуктивной влаги и нитратного азота запускали процессы органогенеза, которые в дальнейшем для своей реализации требовали тепло и влагу. Их нехватка снижала урожайность яровой пшеницы (табл. 2).

Согласно регрессионной модели, предположили наличие связи между урожайностью пшеницы и гидротермическими условиями вегетационного периода. Для оценки временных рядов был выбран полиномиальный регрессионный анализ парных зависимостей, который позволил определить долю дисперсий зависимой переменной, а именно коэффициент детерминации (R^2). Выявили существенную зависимость урожайности пшеницы от величины ГТК в годы с дефицитной влагообеспеченностью. В другие годы зависимость величины урожайности от уровня влагообеспеченности не была отмечена (табл. 3).

Более детально был проведен корреляционный анализ связи урожайности пшеницы в севооборотах с тепло- и влагообеспеченностью в разные фазы ее развития (табл. 4).

Таблица 3. Вариация урожайности в зависимости от ГТК вегетационного периода (R^2). Полиномиальный регрессионный анализ парных зависимостей

Предшественник пшеницы	Дефицитная влагообеспеченность	Умеренно-дефицитная влагообеспеченность	Умеренно-увлажненная влагообеспеченность
Пар	<u>0.88</u>	<u>0.68</u>	<u>0.51</u>
	0.98	0.49	0.28
Вика-овес (на зерно)	<u>0.82</u>	<u>0.17</u>	<u>0.30</u>
	0.77	0.32	0.38
Клевер	<u>0.73</u>	<u>0.34</u>	<u>0.62</u>
	0.91	0.13	0.57
Ячмень	<u>0.90</u>	<u>0.50</u>	<u>0.36</u>
	0.96	0.43	0.62
Пшеница	<u>0.83</u>	<u>0.60</u>	<u>0.32</u>
	0.95	0.26	0.82
<i>F</i> -критерий	<u>7.6</u>	<u>1.6</u>	<u>1.7</u>
	54	0.9	2.5

Примечание. Над чертой – экстенсивный фон; под чертой – интенсивный фон.

Таблица 4. Корреляционная связь урожайности пшеницы и ГТК в различных фазах вегетации пшеницы

Предшественник пшеницы	Дефицитная влагообеспеченность				Умеренно-дефицитная влагообеспеченность				Умеренно-увлажненная влагообеспеченность			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Пар	<u>0.34</u>	<u>0.18</u>	<u>0.69</u>	<u>0.67</u>	<u>0.03</u>	<u>0.20</u>	<u>0.16</u>	<u>0.62</u>	<u>-0.34</u>	<u>-0.81</u>	<u>-0.96</u>	<u>-0.76</u>
	0.84	0.76	0.77	0.91	0.04	0.21	0.11	0.55	-0.60	-0.79	-0.65	-0.86
Вика-овес (на зерно)	<u>0.33</u>	<u>0.02</u>	<u>0.57</u>	<u>0.67</u>	<u>0.87</u>	<u>0.55</u>	<u>-0.08</u>	<u>-0.15</u>	<u>-0.01</u>	<u>-0.40</u>	<u>-0.40</u>	<u>-0.44</u>
	0.55	0.48	0.63	0.63	-0.06	-0.49	-0.18	0.46	-0.09	-0.26	-0.32	0.41
Клевер	<u>0.11</u>	<u>-0.27</u>	<u>0.28</u>	<u>0.47</u>	<u>0.74</u>	<u>0.65</u>	<u>0.12</u>	<u>0.03</u>	<u>-0.69</u>	<u>-0.83</u>	<u>-0.88</u>	<u>-0.86</u>
	0.89	0.55	0.75	0.94	0.08	-0.08	-0.35	0.24	-0.85	-0.90	-0.76	-0.93
Ячмень	<u>0.08</u>	<u>-0.07</u>	<u>0.47</u>	<u>0.45</u>	<u>0.59</u>	<u>0.73</u>	<u>0.28</u>	<u>0.17</u>	<u>-0.32</u>	<u>-0.10</u>	<u>-0.23</u>	<u>-0.25</u>
	0.86	0.85	0.86	0.80	-0.05	-0.38	-0.36	0.37	-0.26	-0.41	-0.44	-0.56
Пшеница	<u>0.19</u>	<u>-0.27</u>	<u>0.44</u>	<u>0.55</u>	<u>0.42</u>	<u>0.29</u>	<u>-0.01</u>	<u>-0.14</u>	<u>-0.27</u>	<u>0.18</u>	<u>0.45</u>	<u>-0.01</u>
	0.86	0.75	0.89	0.90	-0.16	-0.36	-0.35	0.34	-0.04	0.08	0.23	-0.11

Примечания. 1. Фазы вегетации пшеницы: в графе 1 – посев–кущение, 2 – трубкование, 3 – колошение, 4 – созревание. 2. Над чертой – экстенсивный фон, под чертой – интенсивный фон. 3. Критическая величина коэффициента корреляции равна 0.53 при уровне значимости $P = 0.05$. То же в табл. 5, 6.

В умеренно-дефицитные годы на экстенсивном фоне тесная положительная связь урожайности первой пшеницы в севооборотах и ГТК прослежена в период посев–кущение (за исключением пшеницы после пара), а в годы с дефицитом влагообеспечения сильная связь была выявлена в период колошение–созревание. В умеренно-увлажненные годы корреляция величины урожайности пшеницы с гидротермическим коэффициентом не выявлена.

Таким образом, для получения максимальной урожайности пшеницы в данных почвенно-климатических условиях значимы не только структу-

ра севооборота, но и оптимальный гидротермический режим в наиболее важные (критические) периоды вегетации растений.

