

СОДЕРЖАНИЕ

Номер 7, 2020

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Плодородие почв

Мониторинг плодородия почв и урожайности чайных плантаций при длительном возделывании в субтропиках России без применения одного или нескольких видов минеральных удобрений

Н. В. Козлова, Л. С. Малюкова

3

Содержание и пространственное распределение подвижных элементов питания агрочерноземов в зависимости от способов основной обработки почвы

Н. Л. Кураченко, А. А. Колесник

11

Свойства почв солонцовых комплексов Барабы в агроценозе пашня–залежь

Л. П. Галеева

17

Питание растений

Фотосинтетическая активность и донорно-акцепторные отношения растений яровой пшеницы при применении молибденовокислого аммония в условиях засухи

И. И. Серегина, Н. Т. Ниловская

26

Удобрения

Эффективность и оптимизация систем удобрения в севооборотах с разной долей многолетних трав на дерново-подзолистой почве Центра Нечерноземной зоны России

*В. В. Конончук, В. Д. Штырхунов, Г. В. Благовещенский,
С. М. Тимошенко, Т. О. Назарова*

36

Действие возрастающих доз вермикомпоста на агрохимические свойства почвы, урожайность и качество клубней картофеля

М. С. Бутенко, О. А. Ульянова, А. Н. Халипский, С. В. Хижняк

47

Пестициды

Эффективность инновационных препаратов на основе тебуконазола, тирама и карбендазима против болезней картофеля

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

57

Агроэкология

Метод феромониторинга капустной моли (*Plutella xylostella* L.) – опасного вредителя рапса

И. Ю. Бобрешова, Т. А. Рябчинская, С. В. Стулов, Ю. Б. Пятнова, С. Д. Каракотов

68

Вынос элементов питания сорной растительностью полевого севооборота при применении удобрений и гербицидов в Вологодской области

Н. В. Токарева, В. В. Суров, О. В. Чухина

76

Влияние соломы на продукционную способность люпина узколистного на дерново-подзолистых супесчаных почвах

Т. Ю. Анисимова

83

ОБЗОРЫ

Математическое моделирование кинетики минерального питания и роста растений

В. А. Четырбоцкий, А. Н. Четырбоцкий, Б. В. Левин

90

Contents

No. 7, 2020

EXPERIMENTAL ARTICLES

Soil Fertility

Monitoring of Soil Fertility and Yield of Tea Plantations during Long-Term Cultivation in the Subtropics of Russia without the Use of One or More Types of Mineral Fertilizers

N. V. Kozlova, L. S. Maljukova

3

Content and Spatial Distribution of Agrochemical Significance of the Agrochernozems in the Conditions of Main Processing of the Soil

N. L. Kurachenko, A. A. Kolesnik

11

Properties of Soils of Solonetz Complexes Baraby in the Phytocenosis of Arable Land Fallow

L. P. Galeeva

17

Plant Nutrition

Photosynthetic Activity and Donor-Acceptor Relations of Spring Wheat Plants in the Application of Molybdenum-Acid Ammonium in Drought Conditions

I. I. Seregina, N. T. Nilovskaia

26

Fertilizers

Efficiency and Optimization of Fertilizer Systems in Crops Rotations with Different Performance of Perennial Grasses on the Sod-Podzolic Soil of the Center of the Non-Black-Zone of Russia

V. V. Kononchuk, V. D. Shtyrkhunov, G. V. Blagoveshchensky, S. M. Tymoshenko, T. O. Nazarova

36

Influence of Increasing Doses of Vermicompost on Agrochemical Properties of Soil, Yield and Quality of Potato Tubers

M. S. Butenko, O. A. Ulyanova, A. N. Khalipsky, S. V. Khizhnyak

47

Pesticides

Efficiency of Innovative Preparations on the Basis of Tebuconazole, Tiram and Carbendasim against Potato Diseases

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

57

Agroecology

Method of Pheromone Monitoring of the Cabbage Moth (*Plutella xylostella* L.) – Dangerous Pest of Rape

I. Yu. Bobreshova, T. A. Ryabchinskay, S. V. Stulov, Yu. B. Pyatnova, S. D. Karakotov

68

Removal of Nutrients by Weeds Field Crop Rotation of the Vologda Region when applying Fertilizers and Herbicides

N. V. Tokareva, V. V. Surov, O. V. Chuhina

76

Influence of Straw on the Production Capacity of Narrow-Leaved Lupine on Sod-Podzolic Sandy Loam Soils

T. Yu. Anisimova

83

REVIEWS

Mathematical Modeling of the Kinetics of Mineral Nutrition and Plant Growth

V. A. Chetyrbotsky, A. N. Chetyrbotsky, B. V. Levin

90

МОНИТОРИНГ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ И УРОЖАЙНОСТИ ЧАЙНЫХ ПЛАНТАЦИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЛЫВАНИИ В СУБТРОПИКАХ РОССИИ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОДНОГО ИЛИ НЕСКОЛЬКИХ ВИДОВ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

© 2020 г. Н. В. Козлова^{1,*}, Л. С. Малюкова¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт цветоводства и субтропических культур
354002 Сочи, Краснодарский край, ул. Яна Фабрициуса, 2/28, Россия

*E-mail: agro-pochva@vniisubtrop.ru

Поступила в редакцию 23.09.2019 г.

После доработки 02.11.2019 г.

Принята к публикации 13.01.2020 г.

В полевом многофакторном опыте с удобрениями (в составе Геосети) изучена многолетняя (1986–2012 гг.) динамика показателей плодородия бурых лесных кислых почв и урожайности модельных чайных плантаций при полном отсутствии минеральных удобрений или одного из видов (азотных, фосфорных, калийных). При возделывании чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) интенсивного сорта Колхида без азотных удобрений средняя урожайность была невысокой (19–28 ц/га) и составила 20–30% от потенциально возможной для этого сорта. В основном корнеобитаемом слое почвы (0–40 см) содержание гумуса стабилизировалось на исходном уровне с тенденцией к накоплению; содержание легкогидролизуемого азота находилось на уровне в 1.5–2.0 раза меньше исходного (после быстрого снижения в первые годы); обеспеченность подвижным калием была относительно постоянной при снижении количества его кислоторастворимых и обменных форм; содержание подвижных фосфатов уменьшилось в среднем в 1.5 раза. Длительное отсутствие калийных и фосфорных удобрений на фоне применения азотных удобрений и высокой урожайности плантаций (средняя многолетняя была равна 52–67 ц/га) привело к увеличению выноса калия в 3.0–3.5 раза и к истощению калийного запаса (уменьшению содержания различных форм калия на 25–50%). Содержание подвижных фосфатов поддерживалось на исходном уровне за счет биогенной аккумуляции элемента.

Ключевые слова: бурые лесные кислые почвы, чайная плантация, урожайность, динамика плодородия, легкогидролизуемый азот, гумус, подвижный фосфор, калийный статус, хозяйственный баланс элементов.

DOI: 10.31857/S0002188120040067

ВВЕДЕНИЕ

Уникальные почвенно-климатические условия влажных субтропиков России определили возможность промышленного возделывания чая (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) в нашей стране. Начиная с 50-х годов XX века чаеводство являлось и до сих пор остается важной отраслью региона. Почвы чайных плантаций, как многолетней монокультуры, сохраняющей высокую продуктивность до 50 лет и жизнеспособность до 100 лет (и более) при правильном агротехническом уходе, требуют особенно внимательного и грамотного подхода к управлению их плодородием. Высокая потребность в элементах питания, связанная с формированием и отчуждением большого объема биомассы в течение всего периода вегетации, на фоне исходно невысокого уровня плодородия

субтропических почв определяет необходимость и эффективность применения минеральных удобрений при возделывании чая. В связи с этим на различных этапах развития отрасли чаеводства большое внимание уделяли разработке и постоянному совершенствованию зональной системы удобрения [1–3], почвенно-растительной диагностике минерального питания чая [4, 5], развитию подходов и принципов оптимизации применения удобрений [6–8]. Результаты научно-исследовательской работы с успехом реализовывали в производственных условиях.

Особую ценность представляют исследования на базе длительного полевого многофакторного опыта с удобрениями на культуре чая (включенного в состав Всероссийской Географической сети опытов), которые проводит коллектив ученых

и специалистов ВНИИЦСК, начиная с 80-х годов XX века. Они позволили охватить многолетний цикл выращивания культуры чая от момента закладки плантации и изучить длительную динамику урожайности чайных плантаций и комплекса свойств почв при самых различных схемах применения удобрений в условиях зоны. Результатом исследований явилась целая серия диссертационных работ, научно-методических и практических разработок, посвященных оптимизации плодородия почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая [3, 5, 9], оценке состояния почв и их агрогенной трансформации при длительном применении различных доз NPK [10–13], поведению микроэлементов в системе почва–чайное растение [14], экологической безопасности агротехнологий по показателям биологической активности почв и структурно-функционального состояния микробных комплексов [15, 16].

К сожалению, в течение уже более 20-ти лет в чаеводческих хозяйствах региона все чаще встречается нерегулярное, недостаточное применение удобрений в малых дозах, их длительное полное отсутствие или внесение только азотных удобрений, и даже полный отказ от применения минеральных удобрений. Это не может не вызывать опасения с точки зрения угрозы деградации агро-систем чайных плантаций (уменьшения плодородия почв, урожайности и адаптивности растений).

В связи с этим цель работы – изучение и демонстрация многолетней динамики плодородия почв чайных плантаций при длительном полном отсутствии минеральных удобрений или какого-либо вида удобрений (азотных, фосфорных, калийных) на основе анализа мониторинговых исследований в рамках полевого многофакторного опыта с удобрениями.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Опыт был заложен в 1986 г. на молодой плантации чая районированного интенсивного сорта Колхида (1983 г. посадки) в наиболее высоко бонитетной (согласно [17]) по почвенно-климатическим условиям подзоне чаеводства Черноморского побережья Краснодарского края (г. Сочи, п. Уч-Дере, ЗАО “Дагомысчай”). Почва опытного участка – бурая лесная кислая легкоглинистая на элюво-делювии аргиллитов (согласно [18]) – одна из лучших чаепригодных почв влажно-субтропической зоны России, на которой заложено более половины чайных плантаций.

Перед посадкой плантации было проведено окультуривание почв участка (плантажная

вспашка на глубину до 40–50 см и внесение высоких доз NPK) в результате чего обеспеченность почвы основными питательными элементами в плантажированном горизонте (0–40 см) достигла среднего и высокого уровней: легкогидролизуемый азот – 90–110 мг/кг, подвижный фосфор и калий – 320–380 и 225–280 мг/кг соответственно. Содержание гумуса составляло 2.5–3.2%.

В методическом плане опыт проводили по схеме, разработанной ВИУА им. Д.Н. Прянишникова для Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами. Схема опыта – 1/4 (4 × 4 × 4), содержит 16 вариантов различных сочетаний доз NPK (в градациях 0, 1, 2, 3 единичные дозы): 000, 022, 002, 020, 111, 133, 113, 131, 200, 220, 202, 222, 331, 313, 311, 333. Повторность двукратная, размер опытных делянок 50 м². Единичные дозы азотных удобрений росли по мере развития плантаций с шагом 70–90–120–200 кг д.в./га в 1986–1989–1993–2000 гг.; для фосфорных и калийных удобрений не изменялись – 60 и 50 кг д.в./га соответственно. Удобрения вносили ежегодно, согласно зональной технологии возделывания чая [2]: 60% азотных и 100% фосфорных и калийных удобрений в марте–апреле, 40% азотных – в июне в виде подкормки. Формы удобрений: N_а, N_{аа}, P_{сд}, K_х, а также сложные удобрения – НАФК, АФ (с 2006 г.).

Для решения поставленной задачи в пределах многофакторного опыта были выбраны модельные плантации (варианты), которые характеризуют тип агроценозов с экстенсивной системой возделывания без минеральных удобрений (вариант 000 – контроль) или без азотных удобрений (варианты группы N0: 020, 002), а также агроценозов с интенсивным азотным питанием в отсутствии фосфорных и (или) калийных удобрений (варианты 200, 202, 220).

Динамику изменения показателей плодородия почв в вариантах опыта отслеживали в течение 27 лет (1986–2012 гг.) по результатам ежегодных мониторинговых исследований основного корнеобитаемого слоя почв (по слоям 0–20 и 20–40 см) в ранневесенний период. Изменения оценивали в сравнении с исходными показателями перед закладкой опыта и контролем (вариант 000 без удобрений).

Лабораторные исследования вели по общепринятым методикам [19]. Легкогидролизуемый азот определяли по Тюрину и Кононовой, гумус – по Тюрину в модификации Орлова и Гриндель, подвижный фосфор – по Ониани с колориметрическим окончанием на спектрофотометрах КФК-3 или УСФ-01 в разные годы; кислотораствори-

Таблица 1. Урожайность и хозяйственный баланс основных элементов питания в модельных агросистемах чайных плантаций при длительном отсутствии соответствующего вида удобрений (1986–2010 гг.)

Вариант, код NPK	Урожайность, кг/га		Вынос		Поступление		Баланс	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Без азотных удобрений			Баланс азота, кг/га					
000	52100	1960	587	26	0	0	–587	–26
002	61400	2220	693	27	0	0	–693	–27
020	74200	2820	859	35	0	0	–859	–35
Без фосфорных удобрений			Баланс фосфора, кг/га					
000	52100	1960	141	5	0	0	–141	–5
200	148000	5240	463	17	0	0	–463	–17
202	180000	6700	568	23	0	0	–568	–23
Без калийных удобрений			Баланс калия, кг/га					
000	52100	1960	295	11	0	0	–295	–11
200	148000	5240	808	29	0	0	–808	–29
220	176000	6520	981	37	0	0	–981	–37

Примечание. В графе 1 – общий, 2 – среднегодовой баланс.

мый калий – по Пчёлкину, обменный – по Масловой, подвижный – по Ониани, легкодоступный – в 0.005 н. CaCl_2 -вытяжке на пламенном фотометре ПФМ У4.2 и атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ АФА-А в разные годы.

Обработка данных проведена методами описательной статистики в программе Microsoft Excel (при $P = 0.95$). В диаграммах представлены средние + стандартное отклонение. Для обозначения вариантов использованы коды по количеству единичных доз NPK; в случае представления усредненных показателей по группам вариантов использованы следующие коды (их сочетания): варианты без азотных удобрений – N0, без фосфорных – P0, без калийных – K0, с двойными дозами азота – N2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Длительное отсутствие азотных удобрений. Азот, как элемент-регулятор активности внутренних стимуляторов роста растений, играет особую роль для листосборной культуры чая. Без применения азотных удобрений, являющихся источником легкодоступных минеральных форм азота, урожайность модельных чайных плантаций в опыте по средним многолетним данным (20–28 ц/га) была в 2.0–3.5 раза меньше, чем регулярно удобряемых азотом (табл. 1). В контрольном варианте (000 – без удобрений) она варьировала в зависимости от возраста и метеорологических условий года от 4.0 до 30 ц/га, при средней вариативности 58%; при применении фосфор-

ных или калийных удобрений (варианты 002, 020) она была несколько больше, достигая при благоприятных погодных условиях >40 ц/га в наиболее продуктивном возрасте (10–18 лет) (рис. 1). При этом урожайность чая сорта Колхида (интенсивного сорта) при оптимальном минеральном питании и благоприятных погодных условиях в отдельные годы достигала в опыте 100–120 ц/га.

Отсутствие компенсации выноса азота урожаем определило его отрицательный хозяйственный баланс в модельных агроэкосистемах с экстенсивным типом землепользования без азотных удобрений. В почве контрольного варианта (000 – без удобрений) и вариантов без внесения азотных удобрений (группа N0) уже в первые годы проведения эксперимента было отмечено довольно быстрое снижение содержания легкогидролизуемого азота, которое в дальнейшем находилось на уровне в 1.5–2.0 раза меньше исходного (рис. 2) и оценивалось как низкое, согласно разработанным грациям [5].

Следует отметить, что снижение содержания легкогидролизуемого азота на этапе развития молодой чайной плантации отмечено и в вариантах с внесением азотных удобрений. Оно было выражено, хотя и в меньшей степени, даже в вариантах с тройными дозами азота, которые лишь частично компенсировали высокую потребность чайных растений в азоте на этапе наращивания ими биомассы (в том числе формирования скелетных частей шпалеры). Однако в дальнейшем обеспеченность почв азотом в удобренных вариантах постепенно достигла высокого уровня [20].

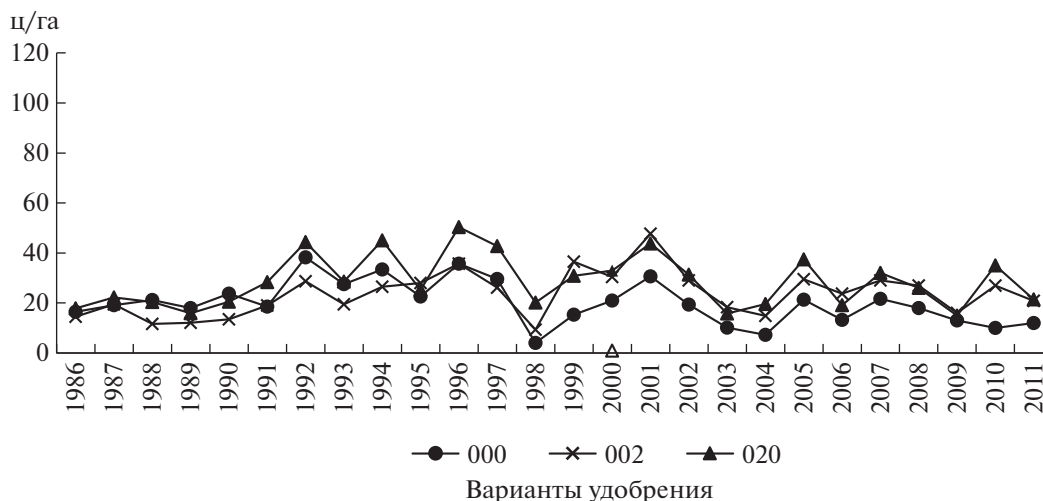


Рис. 1. Урожайность модельных чайных плантаций с экстенсивным типом возделывания (без азотных удобрений) в многолетней динамике.

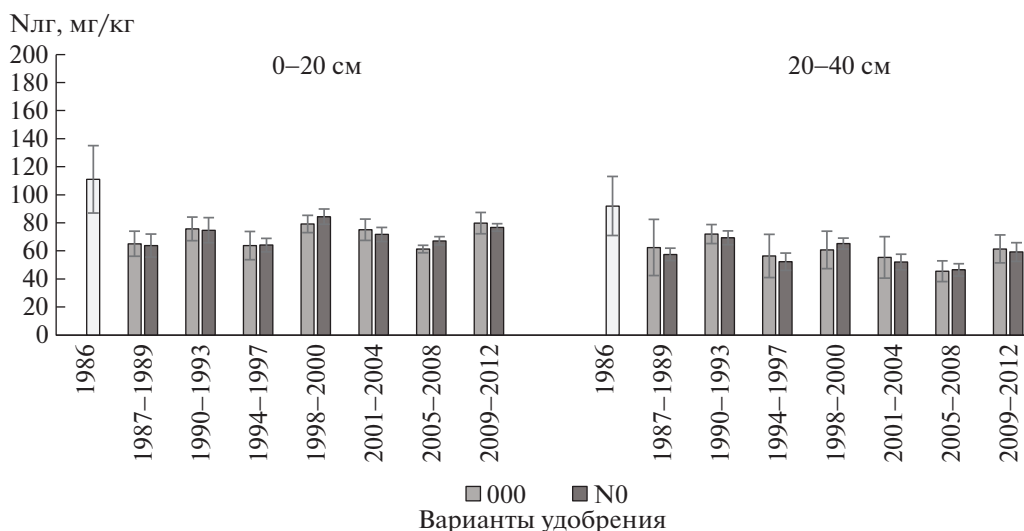


Рис. 2. Динамика обеспеченности почв чайных плантаций легкогидролизуемым азотом в отсутствие азотных удобрений.