В умеренно-увлажненные годы благоприятные гидротермические условия способствовали реализации генетического потенциала яровой пшеницы. Применение минеральных удобрений в дефицитные по влагообеспеченности годы сглаживало влияние гидротермических условий на ее урожайность (табл. 2). Влияние метеорологических условий вегетационного периода на эффективность использования культурными растения-

Таблица 5. Корреляционная связь содержания сырой клейковины и ГТК в различных фазах вегетации пшеницы

Предшественник пшеницы	Дефицитная влагообеспеченность				Умеренно-дефицитная влагообеспеченность				Умеренно-увлажненная влагообеспеченность			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Пар	0.41	-0.87	-0.67	0.47	-0.63	-0.75	-0.15	-0.13	0.30	0.46	0.08	0.28
	0.75	-0.62	-0.51	0.15	-0.60	-0.74	-0.16	-0.06	0.08	-0.02	-0.17	0.60
Вика-овес (на зерно)	0.52	-0.80	-0.73	0.48	-0.38	-0.85	-0.28	-0.11	-0.51	0.09	-0.71	0.27
	0.69	-0.63	-0.55	0.30	-0.47	-0.82	-0.39	-0.04	-0.06	0.46	-0.31	0.23
Клевер	0.04	-0.84	-0.99	0.80	-0.52	-0.87	-0.51	-0.13	-0.44	0.38	-0.65	0.25
	0.48	-0.46	-0.81	0.63	-0.71	-0.79	-0.31	-0.07	0.10	0.23	-0.13	0.59
Ячмень	-0.1	-0.83	-0.97	0.93	-0.60	-0.63	-0.51	0.22	0.12	0.06	-0.07	0.63
	0.45	-0.42	-0.79	0.64	-0.59	-0.60	-0.36	0.23	0.21	0.45	0.02	0.17
Пшеница	0.16	-0.82	-0.85	0.81	-0.49	-0.22	-0.75	0.51	-0.56	0.06	-0.72	0.64
	0.45	-0.39	-0.40	0.44	-0.22	-0.21	-0.54	0.66	0.27	0.36	0.08	0.48

Таблица 6. Корреляционная связь содержания сырого протеина в зерне пшеницы и ГТК в различных фазах вегетации пшеницы

Предшественник пшеницы	Дефицитная влагообеспеченность				Умеренно-дефицитная влагообеспеченность				Умеренно-увлажненная влагообеспеченность			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Пар	-0.09	-0.19	-0.51	0.75	-0.63	-0.02	-0.12	0.50	-0.03	0.45	-0.18	0.22
	-0.11	0.37	-0.84	0.80	-0.41	-0.43	-0.31	0.38	0.28	0.46	0.16	0.15
Вика-овес (на зерно)	0.18	-0.28	-0.50	0.66	-0.31	-0.40	-0.58	0.45	-0.64	0.24	-0.81	0.24
	0.10	-0.22	-0.45	0.69	-0.32	-0.26	-0.72	0.58	-0.53	0.28	-0.71	0.32
Клевер	0.41	-0.81	-0.86	0.64	-0.58	-0.72	-0.67	0.08	-0.62	0.31	-0.79	0.26
	0.49	-0.64	-0.75	0.61	-0.59	-0.66	-0.65	0.17	-0.54	0.45	-0.68	0.19
Ячмень	0.16	-0.52	-0.71	0.79	-0.38	-0.31	-0.36	0.56	-0.69	-0.02	-0.80	0.51
	0.03	-0.64	-0.75	0.70	-0.31	-0.07	-0.51	0.76	-0.58	0.06	-0.71	0.46
Пшеница	0.66	-0.43	-0.65	0.45	-0.24	0.17	-0.64	0.87	-0.71	-0.04	-0.83	0.46
	0.60	-0.18	-0.48	0.40	-0.02	0.39	-0.45	0.96	-0.54	-0.01	-0.61	0.40

ми внесенных удобрений отмечено и другими авторами [13–15].

Важными показателями, характеризующими качество зерна пшеницы, является содержание сырой клейковины и сырого протеина. Показано (табл. 5), что содержание сырой клейковины зависело от величины ГТК начала августа или во время полного созревания зерна. В годы с дефицитным влагообеспечением у пшеницы после клевера на экстенсивном фоне оно достигало 32%, в годы с умеренно-увлажненным влагообеспечением – уменьшалось до 27%.

Не выявлено положительной связи величин содержания сырого протеина в зерне яровой пшеницы с ГТК в умеренно увлажненные годы (табл. 6). В годы с дефицитом влагообеспечения низкий ГТК в период созревания зерна пшеницы не снижал содержание сырого протеина, которое

составило 16% на интенсивном фоне. В умеренно увлажненные годы этот показатель был равен 15%. Полученные результаты хорошо согласовались с литературными данными [13, 15, 16].

ВЫВОДЫ

1. Урожайность яровой пшеницы на экстенсивном фоне была тесно связана с гидротермическими условиями, складывающимися в начальный период вегетации растений.

2. Применение минеральных удобрений в дефицитные по влагообеспеченности годы нивелировало влияние гидротермических условий на урожайность яровой пшеницы.

3. Выявлена обратная зависимость между величиной ГТК и урожайностью пшеницы в умеренно-увлажненные годы.