Несмотря на невысокую продуктивность плантаций в отсутствие азотных удобрений, в результате ежегодной подрезки чайных шпалер и естественного опада происходило регулярное поступление определенного объема растительной биомассы, которую оставляли в междурядьях. Это, а также снижение минерализационных потерь в отсутствие механической обработки почвы в течение многих лет (этот агротехнический прием на полновозрастных плантациях не применяют), привело к некоторому накоплению гумуса. За 27-летний период рост общего содержания гумуса в контрольном варианте (000) и вариантах группы N0 (без азотных удобрений) составил в среднем ≈ 1.0 и 0.5% (в слоях 0–20 и 20–40 см соответственно) по сравнению с исходным (рис. 3).

В пересчете это соответствовало росту запаса гумуса на 13–19 т/га в основном корнеобитаемом слое (0–40 см).

В то же время на высокопродуктивных плантациях с применением азотных удобрений был установлен рост содержания гумуса более чем на 2%, который, однако сопровождался существенной трансформацией всего гумусового комплекса [21, 22].

Длительное отсутствие фосфорных удобрений. В отсутствие фосфорных удобрений в почве контрольного варианта (000 – без удобрений) прослежено постепенное снижение уровня обеспеченности почв фосфором. В итоге повышенное содержание подвижных фосфатов в плантажи-

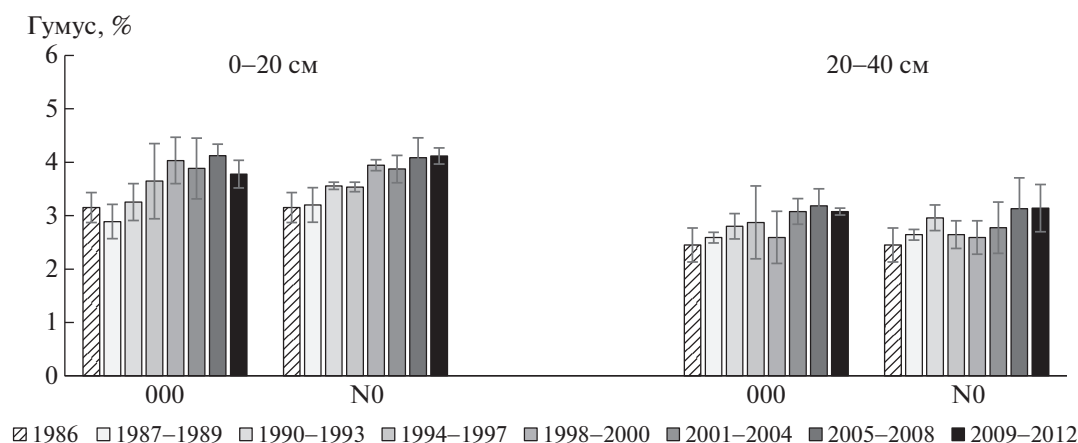


Рис. 3. Динамика содержания гумуса в почве при длительном экстенсивном ведении культуры чая.

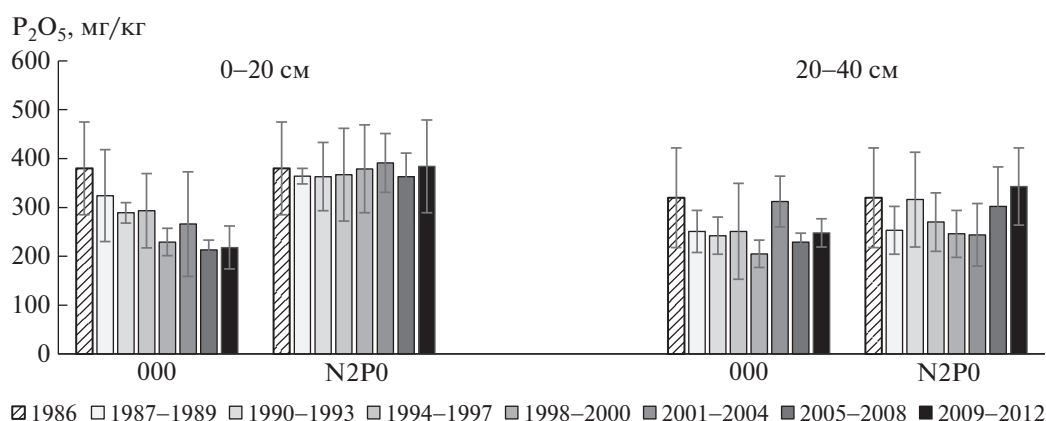


Рис. 4. Динамика содержания подвижных фосфатов в почве при длительном возделывании чая без фосфорных удобрений.

ванном горизонте почвы (0–40 см), достигнутое перед закладкой опыта в результате окультуривания, сократилось за 27-летний период исследования в 1.5 раза (рис. 4). Обеднение верхнего слоя 0–20 см почвы происходило со средней скоростью 65–70 мг P₂O₅/кг за 10 лет [23]. Разница между исходным (380 мг/кг) и конечным (210 мг/кг) содержанием подвижного фосфора составила 170 мг/кг при отрицательном балансе фосфора за это период –140 кг/га. Следовательно, величина выноса, снижающего содержание P₂O₅ на 10 мг/кг, составила ≈8 кг/га.

При длительном интенсивном азотном (азотно-калийном) питании, но без внесения фосфорных удобрений, в агроценозах высокопродуктивных чайных плантаций вынос фосфора урожаем (табл. 1, варианты 200 и 202), был больше в 3–4 раза в сравнении с низкопродуктивным неудобренным контрольным вариантом (000). Однако в основном корнеобитаемом слое 0–40 см почвы в

среднем поддерживался исходный уровень содержания подвижных фосфатов (рис. 4, для группы вариантов N2P0) за счет его биогенной аккумуляции и других почвенных трансформационных изменений при минерализации биомассы шпалерной обрезки. Вопросы эффективности применения фосфорных удобрений при выращивании чая в условиях Черноморского побережья России, формирования фосфатного режима почв при эксплуатации с различной нагрузкой удобрениями рассмотрены в отдельных публикациях [9, 23, 24].

Длительное отсутствие калийных удобрений. В отсутствии калийных удобрений в вариантах с экстенсивным типом эксплуатации плантаций (000 – контроль, 020) в течение всего 27-летнего периода наблюдений поддерживался довольно стабильный уровень обеспеченности почв подвижным калием. Его содержание менялось в диапазоне 280–350 и 240–300 мг/кг в слоях 0–20 и 20–40 см соответственно без выраженных тен-

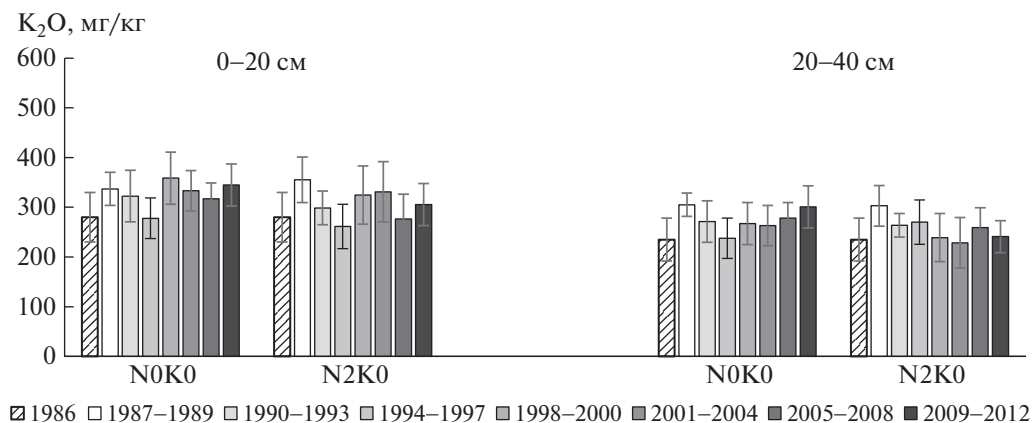


Рис. 5. Динамика содержания подвижного калия в почве при длительном возделывании чая без калийных удобрений.

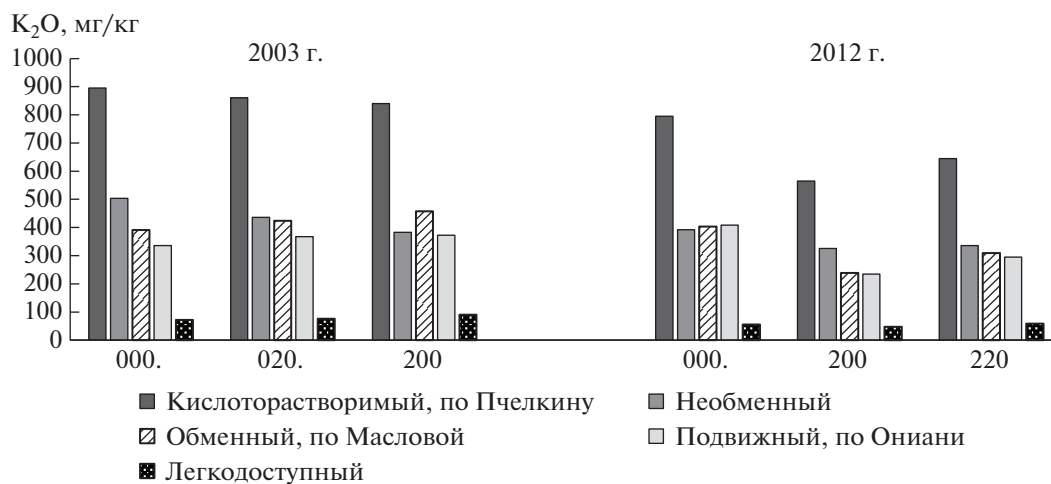


Рис. 6. Изменение калийного статуса почв чайных плантаций при их длительной эксплуатации без калийных удобрений (по комплексу форм калия в слое 0–20 см почвы).

денций к изменениям (рис. 5, N0K0). При невысокой урожайности плантаций и небольшом дефиците баланса калия в таких модельных агроэкосистемах (табл. 1) некомпенсируемое расходование почвенного калия камуфлировалось за счет подвижного динамического равновесия между различными его формами. Однако при сравнении калийного статуса почвы по комплексу форм на промежуточном (2003 г.) и заключительном (2012 г.) этапах опыта была выявлена тенденция к истощению запасов почвенного калия по снижению количества кислоторастворимых и необменных форм на 10–20% (рис. 6, на примере варианта 000).

При возделывании чая без калийных удобрений, но с применением высоких доз азотных или азотно-фосфорных удобрений высокая урожайность и соответственно повышенный вынос пи-

тательных элементов увеличили размеры выноса калия в 3.0–3.5 раза по сравнению с контролем (табл. 1, варианты 200 и 220). При этом следует отметить, что содержание обменного, подвижного и легкодоступного калия в почве длительное время поддерживалось на относительно постоянном уровне за счет расходования необменного калия, что затрудняло диагностику дефицита элемента [25]. Например, диапазон содержания подвижного калия в почве этой группы вариантов (N2K0) в период исследования в целом был сопоставим с контролем (N0K0), тенденция к снижению относительно него проявилась лишь на заключительных этапах опыта (рис. 5). Явное истощение калийного запаса было выявлено в результате комплексного анализа калийного статуса исследованных почв в конце эксперимента (в 2012 г.). Было установлено существенное снижение содержания всех форм почвенного калия

как по сравнению с контролем, так и по сравнению с их содержанием 10-ю годами ранее: потенциально доступного кислоторастворимого, обменного — на 25%, подвижного и легкодоступного — почти на 50% в слое 0–20 см (рис. 6, варианты 200 и 220).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в условиях длительного (27 лет) многофакторного полевого опыта с удобрениями был смоделирован тип землепользования с полным отсутствием минеральных удобрений или отсутствием какого-либо вида удобрений (азотных, фосфорных, калийных) при возделывании многолетней монокультуры чая во влажных субтропиках России.

В результате мониторинга основных показателей плодородия почв (в слое 0–40 см — плантажи-рованном, основном корнеобитаемом) и урожайности модельных мини-плантаций для соответствующей выборки вариантов опыта было установлено следующее:

1 — длительное полное отсутствие минеральных удобрений, как и отсутствие азотных удобрений, определило низкую урожайность плантаций (средняя многолетняя урожайность в опыте — 19.6–28.2 ц/га), отрицательный баланс азота в агроценозе и низкий уровень содержания легкогидролизуемого азота (в 1.5–2.0 раза меньше исходного). Содержание гумуса стабилизировалось на исходном уровне с некоторой тенденцией к накоплению (рост на 0.5–1.0%). Обеспеченность подвижным калием в отсутствии удобрений поддерживалась на относительно постоянном уровне за счет динамического равновесия между различными формами калия, однако было выявлено истощение резервов кислоторастворимого обменного калия (на 10–20% за последние 10 лет эксперимента). Происходило расходование фосфатного фонда почв, созданного при окультуривании, о чем свидетельствовало снижение содержания подвижных фосфатов в 1.5 раза относительно исходного;

2 — при применении азотных удобрений, обеспечивших высокую урожайность модельных чайных плантаций (52–67 ц/га — средняя многолетняя урожайность в опыте), длительная эксплуатация почв без калийных удобрений привела к истощению калийного запаса. В конце эксперимента оно проявилось в снижении содержания потенциально доступного кислоторастворимого, обменного калия на 25%, а подвижного и легкодоступного калия — почти на 50% в слое 0–20 см, как по сравнению с контро-

лем, так и по сравнению с содержанием тех же форм элемента 10-ю годами ранее. Содержание подвижных фосфатов, несмотря на длительное отсутствие фосфорных удобрений, поддерживалось на исходном уровне за счет биогенной аккумуляции.

Полученные результаты описывают модель прогноза изменения (по ряду показателей — деградации) плодородия почв при аналогичных производственных условиях возделывания чая в России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галактионов И.И.* Почва и удобрение в субтропическом хозяйстве. Сочи, 1947. 142 с.
2. Методические указания по технологии возделывания чая в субтропической зоне Краснодарского края. Сочи: НИИ горного садоводства и цветоводства, 1977. 47 с.
3. *Малюкова Л.С., Козлова Н.В., Притула З.В.* Система удобрения плантаций чая в субтропиках России. Сочи: ВНИИЦиСК, 2010. 45 с.
4. Методические указания по диагностике питания чая / Под ред. Церлинг В.В. Москва: Колос, 1982. 15 с.
5. *Малюкова Л.С., Козлова Н.В.* Методические рекомендации по комплексной почвенно-растительной диагностике минерального питания чая. Сочи: ВНИИЦиСК, 2010. 37 с.
6. *Аргунова В.А., Бушин П.М., Малюкова Л.С.* Принципы оптимального программирования урожаев чая и получения качественной продукции при разработке экологически безопасных систем питания // Сб. научн. тр. ВНИИЦиСК "Цветоводство, субтропические и плодовые культуры на Юге России". Сочи, 1994. Вып. 38. С. 182–189.
7. *Малюкова Л.С.* Агрохимические аспекты сохранения и воспроизводства плодородия почв чайных плантаций Черноморского побережья России // Субтроп. и декор. садоводство. 2014. Вып. 50. С. 261–269.
8. *Малюкова Л.С., Козлова Н.В.* Принцип подбора дифференцированных доз минеральных удобрений на чайных плантациях // Субтроп. и декор. садоводство. 2012. Вып. 46. Т. 1. С. 260–268.
9. *Малюкова Л.С.* Оптимизация плодородия бурых лесных почв и применения минеральных удобрений при выращивании чая в условиях Черноморского побережья России: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2013. 41 с.
10. *Козлова Н.В.* Состояние бурых лесных кислых почв чайных плантаций при длительном применении минеральных удобрений в субтропиках России: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 24 с.
11. *Малюкова Л.С., Рындин А.В., Козлова Н.В.* Особенности агрогенной трансформации бурых лесных кислых почв чайных плантаций // Вестн. РАСХН. 2008. № 4. 26–27.

12. Козлова Н.В., Малюкова Л.С., Струкова Д.В., Рогожина Е.В., Керимзаде В.В. Методика оценки бурых лесных кислых почв чайных плантаций Черноморского побережья России по степени агрогенных изменений // Инновационные разработки в области возделывания субтропических и южных плодовых культур. Сочи: ВНИИЦиСК, 2016. С. 165–189.
13. Козлова Н.В., Малюкова Л.С., Керимзаде В.В. Концептуальная модель эволюции плодородия бурых лесных кислых почв чайных плантаций влажных субтропиков России при агрогенном воздействии. Сочи: ВНИИЦиСК, 2019. 66 с.
14. Малюкова Л.С. Состояние микроэлементов (Mn, Cu, Zn) в бурых лесных кислых почвах Черноморского побережья Краснодарского края: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1997. 24 с.
15. Струкова Д.В. Биологическая активность бурых лесных почв агроценозов чая, персика, фундука при длительном применении минеральных удобрений в условиях Черноморского побережья России: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2014. 24 с.
16. Рогожина Е.В. Структурно-функциональное состояние микробного комплекса бурых лесных кислых почв влажно-субтропической зоны России при длительном агрогенном воздействии: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский, 2019. 24 с.
17. Рындин А.В., Козин В.К., Беседина Т.Д. Принципы оптимизации размещения культуры чая на территории Черноморского побережья России // Субтроп. и декор. садоводство. 2009. № 42 (2). С. 145–148.
18. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
19. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
20. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Динамика азотного фонда бурых лесных почв влажных субтропиков России в многофакторном полевом опыте с удобрениями на культуре чая // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 53. С. 138–146.
21. Владыченский А.С., Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Гумусное состояние буроземов и его изменение при интенсивном возделывании культуры чая в условиях субтропической зоны РФ // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2007. № 4. С. 10–16.
22. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Динамика накопления гумуса в бурых лесных кислых почвах при длительном возделывании чая во влажных субтропиках России // Пробл. агрохим. и экол. 2019. № 3. С. 73–78.
23. Козлова Н.В., Керимзаде В.В. Фосфатный режим бурых лесных кислых почв субтропиков РФ при эксплуатации чайных плантаций с различной нагрузкой удобрениями // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 54. С. 246–253.
24. Малюкова Л.С., Козлова Н.В. Эффективность применения фосфорных удобрений при выращивании чая в условиях Черноморского побережья России // Субтроп. и декорат. садоводство. 2013. Вып. 49. С. 332–340.
25. Козлова Н.В., Малюкова Л.С., Керимзаде В.В. Каллийный статус почв в зависимости от схем и длительности применения удобрений при возделывании чая в субтропиках России [Электр. ресурс] // Электр. научн.-производ. журн. "АгроЭкоИнфо". 2018. № 3. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/3/st_357.doc

Monitoring of Soil Fertility and Yield of Tea Plantations during Long-Term Cultivation in the Subtropics of Russia without the Use of One or More Types of Mineral Fertilizers

N. V. Kozlova^{a,*} and L. S. Maljukova^a

^a Russian Research Institute of Floriculture and Subtropical Crops
ul. Jana Fabritiusa 2/28, Krasnodar region, Sochi 354002, Russia

^{*}E-mail: agro-pochva@vniisubtrop.ru

Under the conditions of a multi-factorial field experiment with fertilizers (as part of the Geo-network), the long-term (1986–2012) dynamics of the indicators of fertility of brown forest acid soils and productivity of model tea plantations with a long complete absence of mineral fertilizers or one of the species (nitrogen, phosphoric, potash) was studied. In the cultivation of tea (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze) of intensive cultivar Kolkhida without nitrogen fertilizers average long-term productivity was low (1900–2800 kg/ha) and amounted to 20–30% of the potential for this cultivar. In the main root-inhabited soil layer (0–40 cm) the humus content stabilized at the initial level with a tendency to accumulate; the content of easily hydrolyzable nitrogen fluctuated at a level of 1.5–2.0 times lower than the original (after a rapid decrease in the first years); the availability of mobile potassium was relatively constant, but a decrease in the number of acid-soluble, non-exchangeable forms was detected; the content of mobile phosphates decreased on average 1.5 times. A prolonged absence of potash and phosphorus fertilizers due to the use of nitrogen fertilizers and high plantation yields (average perennial 52–67 kg/ha) led to an increase of 3.0–3.5 times the removal of potassium and to the depletion of potash stock – reducing the content of various forms of potassium by 25–50%; the content of mobile phosphates was maintained at the initial level due to the biogenic accumulation of the element.

Key words: brown forest acid soils, tea plantation, productivity, fertility dynamics, easily hydrolyzable nitrogen, humus, mobile phosphorus, potassium status, balance of elements.

УДК 631.416:631.445.41:631.51

СОДЕРЖАНИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

© 2020 г. Н. Л. Кураченко^{1,*}, А. А. Колесник¹

¹ Красноярский государственный аграрный университет
660049 Красноярск, просп. Мира, 90, Россия

*E-mail: kurachenko@mail.ru

Поступила в редакцию 11.04.2019 г.

После доработки 05.05.2019 г.

Принята к публикации 10.11.2019 г.

В полевом опыте установлено влияние способов обработки агрочернозема на содержание и пространственное распределение подвижных элементов питания. Показано, что минимальная обработка почвы приводила к повышению содержания нитратного азота в слое 0–20 см (15 мг/кг), усилению пространственной неоднородности показателя ($C_v = 25\%$) с симметричностью его распределения. Ресурсосберегающие технологии основной обработки почвы определили снижение содержания подвижного фосфора на 32–50, обменного калия — на 74–128 мг/кг по сравнению со вспашкой и локализацию элементов питания в слое 0–10 см с усилением вариабельности показателей до 23–28%. Посев пшеницы при применении нулевой обработки (технологии No-Till) повлиял на пространственное распределение аммонийного азота и обменного калия, увеличив объем выборок, приближавшихся к минимальным величинам.

Ключевые слова: агрочернозем, минимизация основной обработки почвы, аммонийный азот, нитратный азот, подвижный фосфор, обменный калий, пространственная неоднородность.

DOI: 10.31857/S0002188120030084

ВВЕДЕНИЕ

Широкое разнообразие почвенных свойств определяется естественными причинами и связано с действием основных факторов почвообразования в пространстве. Такими факторами являются рельеф, как перераспределитель влаги, растворимых веществ и тепла, водная эрозия и дефляционные процессы, мерзлотные явления, неоднородность почвообразующих пород, уровень залегания грунтовых вод, пестрота растительного покрова и воздействие животного мира. Неоднородность свойств почв сельскохозяйственных угодий имеет более выраженный характер [1–3], чем почв целинных аналогов. Микропестрота почв и горизонтальное пространственное варьирование свойств оцениваются как фундаментальные свойства самого почвенного покрова. Однако при исследовании пространственной неоднородности почвенных свойств из вариабельности, обусловленной формированием почвы как естественного исторического тела или предыдущей историей ее использования, часто не вычлениается динамичная составляющая, связанная с современным состоянием почв. Важнейшим условием, определяющим пространственную неоднородность распределения элементов

питания в пахотном слое, является характер производственной деятельности — господствующая система земледелия и система удобрения [4]. Эффективность систем обработки по способности регулирования почвенных процессов, связанных с плодородием, во многом обусловлена длительностью их применения, метеорологическими условиями, видом севооборота, культурами, представленными в нем, применением удобрений, средств защиты растений. Поэтому результаты применения систем обработки, их эффективность оцениваются различными авторами неоднозначно [5–8]. Цель работы — изучение пространственного распределения агрохимических показателей в условиях отвальной вспашки и ресурсосберегающих технологий основной обработки агрочерноземов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в зернопарокормовом севообороте в условиях полевого стационара “Миндерлинское” в Красноярской лесостепи (56°25'N и 92°53'E), расположенной на юго-западной окраине Средней Сибири. В пределах поля выделяется бугристо-западинный мезо- и мик-

порельеф, возникновение которого связано с протаиванием повторножильных ледяных клиньев и криотурбациями, свойственными вечной мерзлоте, охватывающей данную территорию во время последнего оледенения.

Структура почвенного покрова опытного поля общей площадью 9 га характеризуется сочетанием пятнистостей и элементарных почвенных ареалов. Фоновые почвы во всех комбинациях — агрочерноземы глинисто-иллювиальные маломощные, доминирующие на участке. Им везде сопутствуют агрочерноземы криогенно-мицелиарные. Третьей составляющей в трехкомпонентных комбинациях выступают агрочерноземы глинисто-иллювиальные мощные и глинисто-иллювиальные оподзоленные среднемощные. Контрастность элементарных почвенных структур слабая. Детальное обследование опытного участка с целью выявления неоднородности агроэкологического состояния почвенного покрова показало, что почвы характеризовались в слое 0–20 см высоким и очень высоким содержанием гумуса (6.1–11.1%), очень высокой суммой обменных оснований (53.2–62.0 ммоль/100 г), нейтральной, слабокислой и слабощелочной реакцией почвенного раствора ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6.5–7.9). В составе обменных катионов агрочерноземов доминировал Ca^{2+} , но в значительных количествах присутствовал и Mg^{2+} . Гидролитическая кислотность агрочерноземов низкая (0.3–5.0 мг-экв/100 г).

Оценку влияния ресурсосберегающих технологий основной обработки на пространственное распределение агрохимических показателей провели в первый год закладки полевого опыта в агроценозе пшеницы по следующей схеме: 1 — отвальная вспашка осенью ПН-5-35 на глубину 23–25 см, 2 — минимальная обработка осенью дискатом БДШ-5,6 на глубину 12–14 см, 3 — нулевая обработка (No-Till) (прямой посев сеялкой Агратор 4.8). Пшеницу сорта Новосибирская 15 возделывали после зернового предшественника на фоне применения N_{aa} 100. Варианты опыта в трехкратной повторности располагались систематически по длинной стороне участка, пересекая его с запада на восток. Общая площадь опытных делянок 1500 м², учетная — 500 м². Почвенные образцы отбирали в десятикратной повторности с шагом опробования 10 м в фазе начала кущения пшеницы. По мнению [9], шаг опробования, равный примерно 7 м, является тем оптимальным интервалом, с помощью которого наиболее четко обнаруживаются различия в агрохимических показателях между элементарными почвенными ареалами. Глубина отбора образцов — 0–10 и 10–20 см. В почвенных образцах определяли: нитратный азот (ГОСТ 26951-86), обменный аммоний (ГОСТ 26489-85), подвижный фосфор (ГОСТ 26204-91), обменный калий (ГОСТ 26204-91). Для характеристики распределений изученных почвенных свойств в про-

странстве вычисляли: среднее ($\bar{X}_{\text{cp}}$), дисперсию (стандартное отклонение S), коэффициент вариации (C_v), минимальную и максимальную величину (Lim), верхний (q_{75}) и нижний квартили (q_{25}). Для выявления достоверных различий средних использовали дисперсионный анализ [10].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из определяющих факторов устойчивого функционирования агроэкосистем в земледелии является создание оптимальных условий потребления сельскохозяйственными культурами азота, находящегося в первом минимуме. Исследования, проведенные в полевом опыте, показали, что преобладающей формой минерального азота в агрочерноземе является аммонийная форма, образующаяся при трансформации азотных удобрений. На фоне применения N_{aa} обеспеченность почвы агроценоза яровой пшеницы в начале ее вегетации аммонийным азотом была очень высокой с незначительным и небольшим варьированием в пространстве ($C_v = 6\text{--}13\%$) (табл. 1). На всех фонах основной обработки среднее содержание аммонийного азота в почве оценивалось близкой величиной (35–40 мг/кг) без существенной дифференциации слоя 0–20 см. При физиологической равноценности в питании растений аммонийной и нитратной формы азота в полевых условиях отмечено преимущественное использование растениями нитратного азота. По мнению [11], роль аммонийного азота в питании растений проявляется во вторую половину вегетационного периода, когда растения имеют хорошо развитую корневую систему, а нитраты в почве отсутствуют.

Большая часть аммонийного азота в условиях, благоприятных для нитрификации, сразу после аммонификации окисляется нитрифицирующими бактериями до нитратов. Достаточное увлажнение и оптимальные температуры в начале вегетации пшеницы способствовали накоплению в почве нитратной формы азота. Количественные оценки содержания и пространственного распределения N-NO_3 определял способ основной обработки почвы. Минимальная обработка почвы дискатом способствовала повышению содержания нитратного азота (16 мг/кг) в слое 0–10 см ($p = 0.03$). Вспашка и нулевая обработка почвы снижали содержание нитратного азота до 12–13 мг/кг. В слое 10–20 см среднестатистическое содержание нитратного азота постепенно уменьшалось в ряду обработок: минимальная (14 мг/кг) — отвальная (12 мг/кг) — нулевая (11 мг/кг). В условиях отвальной обработки агрочернозема получены самые низкие лимиты варьирования содержания N-NO_3 в слое 0–10 см (9–15 мг/кг). Коэффициент пространственного варьирования 16% свидетельствовал о небольшой изменчивости со-

Таблица 1. Статистические показатели содержания минерального азота в агрочерноземе, мг/кг ($n = 10$)

Показатель	N-NH ₄		N-NO ₃	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
Отвальная обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	40.1 ± 2.0	37.9 ± 2.0	12.9 ± 1.5	11.5 ± 1.8
<i>Lim</i>	34.1–44.1	34.1–40.9	8.7–15.1	7.9–15.9
<i>Cv</i> , %	7	7	16	22
Минимальная обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	35.7 ± 1.6	36.3 ± 2.2	15.9 ± 2.7	13.9 ± 2.5
<i>Lim</i>	31.9–39.6	30.5–40.9	11.1–22.4	7.8–17.7
<i>Cv</i> , %	6	8	23	26
Нулевая обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	35.2 ± 3.2	37.0 ± 2.9	12.0 ± 2.3	11.0 ± 1.7
<i>Lim</i>	28.0–42.5	31.0–45.7	8.9–17.7	8.0–15.9
<i>Cv</i> , %	13	11	28	22
$p_{0.05}(X_{cp})$	0.96	0.57	0.03*	0.07

*Отмечены статистически значимые величины с доверительной вероятностью $p_{0.05}$: X_{cp} – среднее, S_x – доверительный интервал, *Lim* – предельные величины, *Cv* – коэффициент варьирования. То же в табл. 2.

держания нитратного азота в этом слое. Приемы минимизации основной обработки почвы обеспечивали перераспределение растительных остатков в пользу верхней части пахотного слоя [12]. Интенсивное взаимодействие рабочих органов дисковых батарей с обрабатываемым пластом при минимальной обработке почвы способствовало измельчению фитомассы, более быстрому ее разложению почвенными микроорганизмами [13], усилению минерализационных процессов и повышению содержания нитратного азота. Ранее установлено, что замена вспашки на минимальную обработку определила тенденцию к снижению запасов подвижного гумуса на 19% на фоне увеличения запасов углерода гумуса в корнеобитаемом слое в агроценозе пшеницы [14].

Особенности пространственного распределения минеральных форм азота в слое 0–20 см агрочернозема отражали степень проявления в пространстве почвенных процессов, ведущих к изменению их содержания. Установлено, что способ основной обработки определил особенности статистического распределения элементов питания в почве (рис. 1). При вспашке большая часть выборки показателя содержания аммонийного азота превышала 40 мг/кг и приближалась к максимуму. Минимальная обработка и нулевой посев пшеницы в 75% выборки имели меньшие величины содержания N-NH₄ (37–38 мг/кг). Усиление вариабельности содержания нитратного азота в пространстве в условиях минимальной техноло-

Таблица 2. Статистические показатели содержания подвижного фосфора и обменного калия в агрочерноземе, мг/кг ($n = 10$)

Показатель	P ₂ O ₅		K ₂ O	
	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
Отвальная обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	432 ± 34	439 ± 34	301 ± 29	317 ± 38
<i>Lim</i>	359–491	357–496	214–344	249–394
<i>Cv</i> , %	11	11	13	17
Минимальная обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	412 ± 42	396 ± 51	262 ± 53	206 ± 28
<i>Lim</i>	332–500	278–521	164–402	140–252
<i>Cv</i> , %	14	18	28	19
Нулевая обработка				
$X_{cp} \pm S_x$	411 ± 29	362 ± 25	216 ± 35	144 ± 13
<i>Lim</i>	313–463	298–435	164–309	117–175
<i>Cv</i> , %	10	10	23	12
$P(X_{cp})$	0.55	0.02*	0.04*	0.00*

гии сопровождалось большими отклонениями величин от медианы с симметричностью их распределения. При нулевой обработке 25% объема выборки имело содержание нитратного азота, приближавшееся к минимальной величине (9 мг/кг).

Для нормального роста и развития растений должен быть создан в почве такой уровень содержания фосфатов, чтобы он мог обеспечить высокую интенсивность высвобождения фосфат-ионов из твердой фазы в почвенный раствор. Особенно важен оптимальный уровень содержания подвижного фосфора в ранние фазы развития растений [15]. Обеспеченность агрочерноземов подвижным фосфором в слое 0–20 см была достаточно высокой на всех фонах основной обработки, но постепенно убывала в ряду: отвальная (436 мг/кг) – минимальная (404 мг/кг) – нулевая (386 мг/кг). Сокращение глубины обработки привело к снижению содержания подвижных фосфатов на 32–50 мг/кг (табл. 2). Достоверное уменьшение содержания P₂O₅ отмечено в слое 10–20 см почвы ($p = 0.02$).

Устойчивый характер распределения содержания подвижного фосфора в пространстве отмечен на всех фонах основной обработки почвы ($Cv = 10–18\%$). При прямом посеве пшеницы 75% выборки показателей содержания подвижного фосфора соответствовало средней величине (402 мг/кг) (рис. 2).

Способ обработки почвы оказал существенное влияние на дифференциацию слоев почвы по содержанию подвижных соединений фосфора. Ресурсосберегающие технологии обработки агро-

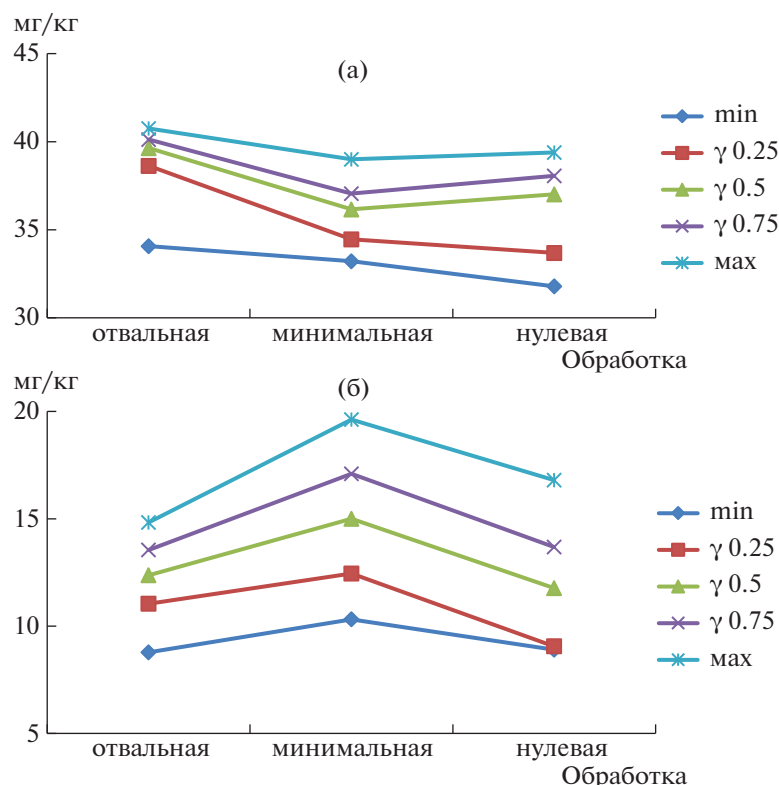


Рис. 1. Квантили статистического распределения содержания аммонийного (а) и нитратного азота (б) в слое 0–20 см агрочернозема.

чернозема способствовали локализации P_2O_5 в слое 0–10 см. Например, на фоне минимальной обработки среднестатистическое содержание подвижного фосфора в слое 0–10 см увеличилось на 16 мг/кг почвы, на нулевом фоне – на 49 мг/кг. Подобная закономерность, касающаяся локализации подвижного фосфора по глубине почвенного профиля в связи с различными видами основной обработки почвы, показана в других исследованиях [16, 17].

Специфика минералогического состава и значительное содержание ила в черноземах Красноярского края является причиной повышенной обеспеченности их валовым калием, что отражается на обеспеченности почв его обменной формой. Агрочерноземы Красноярской лесостепи, обрабатываемые по различным технологиям, аккумулируют значительное количество обменного калия и характеризуются как очень высокообеспеченные. По данным [18], максимальное накопление обменного калия в черноземах региона отмечено в слое 0–20 см. Биогенные процессы, влияние механических обработок почвы, ускоряющих выветривание калиесодержащих минералов, действие удобрений, а также отсутствие подвижности этого элемента в тяжелых по гранулометрическому составу почвах являются причинами накопления K_2O в слое 0–20 см почв. На фоне очень высокой обеспеченности обменным калием агрочерноземов

Красноярской лесостепи отмечалось существенное снижение его содержания ($p = 0.04–0.00$) в условиях применения ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы. Среднестатистические данные свидетельствовали о снижении содержания обменного калия в слое 0–20 см, обработанном минимальным и нулевым способами (на 74–128 мг/кг соответственно) по сравнению со вспашкой. Исследованиями [19] доказано снижение содержания подвижного фосфора и обменного калия в слое 0–30 см при дисковании почвы.

Содержание обменного калия является варьирующим показателем в пространстве. Способ основной обработки почвы в большей степени определил неоднородность слоя 0–10 см агрочернозема. В начале вегетации пшеницы пространственная неоднородность содержания K_2O достигала 23–28% при применении ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы. В условиях вспашки распределение обменного калия в пространстве было незначительным ($C_v = 13\%$). Пространственное распределение содержания обменного калия при минимизации обработки сопровождалось увеличением доли выборки, приближающейся к минимальным величинам (141–182 мг K_2O /кг). Локализация K_2O в слое 0–10 см почвы на фоне применения ресурсосберегающих технологий основной обработки

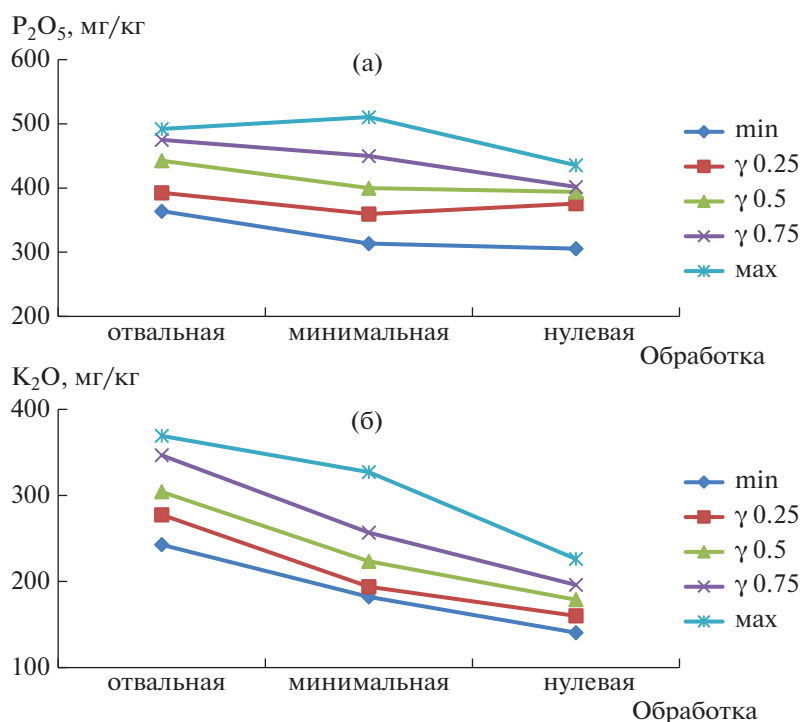


Рис. 2. Квантили статистического распределения содержания подвижного фосфора (а) и обменного калия (б) в слое 0–20 см агрочернозема.