4. Содержание сырой клейковины и сырого белка, как показатели, характеризующие качество зерна пшеницы, зависели от погодных условий начала августа во время полного созревания зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жученко А.А.* Научные приоритеты развития растениеводства в XXI веке // Экологические основы повышения устойчивости и продуктивности агроландшафтных систем. Орел: Изд-во ОрелГАУ, 2001. С. 10.
2. *Панников В.Д., Минеев В.Г.* Почва, климат, удобрения и урожай. М.: Агропромиздат, 1987. 512 с.
3. Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России / Под ред. Иванова А.Л., Кирюшина В.И. М., 2009. 517 с.
4. *Малыгин А.Е., Захаров Г.М., Понько В.А., Земенков Н.А.* Продуктивность полевых севооборотов в лесостепи Приобья в зависимости от средств химизации и условий увлажнения // Плодородие. 2016. № 3. С. 22–24.
5. *Сарычева А.А.* Физиолого-биохимические закономерности формирования качества зерна в различных агроэкологических условиях // Агрохимия. 2002. № 6. С. 30–33.
6. *Чирков Ю.И.* Агрометеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 320 с.
7. *Крючков А.Г., Бесалиев И.Н.* Параметры температурного режима и увлажнения межфазных периодов вегетации ячменя // Вестн. РАСХН. 2008. № 5. С. 51–52.
8. *Завалин А.А., Пасынкова Е.Н., Пасынков А.В.* Зависимость урожая зерна яровой пшеницы от гидротермических условий межфазных периодов вегетации // Плодородие. 2010. № 4. С. 6–8.
9. Реестр длительных стационарных полевых опытов государственных научных учреждений Сибирского отделения Россельхозакадемии. Новосибирск: РАСХН, СО, 2009. С. 144–151.
10. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области. Новосибирск: СО РАСХН, СибНИИЗХим, 2002. 388 с.
11. Практикум по агрохимии: Уч. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Минеева В.Г. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
12. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск: СО РАСХН, 2008. 217 с.
13. *Шарков И.Н., Колбин С.А.* Влияние погодных условий вегетационного периода на урожайность яровой пшеницы и эффективность азотного удобрения в лесостепи Приобья // Вестн. НГАУ. 2020. № 1 (54). С. 33–41.
14. *Сиротенко О.Д., Романенков В.А., Павлова В.Н., Листова М.П.* Оценка и прогноз эффективности минеральных удобрений в условиях изменяющегося климата // Агрохимия. 2009. № 7. С. 26–33.
15. *Черкасов Г.Н., Сокорев Н.С., Воронин А.Н., Трапезников С.В.* Влияние погодных условий на плодородие почв, урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность удобрений в центральном Черноземье // Докл. РАСХН. 2010. № 5. С. 25–27.
16. *Завалин А.А., Пасынков А.В.* Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. М.: ВНИИА, 2007. С. 116–117.

Influence of Hydrothermal Conditions of the Growing Season on the Yield and Quality of Spring Wheat Grain in a Long-Term Stationary Field Experiment

A. E. Malygin^{a,#} and G. M. Zakharov^a

^a Siberian Institute of Agronomy and Agricultural Chemistry RAS
Novosibirsk region, Krasnoobsk 630501, Russia

[#]E-mail: alekmal48@yandex.ru

In a long-term stationary field experiment, the influence of hydrothermal conditions of the growing season on the agrobiological indicators of spring wheat in crop rotations with different grain saturation was studied. It is shown that wheat after steam and wheat after clover were the least sensitive to hydrothermal conditions on an extensive background. The use of mineral fertilizers in the years that were deficient in moisture supply smoothed the negative impact of hydrothermal conditions on the yield of spring wheat. It was revealed that the content of gluten and raw protein, which characterize the quality of wheat grain, depended on the weather conditions of the beginning of August during the full ripening period.

Key words: crop rotations, spring wheat, yield, grain quality, hydrothermal coefficient, phases of development of spring wheat.

УДК 632.151:632.122.1

ДАЛЬНОСТЬ ВОЗДУШНОГО ПЕРЕНОСА ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ АММОФОСА. ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАССЕЙЯНИЯ Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Fe, Mn В СОСТАВЕ ТЕХНОГЕННОЙ ПЫЛИ

© 2022 г. А. В. Литвинович¹, О. Ю. Павлова¹, А. В. Лаврищев^{2,*}, В. М. Буре^{1,3}¹Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 С.-Петербург–Пушкин, Гражданский просп., 14, Россия²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
196601 С.-Петербург–Пушкин, Петербургское шоссе, 2, Россия³Санкт-Петербургский государственный университет
199034 С.-Петербург, Университетская наб., 7–9, Россия

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

Поступила в редакцию 27.07.2021 г.

После доработки 02.09.2021 г.

Принята к публикации 15.11.2021 г.

Изучен состав техногенной пыли, отобранной из труб предприятия по производству аммофоса, расположенного в аридной зоне. Установлено, что содержание металлов в составе пыли, оседающих на листьях хлопчатника, не велико и убывает в ряду $Fe > Mn > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn > Co$. В радиусе 10 км от источника выбросов прослежено повышенное накопление в составе пыли цинка, кобальта, никеля, хрома и марганца. Содержание металлов непосредственно в листьях хлопчатника мало различалось в зависимости удаления от труб завода (исключение составил марганец). Выявленные концентрации металлов в тканях хлопчатника не представляют угрозы для роста и развития растений. Дальность максимального рассеяния отдельных металлов, оцененная по линейному тренду их содержания, составила (км): Co – 43.4, Ni – 72.5, Pb – 83.4, Cr – 96.4, Mn – 97.6, Cu – 105, Zn – 109, Fe – 145. Строгой приуроченности дальности воздушного переноса от атомной массы элемента не установлено. Проведена кластеризация металлов по дальности их воздушного переноса от источника загрязнения.

Ключевые слова: дальность воздушного переноса, промышленные выбросы, производство аммофоса, эмпирические модели рассеяния, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Fe, Mn, техногенная пыль.

DOI: 10.31857/S0002188122020090

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение атмосферы в результате выбросов промышленных предприятий является серьезной экологической проблемой. Дальность переноса определяется различными факторами, среди которых следует выделять климатические (температура и влажность воздуха, скорость ветра, состояние атмосферы), состав выбросов (соотношение твердых, жидких и газообразных компонентов), размер частиц, высота труб, рельеф местности, наличие растительного покрова и т.п. [1].