сопровождалась увеличением содержания подвижного элемента калия на 72–56 мг/кг по сравнению со слоем 10–20 см. Подобная закономерность обусловлена разной глубиной заделки пожнивных остатков по сравнению со вспашкой. Исследованиями [20] доказано влияние приемов обработки почвы на распределение доступных элементов минерального питания по профилю почвы. При ежегодной вспашке на 20 см наибольшее содержание доступного фосфора и обменного калия отмечали в слое 0–20 см. При безотвальных обработках основное количество подвижных фосфора и калия аккумулируется в поверхностном слое 0–10 см, что ухудшает их использование растениями при иссушении верхнего слоя, даже при непродолжительном отсутствии дождей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кратковременное применение ресурсосберегающих технологий основной обработки под яровую пшеницу на агрочерноземах Красноярской лесостепи определяло содержание и особенности статистического распределения подвижных элементов питания в пространстве. Результаты проведенного исследования свидетельствовали о том, что способы основной обработки не оказали существенного влияния на содержание аммонийного азота (35–40 мг/кг) и дифференциацию слоя 0–20 см почвы по этому показателю, но определили особенности пространственного распре-

ления содержания N-NH₄. В условиях вспашки большая часть выборки величин содержания аммонийного азота в агрочерноземе в начале вегетации пшеницы превышала 40 мг/кг и приближалась к максимальным показателям. Перераспределение растительных остатков в пользу верхней части пахотного слоя в условиях минимальной обработки способствовало повышенному содержанию нитратного азота в слое 0–10 см (16 мг/кг, $p = 0.03$). В слое 10–20 см содержание N-NO₃ убывало в ряду обработок: минимальная (14 мг/кг) – отвальная (12 мг/кг) – нулевая (11 мг/кг). При применении нулевой обработки (прямого посева пшеницы) 25% объема выборки имели показатели, приближавшиеся к минимальной величине. Высокая обеспеченность подвижным фосфором агрочерноземов с устойчивым характером распределения в пространстве сопровождалась потерями элемента питания на 32–50 мг/кг в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки с локализацией его в слое 0–10 см почвы. Подобная закономерность выявлена и в отношении обменного калия. Ресурсосберегающие технологии основной обработки почвы определили снижение содержания обменного калия на 74–128 мг/кг по сравнению со вспашкой. Пространственное распределение обменного калия на фоне минимальной обработки сопровождалось уве-

личением доли выборки, приближавшейся к минимальным показателям (141–182 мг K_2O/kg).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаков П.С. Из опыта статистической обработки результатов массовых анализов. Новосибирск: СО АН СССР, 1964. С. 254–284.
2. Булакова Л.М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза. Новосибирск, 1984. 199 с.
3. Михеева И.В. Вероятностно-статистические модели свойств почв. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 197 с.
4. Сидорова В.А. Динамика пространственного варьирования почвенных свойств луговых агроценозов Карелии при постагрогенном развитии // Рос. журн. прикл. экол. 2016. № 3. С. 23–27.
5. Шарков И.Н. Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1997. 90 с.
6. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А., Скипин Л.Н. Влияние минимизации обработки на плодородие темно-серой лесной почвы в северном Зауралье // Изв. ОренбургГАУ. 2015. № 6. С. 43–47.
7. Данилов А.Н., Летучий А.В., Шагиев Б.З. Влияние удобрений и обработки почвы на элементы плодородия и урожайность яровой пшеницы на черноземах Поволжья // Нива Поволжья. 2015. № 3. С. 46–53.
8. Синещев В.Е., Ткаченко Г.И. Влияние минимизации основной обработки почвы на азотный режим чернозема выщелоченного и продуктивность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте // Агрохимия. 2016. № 1. С. 59–64.
9. Прохорова З.А., Фрид А.С. Изучение и моделирование плодородия почв на базе длительного полевого опыта. М.: Наука, 1993. 189 с.
10. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 319 с.
11. Попова Э.П., Лубите Я.И. Биологическая активность и азотный режим почв Красноярской лесостепи. Красноярск, 1975. 271 с.
12. Шарков И.Н., Данилова А.А. Влияние агротехнических приемов на изменение содержания гумуса в пахотных почвах // Агрохимия. 2010. № 12. С. 72–81.
13. Ambus P., Jensen E.S. Nitrogen mineralization and denitrification as influenced by crop residue particle size // Plant and Soil. 1997. V. 197. P. 261–270.
14. Кураченко Н.Л., Колесник А.А. Структура и запасы гумусовых веществ агрочернозема в условиях основной обработки почвы // Вестн. КрасГАУ. 2017. № 9. С. 149–157.
15. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М., Карпунин А.И., Карпова Д.В. Комплекс технологических, агрохимических и биологических воздействий на фосфатный режим почв и продуктивность земледелия // Плодородие. 2009. № 1. С. 4–9.
16. Воронин А.Н. Влияние различных систем земледелия на динамику содержания подвижного фосфора в черноземе типичном // Агрохимия. 2014. № 5. С. 32–37.
17. Бутяйкин В.В., Чаткин М.Н. Влияние способов основной обработки и минеральных удобрений на урожай, качество зерна озимой пшеницы // Вестн. АлтайГАУ. 2014. № 7. С. 38–41.
18. Бугаков П.С., Горбачева С.М., Чупрова В.В. Почвы Красноярского края. Красноярск, 1981. 127 с.
19. Цирюлик А.И., Шапка В.П. Влияние мульчирующей обработки почвы на питательный режим чернозема в посевах ячменя ярового // Вестн. Прикаспия. 2017. № 3. С. 31–42.
20. Турусов В.И., Новичихин А.М. Обработка черноземов: опыт и тенденции развития // Земледелие. 2012. № 4. С. 7–9.

Content and Spatial Distribution of Agrochemical Significant of the Agrochernozems in the Conditions of Main Processing of the Soil

N. L. Kurachenko^{a,*} and A. A. Kolesnik^a

^a Krasnoyarsk State Agrarian University
prosp. Mira 90, Krasnoyarsk 660049, Russia

*E-mail: kurachenko@mail.ru

In the field experiment the influence of methods of processing agrochernozem on the content and spatial distribution of mobile elements is established. It was shown that minimal tillage led to an increase in the content of nitrate nitrogen in the 0–20 cm layer (15 mg/kg), an increase in the spatial heterogeneity of the parameter ($C_v = 25\%$) with the symmetry of its distribution. Resource-saving technologies of the main processing determined a decrease in the content of mobile phosphorus by 32–50, exchange potassium by 74–128 mg/kg compared with plowing and the localization of nutrients in the 0–10 cm layer with increased variability of indicators to 23–28%. In the application of No-Till technology seeding of wheat affected the spatial distribution of ammonium nitrogen and exchangeable potassium, increasing the volume of samples approaching the minimum value.

Key words: agrochernozem, minimization of the main tillage, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, mobile phosphorus, exchangeable potassium, spatial heterogeneity.

УДК 631.445.53:631.8 (571.14)

СВОЙСТВА ПОЧВ СОЛОНЦОВЫХ КОМПЛЕКСОВ БАРАБЫ В АГРОЦЕНОЗЕ ПАШНЯ–ЗАЛЕЖЬ

© 2020 г. Л. П. Галеева

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

E-mail: liub.galeeva@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.09.2019 г.

После доработки 17.11.2019 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

В пашне севооборота пар–пшеница–овес–овес и в последующей за ней естественной залежи изучено действие и последствие минеральных удобрений на урожайность зерновых культур и естественных трав и свойства почв солонцового комплекса. Использование почвы в пашне с применением минеральных удобрений оказывало положительное влияние на ее свойства. Наибольшая урожайность зерновых культур была получена в варианте применения Р120. Последующее залужение пашни в течение 20 лет приводило к появлению мощного слоя войлока на поверхности почвы, которая сохраняла высокие показатели плодородия. Наибольшая урожайность естественных трав получена в варианте N90. Следовательно, почвы залежи можно вновь вовлекать в пашню.

Ключевые слова: свойства почв, солонцовые комплексы, Бараба, пашня, залежь.

DOI: 10.31857/S0002188120070066

ВВЕДЕНИЕ

Солонцы и их комплексы на территории Западной Сибири занимают 6.2 млн га или 40% всех солонцовых почв России. Наибольшие площади их находятся в Омской, Новосибирской обл. и Алтайском крае [1]. Начиная с периода освоения целинных и залежных земель Западной Сибири, к середине 1990-х гг. прошлого века, почвы солонцовых комплексов Барабы были вовлечены в пашню. При внесении минеральных удобрений в те годы на них получали высокие урожаи зерновых и кормовых культур [2, 3]. В Новосибирской обл. на солонцы и их комплексы с другими почвами в 1980–1990 гг. прошлого столетия приходилось 50% от площади сельскохозяйственных угодий, а в отдельных районах они составляли до 80–82% [4]. Отсутствие с 1994 г. государственного финансирования на проведение мероприятий на почвах солонцовых комплексов привели к сокращению площади пашни и росту за счет них так называемых “залежных” земель. В настоящее время целесообразно более эффективно использовать почвы, перешедшие в многолетнюю залежь, и их плодородие, созданное ранее в пашне при длительном внесении минеральных удобрений [5].

Цель работы – изучение изменений свойств почв солонцового комплекса северной лесостепи Барабы при длительном использовании в пашне, а затем перешедших в залежь.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили на территории ОАО “Кабинетное” Чулымского р-на Новосибирской обл. (бывший солонцовый стационар СибНИИЗХим СО РАСХН) в периоды 1981–1995 гг. в пашне поля севооборота пар–пшеница–овес–овес, с 1996 г. по 2015 г. – в 10- и 20-летней естественной залежи. В течение 4-х ротаций поле использовали в звене севооборота с систематическим применением минеральных удобрений. Обработку почвы проводили безотвально осенью стойками СибИМЭ на глубину 25–27 см. В качестве азотных удобрений вносили N_{aa} (34% д.в.) во все поля севооборота, кроме чистого пара, фосфорные – в виде P_{cd} (42% д.в.), калийные – K_x (60% д.в.) и их различные сочетания ежегодно под весеннюю культурацию. Высевали яровую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Новосибирская 29 и овес (*Avena sativa*) сорта Золотой дождь. Схема опыта в пашне включала 17 вариантов, более подробные исследования выполнены в 8-ми вариантах, в которых были отобраны почвенные и растительные

				повторность 1	повторность 2	повторность 3	повторность 4	С 1986 г. исключена из опыта
				1. N90P40	2. N60P120	3. N60P80	4. P120*	
Сн к.	Сн м.	Сн г.	Сн с.	5. 0 (без удобрений)*	6. N30P80	7. N30P40*	8. N90*	61.
				9. N60	10. N30*	11. P80	12. P40*	62.
				13. N30P120	14. N90P120K30*	15. N90P80	16. N60P40	63.
				17. Запас	18. Запас	19. Запас	20. N90P120K30*	64.
				21. N30P40*	22. N60P120	23. N30P80	24. N90P120K30*	65.
				25. 0 (без удобрений)*	26. N30P40*	27. N60P120	28. N90P80	66.
				29. N60P120	30. N30P80	31. N90P120*	32. N30P120	67.
				33. P80	34. P40	35. N90P80	36. N60P40*	68.
				37. N30P40*	38. N90P80	39. N90P120	40. N30P120	69.
				41. N90P40	42. N60P80	43. P120*	44. N60P120	70.
				45. 0 (без удобрений)*	46. N90*	47. N60	48. N30*	71.
				49. N30P80	50. N30P40*	51. N90P120*	52. N30P120	72.
				53. N90P80	54. N60P40	55. P80	56. P40*	73.
				57. Запас	58. Запас	59. Запас	60. N90P120K30*	74.
				61. N30P40*	62. N60P120	63. N90P80	64. N30P120	75.
				65. N90P120*	66. N30P120	67. N90P80	68. N60P40*	76.
				69. N30P40*	70. N60P120	71. N90P80	72. N30P120	77.
				73. N90P120*	74. N30P120	75. N90P80	76. N60P40*	78.
				77. Запас	78. Запас	79. Запас	80. N90P120K30*	79.
				81. N30P40*	82. N60P120	83. N90P80	84. N30P120	80.

* Примечание – варианты отбора почвенных образцов

Рис. 1. Карта-схема опытного поля. Условные обозначения: Сн к. – солонец корковый, Сн м. – солонец мелкий, Сн с. – солонец средний, Сн г. – солонец глубокий, Лч – черноземно-луговая почва, Чл – лугово-черноземная почва.

образцы и учтена урожайность зерновых культур и естественных трав: 1 – контроль, 2 – N30, 3 – N90, 4 – P40, 5 – P120, 6 – N30P40, 7 – N90P120, 8 – N90P120K30. Повторность трех–четырёхкратная, площадь делянки 170 м² (10 × 17 м). Почвенные образцы отбирали на 1-й и 3-й повторностях опыта по слоям с интервалом 20 см бурением в пашне (1982–1995 гг.) – ежегодно весной до посева и осенью перед уборкой зерновых, в залежи (2005 и 2015 гг.) – в фазе массового цветения трав. Смешанный образец почвы составляли из 3-х проб, отобранных по диагонали делянки через равные расстояния. Зерновые культуры убирали полностью с каждой делянки напрямую малогабаритным комбайном Samro 130, естественные травы – методом метровок по 2-м диагоналям делянки в четырехкратной повторности в каждом варианте.

Почвенный покров поля севооборота представлен черноземно-луговыми и лугово-черноземными солонцеватыми почвами в комплексе с солонцами черноземно-луговыми корковыми, мелкими, средними и глубокими малонатриевыми, мощность гумусового слоя которых изменялась от 29 до 37 см, а глубина вскипания карбонатов – от 43 до 53 см (рис. 1). Неоднородность почвенного покрова солонцового комплекса сказывалась на варьировании агрохимических показателей: рН_{H2O} 7.1–8.0, содержание гумуса – 6–9%, обменного натрия – 2.5–4.0 ммоль-экв/100 г почвы, валовых азота и фосфора – 0.25–0.47 и 0.09–0.18%, N-NO₃ – 14–19, подвижного фосфора по Мачигину (Q) – 21–25 мг/кг, легкодоступного фосфора по Кар-

пинскому–Замятиной (I) – 0.06–0.13 мг/л. Глубина залегания грунтовых вод за период исследования изменялась от 100 до 350 см, воды были слабо минерализованы.

Содержание гумуса в почве определяли по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), рН – потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), обменные основания и обменный кальций – трилонометрическим методом (ГОСТ 27821-88) [6], общий азот – по Кьельдалю, фосфор – по Гинзбург (ГОСТ 26261-84), нитратный азот – по Грандваль–Ляжу, легкодоступный фосфор (степень подвижности I) – по Карпинскому–Замятиной [7], подвижный фосфор (фосфатную емкость Q) и обменный калий – по Мачигину (ГОСТ 26206-91) [7]. Статистическую обработку данных выполняли дисперсионным анализом пакета программ “Снедекор” [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Солонцы и комплексы почв с солонцами >10% на территории Чулымского р-на Новосибирской обл., где проводили исследование, занимают почти 76 тыс. га или 36% от всей площади солонцеватых и солонцовых земель района, 58% из них вовлечены в сельскохозяйственные угодья [1].

Характер действия минеральных удобрений в пашне зернопарового севооборота и их последствий в залежи на урожайность зерновых культур и естественных трав, а также свойства почв был обусловлен комплексностью почвенного покрова

Таблица 1. Действие и последствие минеральных удобрений на урожайность зерновых культур в севообороте (1981–1995 гг.) и естественных трав в залежи (1996–2005 гг.), ц/га

Вариант	Пашня, 1981–1995 гг.						Залежь, 1996–2005 гг.			
	ротация севооборота				средняя урожайность	прибавка к контролю	зеленая масса		сено	
	1-я	2-я	3-я	4-я			урожайность	прибавка к контролю	урожайность	прибавка к контролю
1. Контроль	14.0	22.6	15.0	19.5	17.8	—	28.7	—	15.9	—
2. N30	16.7	24.3	19.3	23.0	20.8	+3.0	48.3	+19.6	16.8	+0.9
3. N90	19.2	23.3	18.3	20.6	20.4	+2.6	49.8	+21.1	19.7	+3.8
4. P40	17.7	22.5	15.9	21.8	19.5	+1.7	45.0	+16.3	16.3	+0.4
5. P120	25.5	28.4	25.9	27.9	26.9	+9.1	30.3	+1.6	12.8	–3.1
6. N30P40	20.4	25.9	17.8	23.0	21.8	+4.0	43.2	+14.5	19.2	+3.3
7. N90P120	24.1	25.4	18.3	26.7	23.6	+5.8	24.0	–4.7	10.0	–5.9
8. N90P120K30	22.8	24.6	18.0	26.6	23.0	+5.2	34.2	+5.5	13.1	–2.8
HCP ₀₅						2.4		19.9		10.4

опытного поля (рис. 1) и условиями тепло- и влагообеспеченности вегетационных периодов в годы исследования.

Температура воздуха вегетационного периода (май–сентябрь) за 93% лет исследования была на уровне среднемноголетней или превышала ее. Сумма осадков в этот период за 66% лет близка к среднемноголетней, или превышала ее и за 34% лет была меньше нее. В среднем вегетационный период (май–сентябрь) всех лет исследования на 86% был жарким и теплым и недостаточно увлажненным. Дефицит осадков отмечен за 51% лет [4].

В 1-й ротации севооборота (1981–1984 гг.) прибавка урожайности зерновых от удобрений составила 2.7–11.5 ц/га (26–82% к контролю) (табл. 1). Во 2-й ротации (1985–1988 гг.) она увеличивалась, а действие удобрений имело такую же закономерность, как и в 1-й. Азотные удобрения во всех дозах, в связи с парованием поля в каждой ротации севооборота способствовали накоплению в почвах большого количества нитратного азота, поэтому их эффективное действие проявлялось только в дозе N30. В 3-й ротации урожайность культур была на уровне 1-й ротации, наибольшая прибавка урожая зерновых получена в вариантах P120 и N30 – 73 и 29% к контролю соответственно. В 4-й ротации и в среднем за все 4 ротации севооборота наибольшая продуктивность отмечена в варианте P120 (40 и 51% к контролю соответственно) [5].

Учет урожайности зеленой массы и сена естественных трав залежи, проведенный через 10 лет после залужения опытного поля, показал существенные различия последствия удобрений (1996–2005 гг.) (табл. 1). Урожайность зеленой массы и сена трав в связи с высокой вариабельностью почвенного покрова опытного поля и разным ботаническим составом трав изменялась в

вариантах в пределах 24–50 и 10–20 ц/га соответственно. Наибольшая урожайность зеленой массы трав получена в вариантах N90, N30 и P40 – 49.8, 48.3 и 45.0 ц/га соответственно, где по 50% составляли бобовые и разнотравье. Высокая влажность зеленой массы злаковых трав и бобовых с разнотравьем (47–50 и 60–65% соответственно) сказалась на урожайности сена. Несмотря на отсутствие достоверных различий между вариантами, она на опытном участке в среднем была в 2–4 раза больше, чем на естественных сенокосах в хозяйстве.

Степень покрытия опытного поля травянистой растительностью за 10 лет залужения (1996–2005 гг.) составляла 70–100%. В первой повторности в составе трав преобладали горошек мышиный (*Vicia cracca* L.), овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) и пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.). В 3-й повторности опыта преобладали клевер полевой (*Trifolium arvense* L.) и горошек мышиный (*Vicia cracca* L.) с примесью пырея ползучего, тысячелистника обыкновенного, костреца безостого (*Asplenium septentrionale*), овсяницы луговой, борщевика сибирского (*Heracleum sibiricum* L.), льнянки обыкновенной (*Linaria vulgaris* Mill), мятлика (*Poa pratensis* L.) и щетинника зеленого (*Setaria viridis* L.). В варианте P120 и в контроле в составе трав преобладали злаковые разновидности (70%), в вариантах N30P40 и N90P120K30 появлялись еще и бобовые (50%), в вариантах N30; N90; P40 и N90P120 – разнотравье (17–25%) (рис. 2).