Из всех компонентов выбросов, газообразные перемешаются дальше, чем твердые. С увеличением расстояния от источника загрязнения уровень достигает максимума, а затем постепенно снижается. Максимальное загрязнение атмосфе-

ры в припочвенном слое, по данным [2], достигается на расстоянии, которое в 5–20 раз превышает высоту труб. Согласно расчетам, выполненным в работе [3], максимальное загрязнение атмосферы фиксируется на расстоянии, равном 10–14 высотам труб.

Скорость осаждения газообразных продуктов зависит от химических свойств газов – более высокая свойственна обладающим большей реакционной способностью. Входя в непосредственный контакт, они выводятся из атмосферы вследствие химических реакций, а также физической и химической сорбции. На долю “сухого” осаждения приходится выведение из атмосферы до 50% загрязняющих веществ [4]. При наличии осадков и высокой влажности воздуха скорость осаждения еще более усиливается [5].

Выпадение на почву твердых частиц, обладающих низкой реакционной способностью, определяется процессами седиментации и описывается формулой Стокса [6]. Это положение справедливо для частиц диаметром >20 мкм. Частицы меньшего размера ведут себя аналогично газам.

В литературе, посвященной дальности воздушного переноса твердых частиц, встречается большой разброс данных. По данным [7], границы ареала техногенного загрязнения сероземов расположены в 6–7 км от предприятия цветной металлургии. Напротив, в работе [8] указано, что в радиусе 10 км от цинкоплавильного завода выпадает $<10\%$ от содержания металлов в выбросах. По мнению [9], загрязнение почв отмечено в радиусе 20–30 км, а дальность распространения составляет 50–70 км. Высота труб при этом будет иметь немаловажное значение.

При выходе в атмосферу начинается разделение твердых компонентов выбросов. Более крупные и тяжелые частицы оседают вблизи источников загрязнения, тогда как легкие и мелкие переносятся дальше. Разделение частиц по размеру и удельной массе нередко означает также сепарацию по химическому составу [10]. Например, в зоне действия металлургических предприятий в районе Содбери в Канаде загрязнение почв никелем обнаруживали в радиусе 50, меди – 30, кобальта и свинца – 19 км [8]. В исследованиях [11], проведенных в окрестностях г. Череповца, установлено, что максимальное загрязнение растительности Fe, Mn и Ti находилось вблизи предприятий в пределах 1 км, Ca, Mg и P – в пределах 2–3 км, Cu, Zn, Ni – 3–5 км. По данным [9], в сфере воздействия черной металлургии Mn и Cr осаждались в радиусе 7–8 км, концентрация Zn и Ni достигали фоновых величин на расстоянии 20–25 км.

В работе [12] показано, что с удалением от предприятия происходило возрастание доли растворимых тяжелых металлов (ТМ) за счет уменьшения массы нерастворимых частиц. Аналогичные данные получены в исследованиях [8, 13]. При однородном химическом составе химических выбросов, дальность переноса будет определяться в первую очередь дисперсностью частиц. В этом случае можно наблюдать несколько максимумов.

В качестве индикаторов промышленного загрязнения природной среды используют воздух, атмосферные осадки, снежный покров, водную поверхность, почву, мхи, лишайники, высшие растения [14]. В работах [15, 16] была предпринята попытка использовать растения хлопчатника,

возделываемого вблизи предприятия по производству аммофоса, для установления площади аэрального загрязнения фтором, оседающего на листовых пластинках растений. Цель работы – установить дальность рассеяния Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Fe, Mn в составе твердых пылевидных выпадений, отходящих от труб предприятия туковой промышленности.

Задачи исследования: установить концентрацию ТМ в составе твердых взвешенных частиц, выбрасываемых в атмосферу цехами по производству аммофоса и экстракционной фосфорной кислоты; определить содержание ТМ в техногенной пыли, оседающей на листовой поверхности хлопчатника; выявить концентрацию металлов в обмытых листьях растений на разном расстоянии от труб предприятия в направлении господствующих ветров; разработать линейные модели тренда максимальной дальности переноса отдельных ТМ в направлении преимущественного распространения ветра; провести кластеризацию ТМ в зависимости от дальности их воздушного переноса.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Завод по производству аммофоса (координаты: $39^{\circ}39'33''N$ и $66^{\circ}49'42''E$) с ежегодным объемом газопылевых выбросов более 10 тыс. т расположен в зоне сухих субтропиков. На территории промплощадки завода размещены 3 цеха по производству концентрированной серной кислоты, 2 цеха по производству экстракционной фосфорной кислоты, 3 цеха по производству аммофоса. Высота труб предприятия цехов по производству серной кислоты – 180 м, цехов по производству аммофоса – 120 м.

К предприятию прилегает территория активного хлопкосеяния. Вегетационный период хлопчатника равен 110–150 сут [17]. Степень сомкнутости крон хлопчатника к июлю, в зависимости от агротехники возделывания, составляет 40–93% [18]. 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. Физико-химическая характеристика почв под хлопчатником представлена в работе [16].

Отбор техногенной пыли проводили непосредственно из труб цехов по производству аммофоса и экстракционной фосфорной кислоты на беззольные фильтры. Образцы листьев растений отбирали на ключевых площадках 50×50 м, расположенных на типичных элементах рельефа, на разном расстоянии (0.6–20 км) от предприятия в

Таблица 1. Содержание металлов в техногенной пыли, мг/кг

Образец	Ni	Cr	Cu	Co	Zn	Mn
Пыль цеха по производству аммофоса	27.0	44.5	22.5	6.5	91.3	1500
Пыль цеха экстракционной фосфорной кислоты	21.8	37.5	21.5	10.3	53.0	650

Таблица 2. Содержание металлов в пыли, оседающей на листовую поверхность хлопчатника, мг/кг сухой массы листьев

Расстояние от предприятия, км	Cu	Zn	Co	Ni	Cr	Mn	Fe	Pb
0.6	32.9	9.5	9.7	23.8	21.1	251	680	37.9
3	26.5	9.7	8.7	25.4	24.8	277	850	40.6
5	22.5	9.4	7.7	21.2	21.4	225	700	32.2
10	25.6	9.1	8.7	24.2	23.8	265	750	36.8
15	27.7	8.1	5.6	18.5	18.3	209	730	31.2
20	22.4	8.1	5.2	17.9	18.3	209	610	29.3

направлении господствующих ветров (северо-восток) в фазе бутонизации по всей высоте стеблей. Средняя проба включала 90 растений в каждом массиве.

Уровень запыленности листовой поверхности хлопчатника определяли по разности между зольностью не обмытых и обмытых листьев. Пыль, оседавшую на листовую поверхность, собирали с участков обследования, обмывая 100 г свежих листьев в 100 мл дистиллированной воды. В фильтрате определяли величину pH. Полноту отмыва контролировали, отмывая листья большим количеством деионизированной воды. Фильтры озолняли в смеси азотной и соляной кислот при кипячении. Аналогичным образом разлагали пыль, смытую с листьев.

Обмытые листья озолняли в муфельной печи при температуре 500°C в течение 8 ч. Для определения содержания металлов, полученную золу растворяли в азотной кислоте. Наличие металлов устанавливали на атомно-абсорбционном спектрофотометре Perkin Elmer.

Математическую обработку данных проводили согласно [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты изучения состава техногенной пыли показали, что твердые пылевидные материалы, вне зависимости от расположения труб предприятия, содержали в своем составе все изученные элементы (табл. 1).

Согласно наблюдениям, техногенная пыль из цехов по производству аммофоса представлена частицами аммофосной пульпы различной степени дисперсности. В выбросах цехов по производству экстракционной фосфорной кислоты доминировали частицы фосфоритной муки. Отбор проводили на фильтровальную бумагу.

Таким образом, твердые выбросы представлены в основной своей массе фосфорсодержащими соединениями различной степени растворимости. Концентрация ТМ в них менялась (мг/кг): Ni – 21.8–27.0, Cr – 37.5–44.5, Cu – 21.5–22.5, Co – 6.5–10.3, Zn – 53.0–91.3, Pb – 27.0–71.5. Прилегающий к предприятию массив, таким образом, можно рассматривать как почву, длительное время получавшую высокие дозы фосфорных удобрений.

В работе [20] предложено различать 2 типа техногенной нагрузки химических элементов на земную поверхность: 1 – высокая нагрузка, формируемая в результате выпадения больших количеств пыли с фоновым и близким к нему содержанием химических элементов; 2 – высокая нагрузка, образуемая выпадением пыли с высоким содержанием химических элементов.

Первый тип нагрузки полностью подходит к рассматриваемому нами случаю и является условно аномальным. Сколько-нибудь заметного увеличения содержания загрязняющих элементов в почвах техногенной зоны могло не диагностироваться [21, 22].

Результаты изучения состава твердых частиц на поверхности листьев показали, что концентрация металлов в оседающих частицах была не велика и убывала в ряду: Fe > Mn > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn > Co (табл. 2). В радиусе 10 км от источника выбросов прослежено повышенное накопление цинка, кобальта, никеля, хрома, марганца.

Количественно, уровень запыленности можно охарактеризовать разностью между зольностью не обмытых и обмытых листьев. При сжигании не обмытых листьев, по сравнению с обмытыми, выход золы оказался больше на 1.1–4.3 г/100 г сухой массы [16].

Следует подчеркнуть, что отложения техногенной пыли на поверхности листьев не являются пассивным складированием. По мнению авторов работы [23], поверхность листовых пластинок яв-

Таблица 3. Содержание металлов в отмытых листьях хлопчатника, отобранных на разном расстоянии от предприятия, мг/кг сухой массы растений

Элемент	Расстояние от предприятия, км					
	0.6	3	5	10	15	20
Zn	22.0	16.2	16.2	15.0	21.8	21.8
Co	2.0	2.0	2.0	1.8	1.9	1.8
Pb	10.2	10.5	10.0	10.5	11.0	10.2
Ni	3.7	3.6	3.5	3.6	3.7	3.3
Cr	1.3	1.2	1.5	1.6	1.4	1.2
Mn	101	56.0	50.0	61.0	63.5	57.5
Fe	135	140	165	150	140	100
Cu	8.4	5.4	5.2	5.8	7.4	7.4

ляется местом биохимических процессов, реакций между металлами аэральными выпадениями и поступающими из живых тканей органическими и органо-минеральными соединениями. Исследователи указывают, что перехваченные поверхностью листьев аэральные частицы закрепляются различными механизмами, среди которых определяющую роль играют гуттационные выделения.

В наших исследованиях смывы с листьев хлопчатника имели зеленовато-желтую окраску, а pH суспензии менялся в пределах 9.15–9.25 ед. Важным представляется вопрос о возможности поступления загрязняющих веществ непосредственно в ткань листа из состава техногенной пыли. В работе [16] такая возможность была установлена для фтора.