Вынос элементов питания травами залежи зависел от величины их урожайности и видового соотношения (рис. 3). Наибольшее потребление азота травами происходило в вариантах N90 и P40 со злаковыми, бобовыми и разнотравьем в их со-

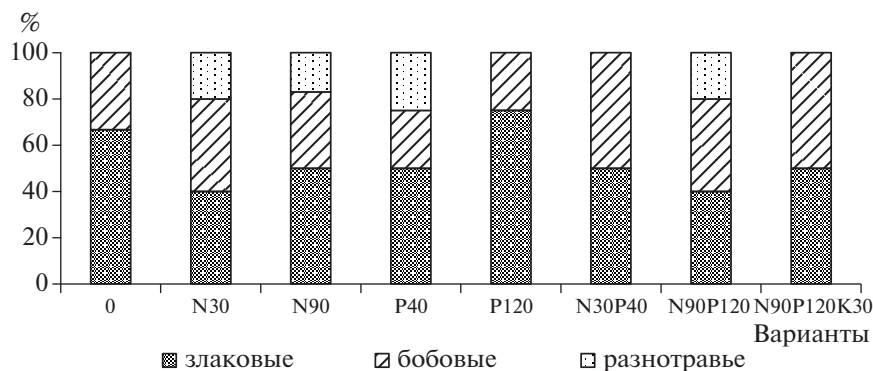


Рис. 2. Влияние последствия минеральных удобрений на видовое соотношение естественных трав залежи почв солонцового комплекса, %.

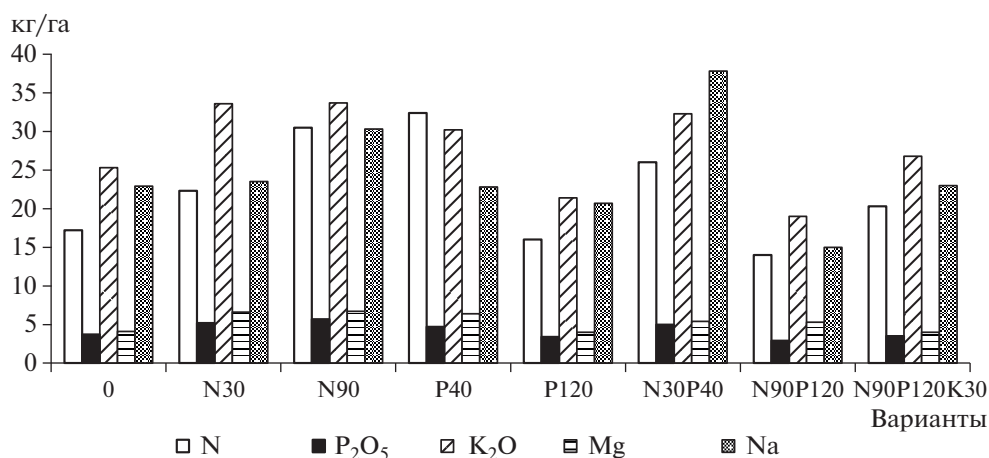


Рис. 3. Общий вынос элементов питания урожаем естественных трав на почвах солонцового комплекса, кг/га.

ставе — 32 и 30 кг/га, что было почти в 2 раза больше контроля с преобладанием в нем злаковых. Вынос фосфора травами был наименьшим из всех элементов питания (3–6 кг/га). Больше всего фосфора, калия и магния травы потребляли в вариантах N30 и N90 с присутствием всех видов трав в составе фитоценоза. Наибольший вынос натрия травами отмечен в вариантах N30P40 и N90. Общее потребление элементов питания травами уменьшалось в ряду: калий — натрий — азот — магний — фосфор в связи с особенностями физико-химических свойств почв солонцового комплекса и видовым составом трав в вариантах опыта [5].

Через 20 лет залужения пашни (2015 г.) поверхность поля была полностью покрыта сплошным войлоком мощностью 10–18 см. Из растительности преобладал пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.), небольшими куртинами произрастала клубника (*Fragaria viridis* Duch), единично встречался тысячелистник (*Achillea millefolium* L.), ковыль (*Stipa capillata* L.), молочай (*Euphorbia*) и осот полевой

(*Sonchus arvensis* L.). В 1-й и 3-й повторностях опыта, расположенных ближе к березово-осиновым колкам, отмечены единичные и группами березы (*Betula alba* L.) высотой 1.0–1.5 м, реже — 3.0 м и диаметром ствола 7–12 см с общей площадью под ними примерно 10–15%.

Насыщение поля севооборота минеральными удобрениями (1981–1995 гг.), а затем переход его в залежь (1996–2015 гг.) изменяли свойства и пищевой режим почв солонцового комплекса. В пашне за 4 ротации севооборота уменьшалось в 4 и 10 раз содержание солей и водорастворимого натрия соответственно и происходило смещение максимума соды вниз (рис. 4). pH почвенного раствора снижался со щелочного до слабо щелочного и нейтрального (табл. 2). Через 10 лет залужения поля (2005 г.) содержание солей в почве меньше исходного в 2–3 раза, водорастворимого натрия — в 5 раз.

В составе солей по-прежнему отсутствовала сода. В варианте P120 заметно увеличивалась сумма обменных оснований, из которых 52% состав-

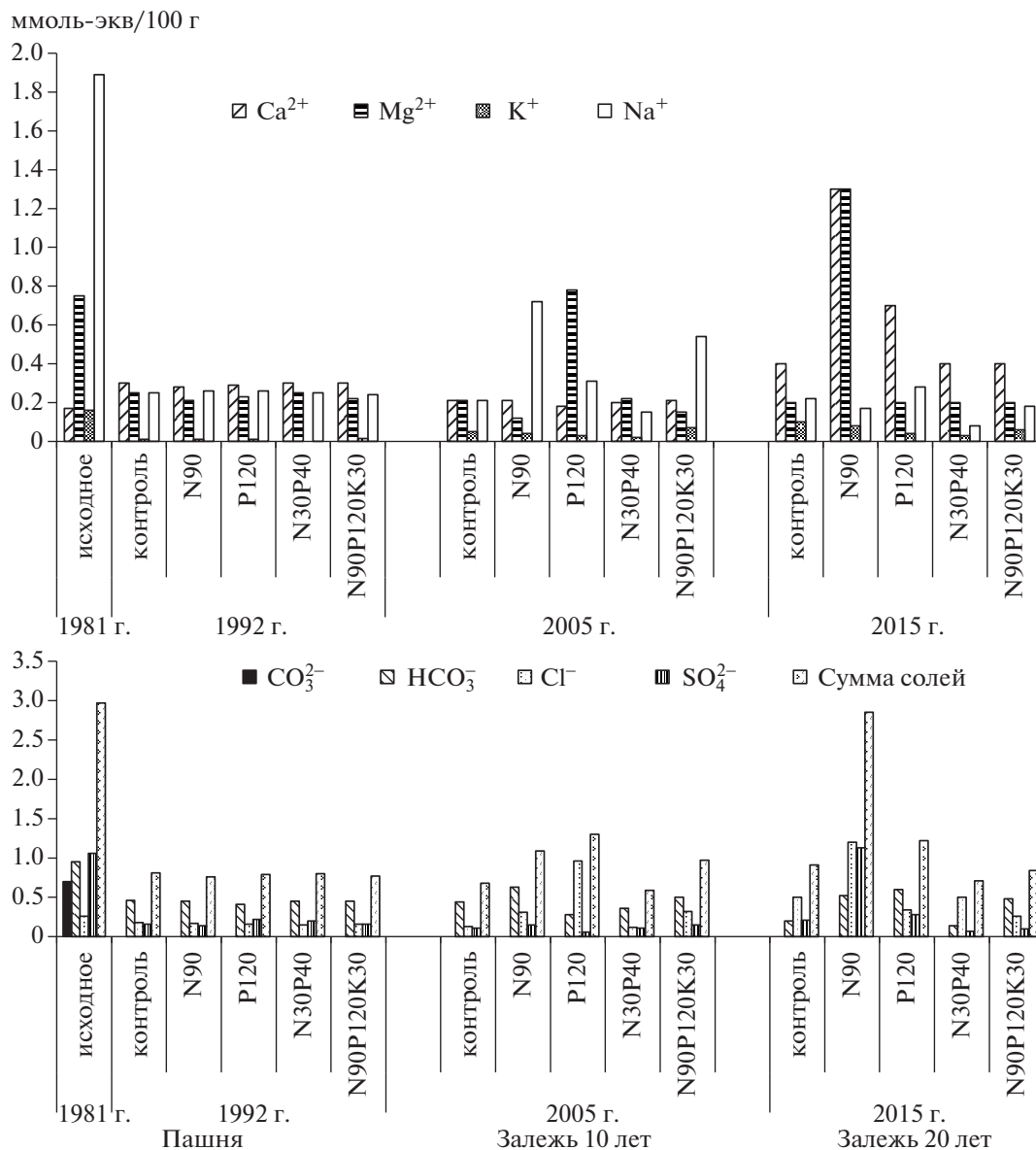


Рис. 4. Изменение состава водной вытяжки почв солонцового комплекса в слое 0–20 см почвы.

лял обменный кальций. Отношение Ca : Mg возросло до 1–1.2, pH почвенного раствора находился в интервале слабощелочного–щелочного.

В 20-летней залежи (2015 г.) в катионном составе водной вытяжки почвы увеличилось содержание кальция, магния, калия и уменьшилось – натрия, в анионном составе отсутствовали карбонаты, уменьшилось количество гидрокарбонатов, увеличилось – хлоридов и сульфатов, а сумма солей не изменилась. Количество обменных оснований и кальция также возросло, а доля магния уменьшилась. На кальций приходилось 67–87% от суммы, а отношение Ca : Mg увеличивалось до 2.6 и 3.5, pH почвенного раствора во всех вариантах был слабощелочным.

Установлено, что минеральные удобрения влияют на соотношение процессов минерализации и гумификации в почве и ее потенциальное и эффективное плодородие [9–11]. Преобладание мелких и средних солонцов в первой повторности опытного поля и глубоких солонцов в комплексе с лугово-черноземной почвой на 3-й повторности определяло разную мощность их гумусового слоя (29 и 37 см) и существенные различия в содержании гумуса (табл. 2), что в среднем в поле перед закладкой опыта в слоях 0–20 и 20–40 см составляло 7.39 и 5.24% соответственно. Минеральные удобрения, систематически внесенные в течение 4-х ротаций севооборота, усиливая минерализацию органического вещества, достоверно умень-

Таблица 2. Изменение свойств почв солонцового комплекса в агроценозе пашня–залежь (1981–2015 гг.)

Вариант	рН	Гумус, %		N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅		ПО	BC ^p	K ₂ O, мг/кг
		слой, см			I, мг/л	Q, мг/100 г			
		0—20	20—40						
слой 0—20 см									
Пашня, чистый пар, 1981 г.									
Исходное содержание	7.90	7.39	5.24	<u>11.3</u> 18.0	0.02	2.4	0.8	120	316
Конец 4-й ротации севооборота, 1995 г.									
1. Контроль	7.70	7.26	Не опре- деляли	<u>1.8</u> 4.5	0.06	2.3	3	38	250
2. N30	7.65	7.60		<u>1.4</u> 2.7	0.06	2.0	3	33	234
3. N90	7.47	6.20		<u>2.0</u> 7.0	0.06	2.1	3	35	252
4. P40	7.70	7.65		<u>1.4</u> 2.3	0.16	3.2	5	20	252
5. P120	7.45	7.00		<u>1.4</u> 2.3	0.24	6.0	4	25	230
6. N30P40	7.55	7.15		<u>2.3</u> 5.0	0.15	4.4	3	29	290
7. N90P120	7.60	7.60		<u>2.3</u> 4.0	0.18	9.1	2	50	286
8. N90P120K30	7.42	6.25		<u>1.6</u> 2.7	0.04	4.1	1	102	370
Залежь 10 лет, 2005 г.									
1. Контроль	7.33	7.85	6.20	<u>8.5</u> 15.7	0.40	7.6	0.5	19	381
2. N30	7.61	6.05	6.89	<u>9.9</u> 15.7	0.17	3.2	5	19	320
3. N90	7.49	6.31	6.20	<u>8.6</u> 14.3	0.35	3.0	12	8	350
4. P40	7.88	6.05	6.03	<u>5.9</u> 9.0	0.04	2.1	2	52	333
5. P120	7.24	7.45	5.86	<u>9.4</u> 16.6	0.04	1.0	4	25	282
6. N30P40	7.48	7.55	7.76	<u>11.5</u> 16.2	0.10	6.9	1	69	318
7. N90P120	7.41	7.35	5.00	<u>8.8</u> 14.0	0.14	2.7	5	19	341
8. N90P120K30	7.31	6.77	6.72	<u>5.4</u> 9.6	0.44	5.6	8	12	398
Залежь 20 лет, 2015 г.									
1. Контроль	Не определяли								
2. N30	7.19	6.89	6.89	<u>2.3</u> 6.3	0.28	3.4	8	12	696
3. N90	7.33	6.55	6.03	<u>2.8</u> 7.0	0.34	4.6	7	14	549

Таблица 2. Окончание

Вариант	рН	Гумус, %		N-NO ₃ , мг/кг	P ₂ O ₅		ПО	BC ^P	K ₂ O, мг/кг
		слой, см			I, мг/л	Q, мг/100 г			
		0—20	20—40		слой 0—20 см				
4. P40	7.27	6.72	5.86	<u>4.1</u> 9.8	0.39	3.8	10	9	318
5. P120	7.33	7.41	6.20	<u>3.9</u> 9.2	0.34	2.8	12	8	439
6. N30P40					Не определяли				
7. N90P120	7.11	7.58	7.06	<u>4.0</u> 9.7	0.25	2.9	9	11	258
8. N90P120K30	7.32	6.72	6.37	<u>2.0</u> 5.3	0.25	1.9	13	8	310
HCP ₀₅	0.31	0.72	1.13	<u>6.1</u> 8.8	0.24	3.5	6.4	40.9	196.8

Примечания. 1. Над чертой – содержание в слое 0–20 см, под чертой – в слое 0–40 см. 2. I – степень подвижности фосфатов, ПО – показатель окультуренности, BC^P – фосфатная буферная способность.

шали содержание гумуса только в вариантах N90 и N90P120K30. Последующее 10-летнее залужение поля севооборота способствовало незначительному накоплению гумуса в слое 0–20 см в контроле и в вариантах P120 и N30P40, стабилизации его содержания в варианте N90P120, в почве остальных вариантов оно было меньше исходного уровня (1981 г.).

В 20-летней залежи содержание гумуса в слое 0–20 см достигало исходного уровня (1981 г.) только в вариантах N90P120 и P120. В слое 20–40 см, за счет поступления органического вещества вторичных корней трав его количество в среднем в поле превышало исходное содержание на 0.6–1.8%.

Установлено, что в черноземах основным источником азотного питания растений является нитратный азот [12–19]. Парование поля севооборота в 1981 г. способствовало его накоплению в пахотном и подпахотном слоях, а обеспеченность им в слое 0–40 см была высокой [20]. Хорошая обеспеченность почвы теплом и влагой в условиях луга, несмотря на систематическое внесение минеральных удобрений в течение 4-х ротаций севооборота, способствовала миграции азота вниз по профилю и не компенсировала его вынос зерновыми культурами из пахотного и подпахотного слоя почвы, обеспеченность азотом была очень низкой и низкой (1995 г.). Через 10 лет залужения поля в слое 0–40 см содержание азота было низким в вариантах P40 и N90P120K30, средним – в вариантах N90 и N90P120 и высоким – в остальных вариантах. При этом 54–80% азота было сосредоточено в слое 0–20 см. В 20-летней залежи (2015 г.) содержание азота в слое почвы 0–40 см во всех ва-

риантах опыта было низким, а 55–62% его находилось в слое 20–40 см.

Доступность для растений почвенных и новообразованных из удобрений фосфатов можно оценить по их интенсивности (степени подвижности – I), количеству (емкости, Q) и буферности (BC^P) [21–25]. Степень подвижности фосфатов (I) в паровом поле севооборота (1981 г.) была низкой, а фосфатная емкость (Q) – средней (табл. 2). Внесение фосфорных удобрений (P40 и P120) и их совместное применение с азотными (N30P40, N90P120) в течение 4-х ротаций севооборота увеличивало содержание легкодоступного фосфора (I) до повышенного и высокого, в остальных вариантах оно оставалось низким. При этом содержание подвижного фосфора (Q) во всех вариантах, кроме контроля, N30 и N90, возрастало от среднего до повышенного, высокого и очень высокого.

С одной стороны, отношение содержания легкодоступного фосфора (по Карпинскому–Замятиной), или I, мг/л, к подвижному (по Чирикову, или Q, мг/100 г), умноженное на 100, отражает долю легкодоступных фосфатов почвы, или показатель ее окультуренности (ПО) [20]. Чем он больше, тем лучше почва обеспечена легкодоступным фосфором. Длительное использование почвы в пашне с минеральными удобрениями повышало показатель ее окультуренности в 3–6 раз, наибольшим он был в вариантах P40 и P120. С другой стороны, соотношение между количеством фосфора (Q) и его интенсивностью (I) характеризует фосфатную буферную способность почвы (BC^P), которая показывает, какое количество подвиж-

ных фосфатов должно перейти из их общего запаса в почвенный раствор или должно быть внесено в почву для изменения концентрации фосфора в почвенном растворе на единицу [23]. Использование почвы в пашне севооборота на фоне систематического применения P120 и P40 уменьшало BC^P с 120 в чистом пару (1981 г.) до 25 и 20 соответственно после 4-х ротаций севооборота, свидетельствуя об уменьшении закрепления фосфора в почве в менее доступных для растений фракциях [24]. Залужение пашни в течение 10 лет из-за небольшого выноса фосфора травами увеличивало содержание легкодоступного и подвижного фосфора в контроле, вариантах N90 и N90P120K30 и создавало повышенную и высокую обеспеченность им растений. Наибольший ПО и наименьшая BC^P отмечены в вариантах N90 и N90P120K30, свидетельствуя о дальнейшем уменьшении закрепления фосфора почвой. В 20-летней залежи (2015 г.) содержание легкодоступного фосфора в почве всех вариантов опыта было высоким, а подвижного фосфора варьировало от среднего до высокого. Наибольший ПО и наименьшая BC^P отмечены в вариантах N90P120K30, P120 и P40 (табл. 2).

Исходное содержание обменного калия в чистом пару поля севооборота было повышенным (табл. 2). После 4-х ротаций севооборота только N90P120K30-удобрения компенсировали его вынос зерновыми культурами и поддерживали повышенное содержание в почве. В остальных вариантах оно уменьшалось до среднего. В 10-летней залежи, в условиях возврата элементов питания травами в почву происходило накопление обменного калия в слое 0–20 см и создавало повышенную обеспеченность им растений. Через 20 лет залужения пашни содержание обменного калия в вариантах опыта варьировало от среднего до высокого.

ВЫВОДЫ

1. Наибольшая урожайность зерновых культур в пашне за 4 ротации севооборота получена в варианте P120 – 26.9 ц/га.

2. В пашне зернопарового севооборота усиливалась миграция водорастворимого натрия, солей и соды вниз по профилю почвы, уменьшая величину рН и увеличивая содержание суммы обменных оснований и кальция.

3. Минеральные удобрения во всех вариантах севооборота, кроме N90 и N90P120K30, поддерживали содержание гумуса в пахотном слое почвы; увеличивали содержание нитратного азота; поддерживали и повышали степень подвижности фосфора и фосфатную емкость почв, улучшая

фосфатный режим, повышая ПО и уменьшая BC^P почв; определяли высокую обеспеченность растений обменным калием.

4. Урожайность зеленой массы и сена естественных трав на залежи варьировала. Наибольшей она была в варианте N90.

5. В видовом составе трав залежи в вариантах контроль и P120 преобладали злаковые виды; в вариантах N30P40 и N90P120K30 доли злаковых и бобовых трав были равны. Азотные (N30 и N90), фосфорные (P40) и азотно-фосфорные удобрения (N90P120) способствовали появлению в составе трав разнотравья.

7. Вынос элементов питания травами залежи в вариантах опыта зависел от их урожайности и видового соотношения и уменьшался в ряду: калий – натрий – азот – магний – фосфор.

8. Залужение пашни зернопарового севооборота не приводило к накоплению солей и обменного натрия в почве. В составе солей отсутствовала сода, а величина рН соответствовала нейтральной и слабощелочной.