Соединения металлов, попадающие из воздуха, могут поступать внутрь тканей. Существует мнение, что мелкие частицы (<5 мкм в диаметре) проникают через устьица, диаметр которых меняется в пределах от 5 до 30 мкм [24]. В противовес этому, автор работы [25] указывал, что устьица играют незначительную роль в поглощении аэральными частицами. По его мнению, аэральные частицы прочно фиксируются на восковых структурах эпидермиса, не изменяя его структуру. Необходимо однако добавить, что подобное закрепление, на наш взгляд, возможно лишь для тонких частиц и, скорее всего, едва ли возможно для труднорастворимых тонких фракций, присутствующих в выбросах.

В отличие от нерастворимых и слаборастворимых аэральными частицами, растворимые металлы могут поступать как через устьица, так и через кутикулу. Механизм поглощения ионов листом – многоступенчатый процесс, включающий пассивную диффузию и активный транспорт [1].

Сравнение концентрации металлов в отмытых листьях хлопчатника (табл. 3) и их содержанием в составе техногенной пыли (табл. 2) выявило существенные различия в их содержании. Содержание большинства металлов в отмытых листьях хлопчатника мало различалось в зависимости от удаления от источника загрязнения и было значительно меньше, чем в техногенной пыли, удаленной в результате обмывки листьев и удаления пыли с их поверхности.

Таким образом, для большинства изученных металлов связь между концентрацией в листьях растений и удалением от источника загрязнения отсутствовала. Исключение составлял марганец, содержание которого в хлопчатнике рядом с предприятием (0.6 км) было почти в 2 раза больше, чем на удаленных участках.

Увеличение содержания марганца в листьях древесных и кустарниковых пород в техногенных зонах установлено в работе [26]. Вероятно, его усиленное накопление связано с активной ролью марганца в процессе фотосинтеза и является ответной реакцией растений на неблагоприятные условия произрастания [27].

В данной связи практический интерес представляет вопрос о возможности избирательного поглощения металлов листовой поверхностью. По усредненным данным 8-ми отмыток химических элементов в листьях деревьев, кустарников и травянистых растений, собранных на территории крупной городской агломерации, содержание железа и свинца уменьшилось на 50–60, мышьяка – на 40, никеля – на 22, цинка – на 12%, а кобальта, кадмия и меди оставалось без изменений [9].

В опытах [28] при аэральном некорневом подкормке ряда сельскохозяйственных культур сложными микроудобрениями, имитирующими химический состав выпадений, в среднем на 15–30% увеличивался урожай луговых трав и картофеля, улучшались технические показатели льна-долгунца. Сделана попытка обосновать гипотезу о преобладающей роли аэрального типа питания многими микроэлементами естественной растительностью. На наш взгляд, подобное утверждение нуждается в серьезной экспериментальной проверке, хотя как альтернативная возможность восполнения недостатка элементов питания некорневое поглощение сомнений не вызывает. В практике сельского хозяйства некорневые подкормки нашли самое широкое применение. Таким образом, участие и положительная роль металлов, поглощенных некорневым путем в процессах метаболизма, подтверждается многочисленными исследованиями и практикой сельского хозяйства.

Таблица 4. Эмпирические модели дальности воздушного переноса тяжелых металлов

Химический элемент	Линейная модель тренда	Коэффициент детерминации R^2	p -value по F -критерию	Максимальная дальность воздушного переноса, км
Кобальт	$y_1 = 9.572 - 0.22x$	0.82	0.01	43.4
Цинк	$y_2 = 9.786 - 0.09x$	0.89	0.004	10
Хром	$y_3 = 23.46 - 0.24x$	0.45	0.14	96.4
Никель	$y_4 = 24.9 - 0.34x$	0.67	0.046	72.5
Медь	$y_5 = 28.7 - 0.27x$	0.28	0.28	105
Свинец	$y_6 = 38.8 - 0.47x$	0.63	0.06	83.4
Марганец	$y_7 = 263.4 - 2.7x$	0.48	0.127	97.6
Железо	$y_8 = 767.3 - 5.29x$	0.25	0.32	145

Полученные нами результаты о содержании металлов в тканях растений не позволили сделать однозначный вывод о наличии или отсутствии у хлопчатника механизмов некорневого поглощения металлов. Однако даже при наличии таких механизмов роль некорневого поглощения едва ли велика, что связано с анатомическим строением листьев хлопчатника (хорошо развитый кутикулярный слой).

Сопоставление полученных данных концентрации металлов в листьях хлопчатника со шкалой нормальных концентраций в незагрязненных растениях показало, что их содержание находилось в диапазоне естественных изменений в незагрязненных растениях и не представляло угрозы для роста и развития хлопчатника [29].

Одной из задач настоящей работы явилось установление максимальной дальности воздушного переноса Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Fe, Mn, оцененное по линейному тренду их содержания в техногенной пыли, оседающей на листьях хлопчатника по мере удаления от источника загрязнения. Возможность использования линейного тренда для оценки максимальной дальности рассеяния металлов от труб предприятия обусловлено высокой статистической значимостью эмпирических зависимостей по критерию Фишера.

В качестве примера приведены расчеты, выполненные для кобальта.

Линейная модель тренда (парная линейная регрессия изученного показателя от расстояния) имеет вид:

$$y_1 = 9.572 - 0.22x, \quad (1)$$

где x – расстояние от предприятия.

Модель (1) статистически значима на очень высоком уровне значимости, $p = 0.01$ (p -value по F -критерию). коэффициент детерминации $R^2 = 0.82$.

Из условия $y_1 = 9.572 - 0.22x = 0$ можно оценить по тренду максимальную дальность переноса:

$$l_1 = \frac{9.572}{0.22} = 43.4 \text{ км.}$$

Линейные модели дальности воздушного переноса ТМ сведены в табл. 4. Большинство моделей характеризуются высоким уровнем значимости, строгой зависимости дальности рассеяния от атомной массы элемента не установлено. Графики моделей представлены на рис. 1.

По дальности переноса металлов (оценка по тренду) металлы можно разделить на группы: I группа включает Co ($l_1 = 43.4$ км), II группа включает Ni ($l_4 = 72.5$ км) и Pb ($l_6 = 83.4$ км), III группа включает Cr ($l_3 = 96.4$ км) и Mn ($l_7 = 97.6$ км), IV группа включает Cu ($l_5 = 105$ км), Zn ($l_2 = 109$ км) и Fe ($l_8 = 145$ км).

ВЫВОДЫ

1. Пыль, отходящая из труб цехов по производству аммофоса была представлена частицами аммофосной пульпы различной степени дисперсности, пыль цехов по производству экстракционной фосфорной кислоты – частицами фосфоритной муки. Концентрация металлов, отходящих от труб предприятия, убывала в ряду: Mn > Zn > Cr > Ni > Cu > Co.

2. Содержание металлов в составе пыли, оседающей на листьях хлопчатника, убывало в ряду: Fe > Mn > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn > Co. В радиусе 10 км от источника выбросов прослежено повышенное накопление в составе пыли цинка, кобальта, никеля, хрома и марганца.

3. Концентрация металлов, непосредственно в тканях хлопчатника мало различалась в зависи-

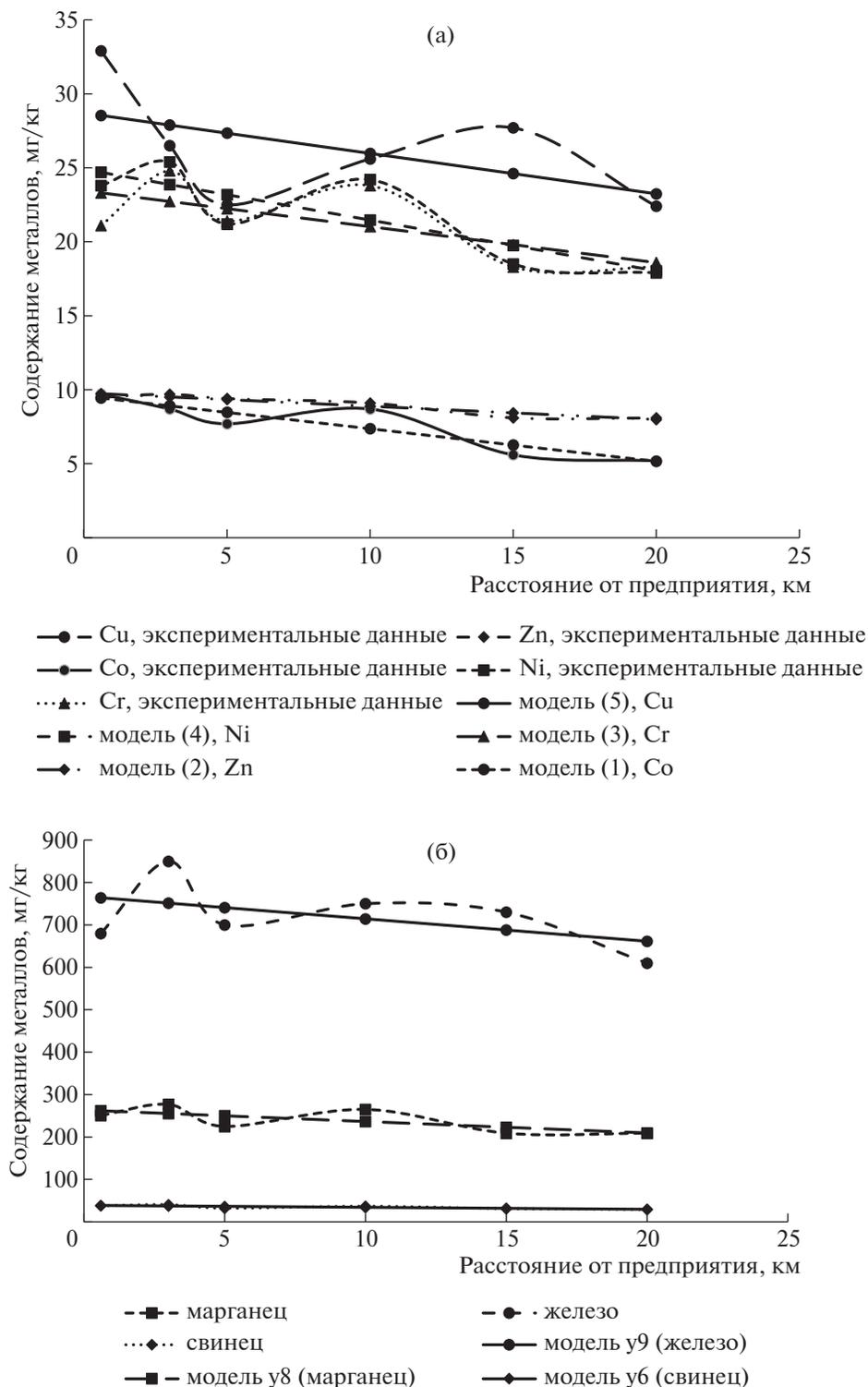


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов на поверхности листьев в составе техногенной пыли в зависимости удаления от труб предприятия: (а) – группа I, II; (б) – группа III, IV.

мости удаления от труб завода. Исключение составил марганец, содержание которого на расстоянии 0.6 км от завода было в 2 раза больше, чем в растениях, отобранных на удаленных участках. Выявленные концентрации металлов в тканях

хлопчатника не представляли угрозы для роста и развития растений.