9. В 10-летней залежи происходило заметное накопление гумуса в слое 0–20 см в контроле и в вариантах P120; N30P40 и стабилизации его содержания в варианте N90P120. Через 20 лет залужения поля севооборота содержание гумуса в слое 0–20 см достигло исходного уровня (1981 г.) только в вариантах N90P120 и P120.

10. Содержание нитратного азота в слое 0–40 см 10-летней залежи варьировало от низкого в вариантах P40 и N90P120K30, до среднего в вариантах N90 и N90P120 и высокого – в остальных вариантах. Количество легкодоступного и подвижного фосфора увеличивалось в контроле и в вариантах N30, N90 и N90P120K30. Наибольший показатель окультуренности (ПО) и наименьшая буферность (BC^P) почвы были отмечены в вариантах N90 и N90P120K30. В условиях возврата калия травами его содержание в слое почвы 0–20 см было повышенным.

11. В почве 20-летней залежи (2015 г.) содержание нитратного азота было низким, легкодоступного фосфора – высоким, содержание подвижного фосфора варьировало от среднего до высокого. Наибольший ПО и наименьшая BC^P почвы в вариантах N90P120K30, P120 и P40. Содержание обменного калия в вариантах опыта варьировало от среднего до высокого.

12. Залечь почв солонцового комплекса, использованная ранее в систематически удобряемой пашне зернопарового севооборота, обладает высоким эффективным и потенциальным плодородием и может быть вновь вовлечена в пашню.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семендяева Н.В., Галеева Л.П., Мармулев А.Н. Почвы Новосибирской области и их сельскохозяйственное использование: Учеб. пособ. // Новосибирск: НовосибирскГАУ, 2010. 179 с.
2. Семендяева Н.В., Южаков А.И., Аверкина С.С. Действие минеральных удобрений на гидроморфных солонцовых почвах Западной Сибири // Агрохимия. 1995. № 7. С. 65–70.
3. Семендяева Н.В., Галеева Л.П., Южаков А.И., Кожевников А.И. Нитратный режим луговых солонцов Барабы при внесении минеральных удобрений // Агрохимия. 1997. № 2. С. 51–53.
4. Семендяева Н.В., Елизаров Н.В., Галеева Л.П., Коробова Л.Н. Длительность действия химической мелиорации на свойства солонцов Барабинской равнины. Новосибирск: ИЦ “Золотой колос”, 2017. 190 с.
5. Галеева Л.П. Влияние удобрений на плодородие почв северной лесостепи Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Тюмень, 2013. 32 с.
6. Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований. М.: КолосС, 2004. 312 с.
7. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
8. Сорокин О.Д. Прикладная статистика на компьютере. Новосибирск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. 222 с.
9. Шарков И.Н. Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук, Новосибирск, 1997. 37 с.
10. Шарков И.Н., Данилова А.А., Прозоров А.С., Самохвалова Л.М., Бушмелева Т.И., Шепелев А.Г. Воспроизводство гумуса как составная часть системы управления плодородием почвы: Метод. пособ. Новосибирск: РАСХН, СибНИИ земледелия и химизации сел. хоз-ва, 2010. 36 с.
11. Галеева Л.П. Гумусовое состояние и продуктивность почв солонцовых комплексов Барабы в фитоценозе пашня–залежь // Вестн. НГАУ. 2015. № 4. С. 74–81.
12. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 268 с.
13. Гамзиков Г.П., Кострик Г.И., Емельянова В.Н. Баланс и превращение азота удобрений. Новосибирск: Наука, СО, 1985. 160 с.
14. Ермохин Ю.И. Почвенно-растительная оперативная диагностика “ПРОД-ОМСХИ” минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур. Омск: ОмскГАУ, 1995. 208 с.
15. Кочергин А.Е., Рущик Г.А., Волощук А.Т. Режим нитратного азота и обменного аммония в серых лесных почвах подтаежной зоны Омской области // Агрохимия. 1983. № 5. С. 3–9.
16. Крупник П.И. Черноземы Красноярского края. Красноярск: КрасГУ, 2002. 232 с.
17. Мальцев В.Т. Азотные удобрения в Приангарье. Новосибирск, 2001. 272 с.
18. Назарюк В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 257 с.
19. Храмов И.Ф., Безвиконный Е.В. Азотный режим чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений // Агрохимия. 1997. № 9. С. 14–19.
20. Галеева Л.П. Изменение свойств почв солонцовых комплексов Барабы при переходе их из пашни в залежь // Тез. докл. VII съезда Общ-ва почвоведов им. В.В. Докучаева и Всерос. с зарубеж. участием научн. конф. “Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны”. Белгород, 2016. Ч. I. С. 60–61.
21. Антипина Л.П. Фосфор в почвах Сибири: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Омск, 1991. 32 с.
22. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М., 1981. 242 с.
23. Гырбучев И. Регулирование фосфатного режима в основных почвах Болгарии. М.: Колос, 1981. 240 с.
24. Карпинский Н.П. Фосфатный уровень почвы // Почвоведение. 1958. № 11. С. 27.
25. Кочергин А.Е. Фосфатный фонд почв и его доступность растениям // Почвы Западной Сибири и повышение их плодородия. Омск: ОмскСХИ, 1984. С. 12–19.

Properties of Soils of Solonetz Complexes Baraby in the Phytocenosis of Arable Land Fallow

L. P. Galeeva

*Novosibirsk State Agrarian University
ul. Dobrolyubova 160, Novosibirsk 630039, Russia
E-mail: liub.galeeva@yandex.ru*

In the arable crop rotation pairs-wheat-oats-oats as well as the adjoining natural deposits studied the effect and aftereffect of mineral fertilizers on cereal yields and natural herbs and the properties of soils of solonetz complex. The use of soil in arable land with the use of mineral fertilizers had a positive impact on its properties. The highest yield of grain crops was obtained in the P120 variant. The subsequent tinning of arable land for 20 years led to the appearance of a powerful layer of felt on the surface of the soil, which maintained high fertility rates. The highest yield of natural grasses was obtained in the N90 variant. Consequently, soil deposits can be re-involved in arable land.

Key words: properties, solonetz complexes, Baraba, arable land, fallow.

УДК 581.132:581.134:633.11“321”:546.77:632.112

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫЕ ОТНОШЕНИЯ РАСТЕНИЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МОЛИБДЕНОВОКИСЛОГО АММОНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАСУХИ

© 2020 г. И. И. Серегина^{1,*}, Н. Т. Ниловская²

¹ Российский государственный аграрный университет—МСХА им. К.А. Тимирязева
127550 Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31, Россия

*E-mail: seregina.i@inbox.ru

Поступила в редакцию 04.10.2019 г.

После доработки 16.12.2019 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

В модельных опытах с почвенной культурой изучены защитно-стимулирующие особенности влияния молибдена на фотосинтетическую активность и донорно-акцепторные отношения, складывающиеся в растениях пшеницы в течение вегетационного периода в зависимости от уровня азотного питания и условий водообеспечения. Проведена оценка вклада отдельных элементов в эффективность работы фотосинтетической поверхности растений пшеницы в оптимальных условиях водообеспечения и при окислительном стрессе, вызванном краткосрочной почвенной засухой.

Ключевые слова: яровая пшеница, молибден, предпосевная обработка, показатели фотосинтетической деятельности растений, донорно-акцепторные отношения растений, содержание хлорофилла.

DOI: 10.31857/S0002188120070091

ВВЕДЕНИЕ

Одним из аспектов биологизации земледелия является повышение роли биологического азота в результате активизации процессов поглощения и использования азота почвы при применении микроэлементов [1–3].

Многочисленными исследованиями, проведенными с различными культурами, установлена существенная роль молибдена в питании растений [4]. Основной физиолого-биохимической ролью молибдена в растениях является его участие в азотном обмене [5]. В зеленых тканях растений фермент локализован на внутренней мембране хлоропластов вместе с глутаминсинтетазой и глутаматсинтетазой [5, 6]. Показано, что молибден в наибольшем количестве находится в хлоропластах листьев и лейкопластах корней растений и в меньшем количестве — в митохондриях. Выявлено, что при использовании молибденовых удобрений увеличивается содержание хлорофиллов в листьях растений и интенсивность их фотосинтеза, особенно в засушливых условиях выращивания [7–9]. Это связывают с повышением устойчивости к разрушению белково-пигментно-

го комплекса, а также с увеличением содержания аскорбиновой кислоты, которая участвует в регенерации хлорофилла и бактериофилла из продуктов их фотоокисления [7–9]. Показано, что в условиях засухи молибден уменьшает дневную депрессию фотосинтеза, способствуя стабилизации дыхательного газообмена в результате усиления пентозофосфатного окисления, а также путем увеличения активности АТФ-азы, глутаматдегидрогеназы и глутаминсинтетазы [7, 9–11].

Исследованиями было выявлено, что основное значение молибдена определяется устранением вызванного дефицитом влаги нарушения обмена веществ, а также упрочнением структурных элементов клетки, в результате чего активизируются защитные реакции растительного организма. Однако механизмы действия молибдена на рост и развитие яровой пшеницы в течение вегетации при выращивании в условиях засухи изучены недостаточно и в связи с этим представляют большой научный интерес и практическую значимость.

Цель работы — изучение влияния молибдена на фотосинтетическую активность и донорно-ак-

цепторные отношения, складывающиеся в растениях яровой пшеницы в условиях оптимального водообеспечения и засухи в зависимости от уровня азотного питания.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в почвенной культуре в вегетационном домике (опыт 1) кафедры агрономической и биологической химии и радиологии РГАУ—МСХА им. К.А. Тимирязева и в фитотронной установке (опыт 2) в лаборатории физиологии питания и продуктивности растений ВНИИ им. Д.Н. Прянишникова. Объектом исследования была яровая пшеница сорта Иволга, которая отличается низкой устойчивостью к засухе в критический период роста [12].

Закладку вегетационных опытов проводили по общепринятым методикам [13, 14]. Для этого растения пшеницы выращивали в сосудах Вагнера, вмещающих 5 кг сухой почвы. Для опыта использовали дерново-подзолистую среднесуглинистую почву со следующей агрохимической характеристикой: pH_{KCl} 6.7 (потенциометрическим методом в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26483-91), H_r — 0.5 мг-экв./100 г почвы (по Каппену), S — 13.5 мг-экв./100 г почвы (по Каппену—Гильковичу, ГОСТ 27821-88), V — 96%, содержание гумуса — 1.8% (по Тюрину), легкогидролизуемого азота — 67 мг/кг почвы (по Тюрину—Кононовой). Обеспеченность подвижными формами фосфора и калия составила 27.8 и 28.0 мг/кг почвы соответственно (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26207-91). Содержание подвижного молибдена составляло 0.28 мг/кг почвы (ГОСТ Р 50689-84, в вытяжке оксалатного буферного раствора).

Предпосевную обработку семян пшеницы при проведении вегетационного опыта осуществляли раствором молибденовокислого аммония $((NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O)$ из расчета 50 мг Мо/ц семян. Концентрация молибденовокислого аммония была выбрана на основании ранее проведенных лабораторных исследований. Контрольным был вариант без применения молибденовокислого аммония.

Уровни минерального питания создавали путем внесения химически чистых солей NH_4NO_3 , KH_2PO_4 и KCl . В опытах варьировали уровни азотного питания путем внесения следующих доз азота: N_1 — 50 мг N/кг почвы, N_2 — 150 мг N/кг почвы, N_3 — 300 мг N/кг почвы. Во всех вариантах фосфор и калий вносили из расчета каждого элемента по 300 мг/кг почвы.

Оптимальные условия водообеспечения создавали путем полива сосудов по массе до 60% полной влагоемкости (ПВ) в течение всего вегетационного периода. Для создания условий недостатка влаги в почве в критический период роста растений моделировали засуху “северного типа”, которая характерна для Нечерноземной зоны. Для этого прекращали полив растений на IV этапе органогенеза до наступления в почве влажности устойчивого завядания (40% ПВ), после чего возобновляли полив [15]. Продолжительность засухи составляла 7 сут. Повторность всех опытов четырехкратная.

Для оценки показателей фотосинтетической деятельности растений и донорно-акцепторных отношений растений в течение онтогенеза отбирали пробы в каждом варианте (1 сосуд). В вариантах, где растения выращивали при оптимальном водообеспечении, пробы растений отбирали в следующие фазы: выход в трубку (VI этап органогенеза), колошение (VIII этап), цветение (IX этап), молочная спелость (XI этап). В вариантах с недостаточным водообеспечением пробы растений отбирали до начала засухи (VI этап), после окончания засухи (VIII этап), в репарационный период, т.е. через 5 сут после окончания засухи (IX этап), в молочную спелость (XI этап). При этом определяли нарастание биомассы растений, площадь ассимиляционной поверхности отдельных органов растений пшеницы [16].

Для оценки фотосинтетической деятельности растений пшеницы рассчитывали фотосинтетические показатели [17]. Удельная поверхностная плотность листьев (УППЛ) определяется как отношение массы листьев к площади листьев (мг/см²). УППЛ показывает эффективность работы листьев в изучаемых условиях. Фотосинтетический потенциал (ФП) позволяет оценить величину и продолжительность работы листьев (м²/сут). ФП рассчитывали путем суммирования ежедневных показателей площади листьев за весь вегетационный период, интегрируя величину и длительность работы ассимиляционной поверхности. Продуктивная работа листьев (ПРЛ) определяется количеством массы зерна (г) в расчете на единицу ФП (г/м²/сут). Коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза ($K_{хоз}$) отражает долю биомассы зерна в общей биомассе надземной части растений (%).

Для характеристики донорно-акцепторных отношений, складывающихся в растениях в различных условиях выращивания, рассчитывали следующие показатели [17]: массу колоса, прихо-

дающуюся на единицу массы листьев в фазе цветения ($M_{\text{кол}}/M_{\text{листьев}}$); массу колоса, приходящуюся на единицу массы побега в фазе цветения ($M_{\text{кол}}/M_{\text{побега}}$); массу зерна, приходящуюся на единицу массы листьев в фазе цветения ($M_{\text{зерна}}/M_{\text{листьев}}$), площадь листьев в фазе цветения, приходящуюся на единицу массы колоса в фазе цветения ($S_{\text{листьев}}/M_{\text{колоса}}$).

Для оценки значения молибдена в формировании ростовых функций растений пшеницы сорта Иволга на ранних этапах онтогенеза растений в разных условиях водообеспечения при применении обработки семян молибденом была проведена серия краткосрочных лабораторных экспериментов. Эксперименты проводили в термостате, где дневная температура была равна 23°C, ночная — 18°C. Семена пшеницы обрабатывали перед посевом путем намачивания в растворах молибденовокислого аммония из расчета 0, 10, 30, 50, 100, 150 мг/ц семян. Контролем служили семена без обработки. Семена контрольного варианта и семена, предварительно обработанные растворами соли молибдена, высевали по 10 шт. на полоски фильтровальной бумаги, которые сворачивали в рулоны и помещали по 5 рулонов в стакан с дистиллированной водой или с раствором сахарозы (5 атм). Через 7 сут после посева оценивали всхожесть, линейные размеры и биомассу проростков и их корней.

Для изучения влияния различных доз молибденовокислого аммония при предпосевной обработке семян на содержание хлорофилла в листьях в зависимости от условий водообеспечения был проведен краткосрочный опыт с растениями пшеницы сорта Иволга в фитотронной установке, в которой контролировали температуру и освещение. Источником света служили лампы ДРИ-2000-6 (мощность 2 кВт), помещенные в водный экран с проточной водой для снятия инфракрасной радиации. Растения выращивали в сосудах емкостью 1 кг почвы. Для опыта использовали дерново-подзолистую среднесуглинистую почву (агрохимическая характеристика представлена выше). Перед посевом семена обрабатывали молибденовокислым аммонием из расчета 30 и 50 г/ц семян. В течение 14 сут растения поливали из расчета 60% ПВ. Затем в вариантах с засухой прекращали полив до наступления в почве влажности устойчивого завядания (40% ПВ). Продолжительность экспериментов составила 21 сут. Уровень азотного питания создавали из расчета 50 (N_1), 150 (N_2) и 300 (N_3) мг/кг почвы, уровни фосфора и калия — каждого элемента по 300 мг/кг почвы. После окончания эксперимента в листьях растений определяли содержание хлорофиллов a

и b , сумму хлорофиллов ($a + b$), а также соотношение хл. a : хл. b . Содержание пигментов определяли в вытяжке 100%-ного ацетона на спектрофотометре СФ-46 [18].

Повторность всех опытов семикратная. Результаты исследования обработаны однофакторным методом дисперсионного анализа [14].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основными показателями, которые позволяют оценить изменения роста и развития проростков растений, являются линейные размеры стеблей и листьев, скорость накопления биомассы [17]. Показано, что обработка семян молибденовокислым аммонием привела к увеличению длины проростков пшеницы по сравнению с контролем без обработки семян (табл. 1). Наибольший эффект от применения молибденовокислого аммония отмечен при использовании дозы 50 г/ц семян. При этом достоверно увеличивалась всхожесть семян, длина проростков и их корней, а также сухая масса проростков и корней. В этом же варианте отмечено увеличение доли корней в общей сухой массе проростков до 36%, против 30% в контрольном варианте (без молибдена). Это свидетельствовало о стимулирующем действии молибдена на рост и развитие корневой системы пшеницы на ранних этапах. Увеличение концентрации молибдена в 2 и 3 раза приводило к торможению ростовых реакций проростков, в результате чего снижалась не только всхожесть семян, но и линейные размеры, а также сухая масса проростков пшеницы.

Показано, что при прорастании семян пшеницы без обработки молибденом в условиях недостатка влаги происходило значительное замедление ростовых процессов по сравнению с оптимальным увлажнением. При этом показатели роста снижались в 1.5–2.0 раза. В вариантах с обработкой семян пшеницы молибденом степень торможения ростовых процессов снижалась. Наибольший эффект от обработки семян молибденом в условиях засухи, так же как и при оптимальном водообеспечении проростков, отмечен при использовании дозы 50 г/ц. При этом достоверно возросла длина проростков и корней и их сухая масса.

Для оценки эффективности изученных факторов на ранних этапах развития использовали относительные показатели устойчивости растений [19]. Оценка степени изменения длины и массы корня в начальные фазы развития (на 5–7 сут после посева) показывает отзывчивость изучаемого сорта зерновой культуры к факторам внешней

Таблица 1. Влияние молибдена на ростовые показатели проростков яровой пшеницы сорта Иволга в зависимости от условий водообеспечения (опыт с 7-суточными растениями)

Доза Мо, г/ц семян	Всхожесть, %	Длина, см		Сухая масса, г		
		проростков	корней	проростков	корней	всего проростка
Оптимальное водообеспечение						
0	90	11.5	7.8	3.7	1.6	5.3
10	90	12.3	8.9	3.9	1.6	5.5
30	90	13.7	9.0	4.0	1.8	5.8
50	95	15.7	9.5	4.4	2.5	6.9
100	80	12.8	6.6	3.3	1.3	4.6
150	70	12.4	4.8	2.4	1.1	3.5
<i>HCP</i> ₀₅	4	1.2	1.0	0.5	0.6	
Засуха						
0	90	4.7	4.6	2.3	1.5	3.8
10	90	4.7	3.8	2.7	1.5	4.2
30	90	5.8	4.5	3.9	1.6	5.5
50	95	6.7	5.7	4.7	1.9	6.6
100	80	5.7	4.4	3.7	1.4	5.1
150	70	4.4	3.3	2.7	1.0	3.7
<i>HCP</i> ₀₅	4	0.9	0.8	0.6	0.4	

Примечание. *HCP*₀₅ — наименьшая существенная разность для 5%-ного уровня значимости.

среды, в том числе к стрессовым. В качестве показателя уровня лабораторной эффективности применения обработок семян молибденом можно использовать индекс длины корня (**ИДК**) — отношение длины наибольшего корня к длине корня в контроле и корневой индекс (**КИ**) — отношение массы корня к массе надземной части растений. При проращивании семян на воде (т.е. при оптимальном водообеспечении) наибольшие показатели ИДК (1.22) и КИ (0.36) были получены в варианте, где семена перед посевом обрабатывали раствором молибденовокислого аммония в дозе 50 г/ц семян. В условиях засухи наибольший индекс длины корня (1.24) был получен так же как при оптимальном водообеспечении при дозе 50 г Мо/ц семян. Выявлено, что в данном варианте молибден наилучшим образом влиял на развитие корневой системы проростков, при этом улучшая процессы поглощения и транспорта элементов минерального питания и воды корнем, результатом чего явилось преобладание массы корневой системы над массой побега как при оптимальном водообеспечении, так и при недостатке влаги.

Таким образом, лабораторные исследования позволили выявить наиболее оптимальную дозу молибденовокислого аммония — 50 мг/ц семян, которую можно рекомендовать для применения в

качестве предпосевной обработки семян яровых зерновых культур при проращивании как при оптимальном водообеспечении, так и при недостаточном.

При оценке факторов, которые позволяют выявить потенциал продуктивности зерновых культур, следует учитывать влияние условий минерального питания и обеспеченности микроэлементами на активность фотосинтетического аппарата в течение вегетационного периода. Было установлено, что эффективность действия молибдена зависела от его дозы для обработки семян, уровня азотного питания и условий водообеспечения растений (табл. 2). Показано, что в оптимальных условиях водообеспечения в течение всего периода выращивания применение молибдена в дозе 30 г/ц семян не оказало положительного влияния на содержание хлорофилла в проростках пшеницы. Наблюдали снижение содержания суммы хлорофиллов ($a + b$) за счет уменьшения содержания и хлорофилла a , и хлорофилла b при всех уровнях азотного питания. С увеличением дозы азота содержание суммы хлорофилла ($a + b$) уменьшалось в большей степени за счет снижения содержания хлорофилла b .

Применение молибденовокислого аммония в дозе 50 г Мо/ц семян в этих же условиях оказыва-

ло положительное влияние на содержание зеленых пигментов в 3-недельных проростках пшеницы. Однако действие молибдена зависело от уровня азотного питания. Наибольшая эффективность молибдена была получена при низкой дозе азота (N_1). Величина суммы хлорофиллов ($a + b$) в этом варианте возросла на 15% (до 1.22 против контроля 0.78), за счет увеличения содержания хлорофилла a на 11, хлорофилла b — на 22%. Это привело к смещению соотношения хлорофилл a : хлорофилл b в сторону увеличения последнего в структуре хлорофиллового комплекса, что могло влиять на увеличение относительного числа фотосистем 2. С увеличением уровня азотного питания эффективность молибдена снижалась. При средней дозе азота (N_2) достоверного изменения содержания хлорофиллов в листьях пшеницы при применении молибдена не получено. Следует отметить, что при высокой дозе азота (N_3) применение молибдена в дозе 50 г/ц семян так же, как и при дозе 30 г/ц семян, способствовало снижению относительного содержания хлорофилла a и хлорофилла b , однако доля хлорофилла b в структуре хлорофиллового комплекса возрастала. В этих вариантах соотношение хлорофилл a : хлорофилл b увеличивалось до 1.96 по сравнению с контролем (1.53) в результате резкого уменьшения доли хлорофилла b почти в 2 раза. Это свидетельствовало о перестройке фотосинтетического аппарата листьев растений, в результате чего увеличивалась доля фотосистемы 1.

Оценка результатов, полученных в вариантах, где моделировали засуху в фазе кущения пшеницы, показала, что с увеличением уровня азотного питания в условиях засухи происходило постепенное снижение содержания суммы пигментов. При средней дозе азота (N_2) произошло уменьшение суммы хлорофиллов на 14%, при высокой дозе азота (N_3) уменьшение составило >40%. Снижение содержания суммы хлорофиллов произошло как за счет хлорофилла a , так и за счет хлорофилла b . При средней дозе азота снижение содержания хлорофилла a составило 16, хлорофилла b — 12.5%. При высокой дозе азота снижение содержания хлорофиллов составило 40 и 50% соответственно. Отмечено уменьшение соотношения хлорофилл a : хлорофилл b , что свидетельствовало об изменении структуры хлорофиллового комплекса.

При использовании обработки семян молибденом в условиях засухи наблюдали увеличение содержания пигментов во всех вариантах опытов по сравнению с контролем без применения молибдена. Следует отметить, что наибольший эф-

фект был получен при использовании дозы молибдена 50 г/ц семян. С увеличением уровня азотного питания эффективность применения молибдена возрастала. При этом достоверно увеличивалось содержание суммы хлорофиллов при всех уровнях азотного питания за счет увеличения содержания и хлорофилла a , и хлорофилла b . Например, содержание суммы хлорофиллов возрастало в 1.32–1.96 раза, содержание хлорофилла a — в 1.30–1.81 раза, хлорофилла b — в 1.36–2.25 раза. Также отмечены изменения соотношения хлорофилл a : хлорофилл b . Положительные изменения структуры хлорофиллового комплекса при применении молибдена получены на фоне средней дозы азота, что связано с повышением устойчивости белково-пигментного комплекса листового аппарата пшеницы в условиях воздействия окислительного стресса. На фоне низкого и высокого уровней азота в почве соотношение хлорофилл a : хлорофилл b снижалось в вариантах с применением молибдена, что было обусловлено увеличением доли хлорофилла b в структуре хлорофиллового комплекса по сравнению с хлорофиллом a . Это могло послужить причиной перестройки фотосинтетического аппарата растений пшеницы в результате преобладания фотосистемы 2.

Таким образом, можно сделать вывод, что эффективность действия молибдена на формирование фотосинтетического аппарата растений пшеницы как при оптимальном водообеспечении, так и в условиях воздействия окислительного стресса, вызванного засухой, зависела от дозы молибденовокислого аммония и уровня азотного питания. При оптимальном водообеспечении наибольшее действие молибдена на содержание хлорофилла было получено при дозе 50 г Мо/ц семян при низком уровне азота. В тех же условиях доза молибдена 30 г Мо/ц семян оказалась недостаточной для проявления положительного эффекта. Наилучшая структура хлорофиллового комплекса была получена на фоне высокого обеспечения растений азотом при обеих дозах молибдена. В условиях засухи наибольшее действие молибдена на содержание хлорофилла и структуру хлорофиллового комплекса проявлялось при среднем уровне азотного питания.

Известно, что фотосинтетическая деятельность растений в течение вегетационного периода определяет их биологическую продуктивность. Основным органом фотосинтеза является листовой аппарат растений, представляющий собой центр образования ассимилятов и метаболизма, а также донором ассимилятов для репродуктивных органов. При изучении влияния молибдена на рост и развитие растений представляет интерес

Таблица 2. Содержание хлорофиллов в листьях пшеницы в зависимости от дозы молибдена, уровня азотного питания и условий водообеспечения (опыт с 21-суточными растениями)

Условия питания		Содержание хлорофиллов, мг/г сырого вещества		Сумма хлорофиллов ($a + b$), мг/г сырого вещества	Соотношение хл. a : хл. b
доза азота, мг/кг почвы	доза молибдена, г/ц семян	a	b		
Оптимальное водообеспечение весь период вегетации					
50	0	0.69	0.37	1.06	1.86
	30	0.63	0.35	0.98	1.80
	50	0.77	0.45	1.22	1.71
HCP_{05}		0.04	0.06	—	—
150	0	0.76	0.39	1.15	1.95
	30	0.67	0.31	0.98	1.72
	50	0.79	0.42	1.21	1.88
HCP_{05}		0.09	0.06	—	—
300	0	0.78	0.51	1.29	1.53
	30	0.51	0.26	0.77	1.96
	50	0.55	0.28	0.83	1.96
HCP_{05}		0.04	0.06	—	—
Засуха в фазе кушения					
50	0	0.66	0.36	1.02	2.11
	30	0.71	0.38	1.09	1.87
	50	0.86	0.49	1.35	1.76
HCP_{05}		0.04	0.06	—	—
150	0	0.57	0.32	0.89	1.78
	30	0.88	0.38	1.26	2.32
	50	0.89	0.44	1.33	2.02
HCP_{05}		0.09	0.06	—	—
300	0	0.47	0.24	0.71	1.96
	30	0.58	0.38	0.96	1.53
	50	0.85	0.54	1.39	1.57
HCP_{05}		0.04	0.06	—	—

оценка суммарных показателей фотосинтетической деятельности ассимиляционного аппарата, а также изучение донорно-акцепторных отношений, складывающихся между колосом и ассимилирующим аппаратом в период формирования зерна.

В экспериментах показано, что молибден не оказывал существенного влияния на величину фотосинтетического потенциала (табл. 3). При этом обработка семян молибденом способствовала увеличению продуктивной работы листьев во всех вариантах. В то же время величина продуктивной работы листьев (ПРЛ) в значительной мере зависела от условий выращивания и уровня азотного питания. Например, при применении

молибдена на фоне низкой дозы азота увеличение показателя ПРЛ было в 1.4 раза, на фоне средней дозы азота — на 6%, на фоне высокой дозы азота — на 5–11%. Выявлено, что молибден способствовал увеличению эффективности работы листового аппарата, т.е. на единицу площади листьев создавалось большее количество зерна по сравнению с контрольным вариантом.

Удельная поверхностная плотность листьев (УППЛ) также позволяет оценить эффективность работы листового аппарата пшеницы в изученных условиях. Применение молибдена способствовало снижению показателя УППЛ и увеличению площади листьев, обслуживающих колос, при обоих уровнях азотного питания. Ве-

Таблица 3. Влияние молибдена на показатели фотосинтетической деятельности растений пшеницы сорта Иволга при оптимальном водообеспечении и засухе

Условия питания		Оптимальное водообеспечение					Засуха на VI этапе органогенеза				
доза азота, мг/кг почвы	пред-посевная обработка семян	ФП, м ² /сут	ПРЛ, г/м ² /сут	УППЛ, мг/см ²	$\frac{S_{\text{лист}}}{M_{\text{колос}}}$	$K_{\text{хоз}}, \%$	ФП, м ² /сут	ПРЛ, г/м ² /сут	УППЛ, мг/см ²	$\frac{S_{\text{лист}}^*}{M_{\text{колос}}}$	$K_{\text{хоз}}^*, \%$
Опыт в вегетационном домике											
50	H ₂ O	0.23	0.92	1.78	0.28	30	0.10	1.20	2.66	0.25	26
	Mo	0.24	1.29	1.46	0.30	38	0.07	1.71	2.43	0.26	23
300	H ₂ O	0.18	1.22	2.05	0.17	25	0.07	0.71	2.97	0.16	11
	Mo	0.23	1.35	1.89	0.31	33	0.08	1.75	1.67	0.36	23
HCP ₀₅		0.05	0.10	0.22	0.05	—	0.02	0.07	0.12	0.03	
Опыт в фитотронной установке											
150	H ₂ O	0.30	2.67	1.86	0.27	42	0.13	0.77	1.63	0.29	24
	Mo	0.31	2.84	1.74	0.30	48	0.12	1.09	1.61	0.30	22
300	H ₂ O	0.37	2.32	1.99	0.25	43	0.10	0.67	2.08	0.15	14
	Mo	0.38	2.44	1.80	0.29	45	0.15	2.12	1.80	0.34	36
HCP ₀₅		0.06	0.12	0.10	0.03	—	0.03	0.18	0.05	0.06	

Примечание. ФП — фотосинтетический потенциал, ПРЛ — продуктивная работа листьев, УППЛ — удельная поверхностная плотность листьев, $S_{\text{лист}} : M_{\text{колос}}$ — площадь листьев в фазе цветения, приходящаяся на единицу массы колоса в фазе цветения, $K_{\text{хоз}}$ — коэффициент хозяйственной эффективности фотосинтеза.

роятно, это и определило увеличение аттрагирующей способности колоса пшеницы и рост урожайности растений при применении молибдена. Об этом свидетельствовало и увеличение коэффициента хозяйственной эффективности фотосинтеза ($K_{\text{хоз}}$) в обоих экспериментах.

Показано, что в вариантах без применения молибдена, где моделировали засуху в критический период роста растений, с увеличением уровня азотного питания снижались показатели фотосинтетической деятельности растений. Выявлено уменьшение фотосинтетического потенциала на 30%, продуктивной работы листьев — на 13–40% и площади листьев, обеспечивающих колос, на 10–40%, что свидетельствовало о снижении площади функционально активных листьев. Снижение площади активно функционирующей листовой поверхности в условиях засухи определяло уменьшение зерновой продуктивности растений пшеницы. В этих же условиях показано увеличение удельной поверхностной плотности листьев в фазе цветения, что обусловило ухудшение оттока ассимилятов в формирующиеся зерновки, в результате чего происходило снижение массы 1000 зерен. Уменьшение коэффициента хозяйственной эффективности фотосинтеза также показало резкое уменьшение активности ассимиляцион-

ной поверхности растений и в конечном итоге — ухудшение оттока ассимилятов в зерна, что препятствовало получению хорошего урожая зерна.

Показано, что эффективность молибдена в условиях засухи зависела от уровня азотного питания. При применении молибдена на фоне низкой (в вегетационном домике) и средней (в фитотроне) доз азота показано торможение ростовых процессов, что обусловило снижение фотопотенциала на 8 и 30% соответственно по сравнению с контрольным вариантом. На фоне высокой дозы азота выявлено положительное действие молибдена на ростовые процессы в этих же условиях. Показано возрастание величины фотосинтетического потенциала в 1.1 раза (в вегетационном домике) и в 1.5 раза (в фитотроне). Вероятно, что в условиях засухи для проявления наибольшей эффективности молибдена необходимо достаточно высокое обеспечение растений азотным питанием.

Выявлено, что после окончания засухи в репарационный период в вариантах с обработкой семян молибденом происходил прирост биомассы за счет отрастания боковых побегов, что является проявлением защитно-приспособительных механизмов, препятствующих отрицательному воздействию окислительного стресса, вызванного засухой. Это определило увеличение продуктив-

Таблица 4. Характер донорно-акцепторных отношений растений пшеницы сорта Иволга при применении молибдена в зависимости от уровня азота и условий водообеспечения

Условия питания		Оптимальное водообеспечение			Засуха в критический период роста растений		
доза азота, мг/кг почвы	предпосевная обработка семян	$\frac{M_{\text{колос}}}{M_{\text{лист}}}$	$\frac{M_{\text{колос}}}{M_{\text{побег}}}$	$\frac{M_{\text{зерно}}}{M_{\text{лист}}}$	$\frac{M_{\text{колос}}}{M_{\text{лист}}}$	$\frac{M_{\text{колос}}}{M_{\text{побег}}}$	$\frac{M_{\text{зерно}}}{M_{\text{лист}}}$
Опыт в вегетационном домике							
50	H ₂ O	0.33	0.33	0.20	0.18	1.76	2.16
	Mo	0.40	0.33	0.20	0.17	1.70	2.58
300	H ₂ O	0.23	0.30	0.21	0.23	1.60	1.72
	Mo	0.43	0.30	0.21	0.25	2.33	2.81
HCP ₀₅		0.05	0.03	0.05	0.03	0.02	0.15
Опыт в фитотронной установке							
150	H ₂ O	0.50	0.25	0.31	0.20	2.11	3.00
	Mo	0.48	0.24	0.31	0.21	2.20	3.29
300	H ₂ O	0.41	0.23	0.29	0.18	1.96	2.61
	Mo	0.40	0.23	0.33	0.22	2.77	2.79
HCP _{0.05}		0.04	0.05	0.01	0.03	0.03	0.09

Примечание. $M_{\text{колос}} : M_{\text{лист}}$ — масса колоса, приходящаяся на единицу массы листьев в фазе цветения, $M_{\text{колос}} : M_{\text{побег}}$ — масса колоса, приходящаяся на единицу массы побега в фазе цветения, $M_{\text{зерно}} : M_{\text{лист}}$ — масса зерна, приходящаяся на единицу массы листьев в фазе цветения, $S_{\text{лист}} : M_{\text{колос}}$ — площадь листьев в фазе цветения, приходящаяся на единицу массы колоса в фазе цветения.

ной работы листьев на фоне всех уровней азотного питания. Показано возрастание ПРЛ на фоне низкого (в вегетационном домике) и среднего (в фитотроне) уровней азота в 1.4 раза, на фоне высокого уровня азотного питания — в 2.5–3.2 раза. Кроме того, отмечено снижение удельной поверхностной плотности листьев на 2–9 и 14–44% соответственно. Оценка показателей ПРЛ и УППЛ показала, что на фоне низкого и среднего уровней азота произошли меньшие изменения этих показателей, что не позволило растениям сформировать достаточно активную ассимиляционную поверхность листьев. Об этом свидетельствовал показатель соотношения площади листьев на единицу массы колоса, который не изменился на достоверную величину. В то же время положительного изменения фотосинтетического потенциала и площади листьев, обслуживающей массу колоса, не произошло, хотя продуктивная работа листьев возросла, а УППЛ снизилась. Однако это не позволило растениям сформировать достаточную прибавку урожая зерна. Снижение коэффициента хозяйственной эффективности фотосинтеза свидетельствовало об ухудшении работы ассимиляционной поверхности и торможении процессов оттока ассимилатов в репродуктивные органы. В тех же условиях, но на фоне высокого обеспечения растений азотом отмечены

заметные изменения продуктивной работы листьев и удельной поверхностной плотности листьев, что определило большую эффективность работы листовой поверхности. Об этом свидетельствовало существенное увеличение коэффициента хозяйственной эффективности фотосинтеза — более чем в 2 раза.

Исследования, проведенные в условиях вегетационного домика и фитотронной установки, позволили изучить особенности формирования донорно-акцепторных отношений между колосом и листовой поверхностью в зависимости от уровня азотного питания и применения обработки семян молибденом при оптимальном водообеспечении и в условиях окислительного стресса, вызванного засухой (табл. 4).

Показано, что при оптимальном водообеспечении у пшеницы сорта Иволга с увеличением уровня азотного питания до 300 мг/кг почвы уменьшалось соотношение массы колоса к массе листьев на 18–39% и массе побега в фазе цветения — на 8–9%. Это свидетельствовало о возрастании массы листовой поверхности. При этом эффективность ее работы снижалась в результате недостаточной освещенности, что ограничивало получение высокого урожая зерна в условиях высокого

обеспечения растений азотом, и изменения массы зерна к массе листьев были недостоверными.

При оптимальном водообеспечении применение молибдена способствовало изменению отдельных показателей донорно-акцепторных отношений в растениях пшеницы. Выявлено увеличение отношения массы колоса к массе листьев в 1.2–1.8 раза, что можно охарактеризовать как улучшение структуры посева. В других вариантах, где применяли молибден для предпосевной обработки семян, не выявлено значительных изменений показателей донорно-акцепторных отношений.

Хорошая согласованность донорно-акцепторных отношений на уровне растения в условиях водного стресса является важным условием формирования урожая на уровне ценоза. Было установлено, что с помощью микроэлементов можно влиять на этот процесс с целью увеличения устойчивости растений и получения стабильных урожаев. Анализ полученных данных показал, что в условиях окислительного стресса, вызванного засухой в критический период роста пшеницы, в вариантах без молибдена с увеличением уровня азотного питания до 300 мг/кг возрастало отношение массы колоса к массе побега почти в 1.3 раза только в опыте, проведенном в вегетационном домике. Другие показатели снижались, что обусловило ухудшение структуры растений пшеницы и определило уменьшение зерновой продуктивности. В опыте, проведенном в фитотронной установке, при увеличении уровня азотного питания с N_2 до N_3 показано снижение всех показателей донорно-акцепторных отношений на 8–13%.

Использование молибдена позволило получить более гармоничную структуру растений по сравнению с вариантами без обработки семян. Было отмечено увеличение отношений массы колоса к массе стебля в фазе цветения и массы зерна к массе листьев. Изменения составили от 4 до 63% в зависимости от уровня азотного питания. Наиболее эффективное действие молибдена выявлено на фоне высокого уровня азотного питания. Это свидетельствовало об улучшении структуры посева и определяло рост урожая растений в данных вариантах, поскольку для высокопродуктивных посевов с хорошей структурой характерно повышение величины массы колоса и массы зерна, приходящееся на единицу массы листьев в фазе цветения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования были изучены защитно-стимулирующие особенности влияния молибдена на фотосинтетическую деятельность и донорно-акцепторные отношения,

складывавшиеся в растениях пшеницы в течение вегетационного периода в зависимости от уровня азотного питания и условий водообеспечения. Проведена оценка вклада отдельных элементов в эффективность работы фотосинтетической поверхности пшеницы в оптимальных условиях водообеспечения и при окислительном стрессе, вызванном краткосрочной почвенной засухой.