4. Дальность максимального рассеяния отдельных металлов, оцененная по линейному тренду их содержания, составила (км): Co – 43.4,

Ni – 72.5, Pb – 83.4, Cr – 96.4, Mn – 97.6, Cu – 105, Zn – 109, Fe – 145. Строгой зависимости дальности воздушного переноса от атомной массы элемента не установлено. Проведена кластеризация металлов по дальности их воздушного переноса от источника загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загрязнение воздуха и жизнь растений. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 536 с.
2. Берлянд М.Е. Закономерности распространения выбросов в атмосфере // Метеорологические аспекты промышленного загрязнения атмосферы. М.: Гидрометеоиздат, 1968. 536 с.
3. Качур А.Н. Некоторые особенности химического состава осадков атмосферы в связи с техногенезом // Геохимия зоны гипергенеза и техническая деятельность человека. Владивосток: ДВЦ АН СССР, 1976. С. 28–47.
4. Westley M.Z., Nicks B.B. Some factors that effect the deposition rates of sulfur dioxide and similar gases on vegetation // J. Air Pollut. Control Assoc. 1977. V. 27. P. 1110–1116.
5. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 273 с.
6. Хайди Г.М. Процесс удаления газообразных и взвешенных загрязнителей из атмосферы // Химия нижней атмосферы. М.: Мир, 1976. С. 155–222.
7. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л., 1975. 272 с.
8. Махонько Э.П., Малахов С.Г., Бликов В.К., Несмятина Т.В. Содержание ТМ в растворимых осадках в формах в выпадениях в зависимости от расстояния от источника загрязнения // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Тр. II Всесоюзн. совещ. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. С. 53–58.
9. Дончева А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности М., 1978. 96 с.
10. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растения. Новосибирск: Наука, 1991. 150 с.
11. Важенин И.Г. Почва, как адаптивная система самоочищения от токсического воздействия тяжелых металлов – ингредиентов техногенных выбросов через атмосферу // Химия в сел. хоз-ве. 1982. № 47. С. 41–45.
12. Гармаш Г.А. Накопление тяжелых металлов в почвах и растениях вокруг металлургических предприятий: Дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1985. 151 с.
13. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В. Геохимия ландшафтов и техногенез. М.: Наука, 1990. 195 с.
14. Дончева А.В., Казакова Л.К., Калуцков В.М. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды. М.: Экология, 1992. 256 с.
15. Литвинович А.В. Деграция хорошо окультуренных почв гумидных и аридных регионов. Saarbrücken: Lap Lambert, 2011. 288 p.
16. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М. Моделирование процесса воздушного переноса фтора в составе аэральных выбросов. Использование растений хлопчатника для индикации промышленного загрязнения // Агрохимия. 2021. № 12. С. 88–96.
17. Энциклопедия хлопководства. Ташкент, 1985. Т. 1. 561 с.
18. Хлопчатник. Климат и почвы хлопковых районов Средней Азии. Т. 2. Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957. 628 с.
19. Буре В.М. Методология статистического анализа опытных данных. СПб.: РАСХН, АФИ, СПбГУ, 2007. 141 с.
20. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
21. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Содержание и распределение свинца в почвах в зоне деятельности завода туковой промышленности // Агрохимия. 1996. № 3. С. 92–100.
22. 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.
23. Елпатьевский П.В., Аржанова В.С., Власов А.В. Взаимодействие растительности с потоком металлоносных аэрозолей // Тр. III Всесоюзн. совещ.: Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. С. 97–101.
24. Little P. Disposition of 2.75, 5.0 and 8.5 mm particles to plant and soil surfaces // Environ. Pollut. 1977. V. 12. № 4. P. 293–305.
25. Farado M.E. Metal tolerant plants // Coord Chem. Revs. 1981. V. 36. № 2. P. 155–182.
26. Бессонова В.Б., Лыженко И.И. Аккумуляция тяжелых металлов компонентами экосистем в индустриальных районах // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы. М.: Изд-во МГУ, 1988. Ч. 2. С. 240–243.
27. Литвинович А.В., Осипов А.И., Павлова О.Ю. Влияние техногенного загрязнения на химический состав растений хлопчатника // Агрохимия. 1998. № 1. С. 71–77.
28. Голенецкий С.П., Жигаловская Т.Н., Голенецкая С.И. Роль атмосферных выпадений в формировании микроэлементного состава почв и растений // Почвоведение. 1981. № 2. С. 41–48.
29. Кабата Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 350 с.

**Range of Air Transport of Industrial Emissions
of an Enterprise Producing Ammophos. Empirical Models
of Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Fe, Mn Scattering in Technogenic Dust**

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, St. Petersburg–Pushkin 195220, Russia*

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

^c*Sankt-Petersburg State University
Universitetskaya nab. 7–9, St. Petersburg 199034, Russia*

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

The composition of technogenic dust taken from the pipes of an ammophos production plant located in the arid zone has been studied. It was found that the metal content in the composition of dust deposited on cotton leaves is not high and decreases in the range of Fe > Mn > Pb > Cu > Ni > Cr > Zn > Co. Within a radius of 10 km from the source of emissions, an increased accumulation of zinc, cobalt, nickel, chromium and manganese in the dust composition was traced. The metal content directly in the cotton leaves did not differ much depending on the removal from the plant pipes (the exception was manganese). The detected concentrations of metals in cotton tissues do not pose a threat to plant growth and development. The maximum scattering range of individual metals, estimated by the linear trend of their content, was (km): Co – 43.4, Ni – 72.5, Pb – 83.4, Cr – 96.4, Mn – 97.6, Cu – 105, Zn – 109, Fe – 145. Strict timing of the air transfer range from the atomic mass of the element has not been established. Clustering of metals according to the range of their air transport from the source of pollution was carried out.

Key words: air transport range, industrial emissions, ammophos production, empirical scattering models, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Pb, Fe, Mn, technogenic dust.