Выявлена оптимальная доза молибдена для обработки семян молибденовокислым аммонием, которая оказывала наилучшее влияние на ростовые функции проростков пшеницы и структуру хлорофиллового комплекса в зависимости от уровня азотного питания и водообеспечения растений на ранних этапах развития. В результате было установлено, что применение молибденовокислого аммония для предпосевной обработки семян при оптимальном водообеспечении оказывало положительное действие на содержание хлорофилла в листьях растений, что играло важную роль в регулировании фотосинтетической активности пшеницы. Эффективность молибдена зависела от дозы молибденовокислого аммония и уровня азотного питания. Наилучшая структура хлорофиллового комплекса была получена на фоне высокого обеспечения растений азотом.

Установлено положительное действие молибдена на фотосинтетическую деятельность растений пшеницы и донорно-акцепторные отношения. При этом показано увеличение эффективности работы листовой поверхности, а также улучшение структуры посева при всех уровнях азотного питания.

Выявлено, что применение предпосевной обработки семян молибденом повышает защитно-приспособительную устойчивость пшеницы к водному дефициту, снижая негативное действие окислительного стресса на формирование и активность фотосинтезирующего ассимиляционного аппарата растений. Важным условием получения максимального эффекта при применении молибдена оказалось высокое обеспечение растений азотом. В этих условиях применение молибдена существенно влияло на продолжительность работы ассимиляционной поверхности растений и обусловило усиление оттока ассимилятов в репродуктивные органы, что и определило получение более высокого урожая зерна в этих вариантах по сравнению с контролем. Стабилизация процессов формирования донорно-акцепторных отношений при применении молибдена в условиях засухи позволила растениям создать наилучшую структуру посева и определило увеличение массы колоса и массы зерна, приходящееся на единицу массы листьев в фазе цветения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минеев В.Г., Дебрецени Б., Мазур Т.* Биологическое земледелие и минеральные удобрения. М.: Колос, 1993. 415 с.
2. *Чуянова Г.И.* Зависимость продуктивности кормовых культур от содержания молибдена в почве // *Вестн. ОмскГАУ.* 2016. № 1(21). С. 52–57.
3. *Васютин А.С., Филоненко В.А.* Биологизация земледелия и улучшение экологического состояния сельскохозяйственных угодий // *Защита и карантин растений.* 2013. № 9. С. 15–18.
4. *Лукин С.В., Селюкова С.В.* Агроэкологическая оценка микроэлементного состава растений сои // *Достиж. науки и техники АПК.* 2017. Т. 31. № 6. С. 34–36.
5. *Пейве Я.В.* Биохимия молибдена // *Биологическая роль молибдена.* М.: Наука, 1972. С. 7–24.
6. *Жизневская Г.Я.* Медь, молибден и железо в азотном обмене бобовых растений. М.: Наука, 1972. 335 с.
7. *Школьник М.Я.* Микроэлементы в жизни растений. Л.: Наука, 1974. 324 с.
8. *Петербургский А.В., Антонова З.Г., Николов Б.* Физиологическая роль меди и молибдена в развитии бобовых культур // *Биологическая роль молибдена.* М.: Наука, 1972. С. 40–55.
9. *Журовская В.Я.* Необходимость молибдена для растений и применение его в растениеводстве // *Макро- и микроэлементы в минеральном питании растений.* Рига: Зинатне, 1972. С. 135–152.
10. *Тома С.И.* Микроэлементы как фактор оптимизации питания растений // *Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений.* Киев: Наукова думка, 1984. С. 5–7.
11. *Штефурц А.А., Чернат В.И., Салчева Г.С., Зафиров И.С.* Влияние молибдена на дыхание растений в условиях переменной влажности почвы // *Изв. АН Молдовы. Биол. и хим. науки.* 1991. № 5. С. 6–12.
12. *Коновалов Ю.Б.* Руководство по выращиванию яровой пшеницы сорта Иволга. М.: МСХА, 1997. 35 с.
13. *Волобуева В.Ф., Серегина И.И.* Вегетационный метод исследований (Методика почвенных и агрохимических исследований. Раздел “Агрохимические методы исследований”). М.: РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2010. 116 с.
14. *Кобзаренко В.И., Волобуева В.Ф., Серегина И.И., Ромодина Л.В.* Агрохимические методы исследований. М.: РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. 308 с.
15. *Альтергот В.Ф., Мордкович С.С., Игнатъев Л.А.* Принципы оценки засухо- и жароустойчивости растений // *Методы оценки устойчивости к неблагоприятным условиям среды.* Л.: Колос, 1976. С. 16–17.
16. *Ниловская Н.Т., Остапенко Н.В.* Методические указания по проведению морфофизиологического контроля за состоянием зерновых культур. М.: Наука, 1999. 24 с.
17. *Серегина И.И.* Влияние условий азотного питания, водообеспеченности и применения селена на фотосинтетическую активность растений яровой пшеницы разных сортов // *Агрохимия.* 2011. № 7. С. 17–25.
18. *Третьяков Н.Н., Паничкин Л.А., Кондратьев М.Н.* Практикум по физиологии растений. 4-е изд. перераб. и доп. М.: КолосС, 2003. 288 с.
19. *Серегина И.И.* Цинк, селен и регуляторы роста в агроценозе. Монография. М.: Изд-во Проспект, 2017. 265 с.

Photosynthetic Activity and Donor-Acceptor Relations of Spring Wheat Plants in the Application of Molybdenum-Acid Ammonium in Drought Conditions

I. I. Seregina^{a,*} and N. T. Nilovskaia^b

^a Russian State Agrarian University—Moscow Timiryazev Agricultural Academy
ul. Timiryazevskaya 49, Moscow 127550, Russia

^b Pryanishnikov Research Institute of Agricultural Chemistry
ul. Pryanishnikova 31, Moscow 127550, Russia

*E-mail: seregina.i@inbox.ru

In model experiments with soil culture, the protective-stimulating features of the influence of molybdenum on photosynthetic activity and donor-acceptor relations that develop in wheat plants during the growing season depending on the level of nitrogen nutrition and water supply conditions are studied. The contribution of individual elements to the efficiency of the photosynthetic surface of wheat plants under optimal water supply conditions and under oxidative stress caused by short-term soil drought is estimated.

Key words: spring wheat, molybdenum, pre-sowing treatment, indicators of photosynthetic activity of plants, donor-acceptor relations of plants, chlorophyll content.

УДК 631.816:631.582:633.2:631.445.24(470.31)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В СЕВООБОРОТАХ С РАЗНОЙ ДОЛЕЙ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ЦЕНТРА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИИ

© 2020 г. В. В. Конончук^{1,*}, В. Д. Штырхунов¹, Г. В. Благовещенский¹,
С. М. Тимошенко¹, Т. О. Назарова¹

¹ Федеральний исследовательский центр «Немчиновка»

143026 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6, Россия

*E-mail: vadimkononchuk@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.01.2020 г.

После доработки 14.02.2020 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

На известкованной дерново-подзолистой почве Центрального Нечерноземья с очень высокой обеспеченностью пахотного слоя подвижным фосфором, повышенной — калием, близкой к нейтральной реакцией среды и содержанием гумуса 1.9–2.06% органическая система удобрения (навоз 36 т/га в последствии) обеспечивала в 6-польных зернокармликовых севооборотах с 28- и 50%-ной долей многолетних бобовых трав среднегодовой за 18 лет сбор зерновых единиц (з.е.) на уровне 2.8–3.2 т/га, накопление сырого протеина и обменной энергии — 6.04 и 8.23 ц/га, 42.1 и 54.8 ГДж/га или 80–99% от достигнутого максимума, в расчете на 1 кг з.е. — 218 и 259 г, 15.2 и 17.2 МДж соответственно. При этом содержание гумуса в почве к концу исследования сохранялось на исходном или несколько более высоком уровне. Содержание подвижного фосфора и калия уменьшилось за 18 лет соответственно на одну и две градации обеспеченности (с VI до V и с IV до II), что предполагает дополнительное внесение фосфорных и калийных удобрений дозами, рассчитанными на поддержание содержания P_2O_5 и K_2O в почве в оптимальном диапазоне (IV–V группы обеспеченности по принятым градациям). В целях снижения отрицательных последствий подкисления почвы, среднегодовая за 18 лет скорость которого составила 0.039 и 0.067 ед. pH_{KCl} , обоснована необходимость проведения поддерживающего известкования.

Ключевые слова: Нечерноземье, дерново-подзолистая почва, севооборот, многолетние травы, удобрение, продуктивность, плодородие почвы.

DOI: 10.31857/S0002188120070078

ВВЕДЕНИЕ

В Нечерноземной зоне РФ удобрениям принадлежит решающая роль в формировании урожайности и качества сельскохозяйственных культур. Их внесение не только создает благоприятные условия для продукционного процесса, но и способствует изменению свойств почвы, направленность и интенсивность которого определяется составом культур севооборотов, видом и дозами используемых удобрений.

Учет особенностей воздействия на почву органических и минеральных удобрений как при одностороннем, так и при совместном внесении позволяет разрабатывать динамичные системы удобрения в севооборотах, не только обеспечивающие получение экономически значимых урожаев хорошего качества, но и поддерживающие

плодородие пахотного слоя на заданном уровне в течение длительного времени.

Источником информации об эффективности удобрений и влиянию их на плодородие почвы служат многолетние стационарные полевые опыты. Чем длительнее по времени полевой эксперимент, тем более достоверную информацию об урожайности культур, эффективности удобрений и поведении в почве элементов питания растений он предоставляет. Поэтому сохранение и приумножение длительных полевых опытов с удобрениями на территории Российской Федерации на современном этапе ее экономического развития является приоритетной задачей агрохимической науки.

В последние 30–35 лет применительно к преобладающим почвенным разностям Центрально-

го Нечерноземья опубликован ряд глубоких обобщений по влиянию длительного применения удобрений на урожайность культур, качество получаемой продукции и свойства почвы. Среди них наибольший научный и практический интерес представляют монографии А.Д. Хлыстовского [1], В.И. Никитишена [2], коллективный труд ученых ВИУА по вопросам расширенного воспроизводства плодородия почв в интенсивном земледелии под редакцией Н.З. Милащенко [3], а также ряд публикаций ученых — агрохимиков Верхневолжья [4, 5] и другие. Теоретические вопросы особенностей поведения отдельных элементов питания в зональных почвах в связи с возделыванием культур и внесением удобрений подробно изложены в коллективных монографиях [6–8], а также в трудах известных агрохимиков [9–11]. В них с привлечением обширного экспериментального материала подробно проанализированы особенности и направленность трансформации элементов питания удобрений в почве, их влияние на продуктивность культур и количественные параметры отдельных показателей плодородия при длительном систематическом внесении. Приведены прогнозные расчеты, позволяющие определить направленность изменения плодородия пахотного слоя при различных сценариях применения удобрений в севооборотах зернового и зернокармливого направления.

В то же время актуальность исследований эффективности удобрений и воздействия их на почву и культурный фитоценоз в биологизированных севооборотах с повышенной и высокой долей многолетних трав и зернобобовых культур в Нечерноземной зоне России в современных условиях многократно возрастает по причине низких объемов поставок и применения удобрительных средств и химических мелиорантов.

В связи с вышеизложенным цель работы — выявление доз и сочетаний удобрений в зернокармливых севооборотах с разной насыщенностью многолетними травами, обеспечивающих повышение продуктивности севооборотов и плодородия дерново-подзолистых суглинистых почв.

В задачи исследования входило:

- выявление особенности влияния систем удобрения на продуктивность отдельных культур и севооборотов в зависимости от доли многолетних трав;

- установление характера влияния удобрений на основные показатели плодородия дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при длительном внесении в севооборотах с разной долей многолетних трав;

- предложение производству системы удобрения биологизированных зернокармливых севооборотов, обеспечивающей получение высокой урожайности культур, продуктивности севооборотов и улучшение основных агрохимических параметров плодородия пахотного слоя почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 1992–2010 гг. на опытном поле НИИСХ ЦРНЗ (в настоящее время — ФИЦ “Немчиновка”), расположенном в Одинцовском р-не Московской обл., в 2-х длительных стационарных полевых опытах, заложенных в 2-х закладках каждый, в 3-х ротациях 6-польных зернокармливых севооборотов с насыщением многолетними травами 17–33 и 50%, где в травяных звеньях высевали соответственно клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) и двойную бобовую травосмесь из клевера лугового и люцерны пестрогибридной (*Trifolium pratense* L. + *Medicago sativa* L.).

Почва — дерново-подзолистая среднесуглинистая на моренном суглинке. Перед закладкой опытов пахотный (0–20 см) слой ее характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса — 1.9–2.06%, подвижного фосфора и калия — 255–286 мг/кг и 120–132 мг/кг соответственно, pH_{KCl} 5.9–6.3, H_t — 1.74–1.87 мг-экв/100 г, содержание обменных кальция и магния — 7.6–7.8 и 0.94–1.73 мг-экв/100 г соответственно.

После уборки предшественника (озимых зерновых) почва под опытами была известкована дозой 5.0 т $CaCO_3$ /га и под вспашку зяби внесен навоз в дозе 36 т/га, рассчитанной на весь период исследования. Дозу навоза определяли из расчета минимального годового выхода вследствие существенного сокращения поголовья КРС.

Чередование сельскохозяйственных культур в севообороте с разной долей многолетних трав в годы исследования претерпевало определенные изменения, направленные на снижение отрицательных последствий “почвоутомления”. В основном это касалось севооборота с меньшим насыщением травами (табл. 1).

В процессе исследования использовали сорта озимых и яровых, а также зернобобовых культур селекции ФИЦ “Немчиновка”: ячмень яровой сортов Эльф, Рахат, Нур, овес сортов Скакун, Борец, озимое тритикале сортов Виктор, Гермес, озимую пшеницу сорта Немчиновская 24, горох полевой сортов Немчиновский 817, Флора 2, люпин узколистный сорта Ладный. В травяных звеньях севооборотов высевали сорта многолетних

Таблица 1. Чередование сельскохозяйственных культур в севооборотах с разной долей многолетних трав

Доля многолетних трав в севообороте, %	Ротации севооборота, годы		
	1-я 1992–1998	2-я 1998–2004	3-я 2004–2010
17–33	1. Ячмень 2. Люпин на зерно 3. Овес + клевер 4. Клевер на один год 5. Озимое тритикале 6. Люпин на зерно	1. Ячмень + клевер 2. Клевер 1-го года пользования 3. Клевер 2-го года пользования 4. Озимое тритикале 5. Овес 6. Горох полевой на зерно	1. Ячмень + клевер 2. Клевер 1-го года пользования 3. Клевер 2-го года пользования 4. Озимая пшеница 5. Овес 6. Горох полевой на зерно
50	1. Ячмень + многолетние травы (клевер + люцерна) 2. Клевер + люцерна 1-го года пользования 3. Клевер + люцерна 2-го года пользования 4. Клевер + люцерна 3-го года пользования 5. Озимое тритикале 6. Люпин на зерно	1. Ячмень + многолетние травы (клевер + люцерна) 2. Клевер + люцерна 1-го года пользования 3. Клевер + люцерна 2-го года пользования 4. Клевер + люцерна 3-го года пользования 5. Озимое тритикале 6. Овес	1. Ячмень + многолетние травы (клевер + люцерна) 2. Клевер + люцерна 1-го года пользования 3. Клевер + люцерна 2-го года пользования 4. Клевер + люцерна 3-го года пользования 5. Озимая пшеница 6. Овес

трав селекции ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса: клевер луговой сорта ВИК 7, люцерну пестрогибридную сорта Вега.

В опытах изучали следующие варианты систем удобрения: 1 – без удобрений (контроль), 2 – навоз 36 т/га, 3 – навоз + N30P60K60, 4 – навоз + N60P120K120, 5 – N30P60K60. В севообороте с насыщением травами 17–33% вариант 5 с минеральной системой удобрения введен со 2-й ротации.

Минеральные удобрения в опытах вносили только под зерновые колосовые культуры. Многолетние травы и зернобобовые выращивали при их последствии. Навоз вносили один раз за весь период исследования под первую культуру севооборота с осени после уборки предшественников.

Заметное увеличение среднегодовых доз N- и K-удобрений в 3-й ротации севооборотов было обусловлено увеличением их применения под озимую пшеницу и овес в зерновом звене с N30K60 до N130K160 и N60K90, с N60K120 до N160K180 и N90K120 соответственно. В зерновом звене 3-й ротации севооборотов не вносили фосфорные удобрения по причине достижения высокой и очень высокой обеспеченности пахотного слоя почвы подвижным фосфором уже к концу 2-й ротации. В результате среднегодовые в ротациях дозы удобрений были следующими (табл. 2).

Агрохимические анализы почвы и растений (зерна, соломы) проводили по методикам и ГО-

Стам, принятым в Агрохимической службе в аккредитованной лаборатории массовых анализов института. Содержание сырого протеина в урожае сухой массы трав, зерне колосовых зерновых и зернобобовых культур рассчитывали как произведение величин содержания $N_{\text{общ}}$ и коэффициента 6.25, содержание обменной энергии – по формулам, приведенным в [12]. Общую биологическую активность определяли по интенсивности выделения CO_2 в свежих почвенных образцах, отобранных в течение вегетации последней культуры севооборотов в конце каждой ротации с использованием методики Штатнова [13], активность каталазы – газометрическим методом в модификации Галстяна, активность полифенолоксидазы – по образованию пурпурогаллина из пирогаллола [14].

Повторность в опытах четырехкратная, общая площадь делянки 120–140 м², учетная – от 80 до 100 м².

Агротехника возделывания сельскохозяйственных культур соответствовала зональным рекомендациям, кроме изученных элементов [15]. Результаты учетов после приведения к стандартной влажности и 100%-ной чистоте подвергали дисперсионному анализу по методике [16].

Метеорологические условия вегетационных периодов (апрель–сентябрь) в годы исследования имели существенные отличия от средних многолетних показателей, как по сумме и распре-

Таблица 2. Среднегодовые дозы навоза и минеральных удобрений в севооборотах с различным насыщением многолетними травами (1992–2010 гг.)

Вариант	Навоз, т/га				N				P ₂ O ₅				K ₂ O			
					кг/га											
	1	2	3	сред- нее	1	2	3	сред- нее	1	2	3	сред- нее	1	2	3	сред- нее
Доля многолетних трав в севообороте 17–33%																
Без удобрений	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Навоз, 36 т/га	Последействие			2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Навоз + + N30P60K60				2	15	15	36.7	22.2	30	30	10	23.3	30	30	40	33.3
Навоз + + N60P120K120				2	30	30	51.7	37.2	60	60	20	46.7	60	60	65	61.7
N30P60K60*	–	0	0	0	–	15	36.7	25.8	–	30	10	20	–	30	40	35.0
Доля многолетних трав в севообороте 50%																
Без удобрений	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Навоз, 36 т/га	6	После- действие		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Навоз + + N30P60K60	6			2	10	15	36.7	20.6	20	30	10	20	20	30	40	30
Навоз + + N60P120K120	6			2	20	30	51.7	33.9	40	60	20	40	40	60	65	55
N30P60K60*	0	0	0	0	10	15	36.7	20.6	20	30	10	20	20	30	40	30

*В 1-й ротации – первые 4 варианта.

делению осадков, так и по температурному режиму. Судя по величине интегрального показателя (гидротермического коэффициента) 52.5% вегетационных периодов характеризовалось не вполне благоприятными и 47.5% – относительно благоприятными условиями возделывания сельскохозяйственных культур (ГТК = 0.82–2.21 и 1.23–1.66

соответственно) при среднем многолетнем показателе 1.52 (табл. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На протяжении всего периода исследования в севообороте с меньшим (17–33%) насыщением многолетними травами величину урожайности озимых и яровых зерновых культур определяло использование органо-минеральных систем удобрения. В среднем за 3 ротации максимальная урожайность зерна ячменя, овса, озимого тритикале (или пшеницы), равная соответственно 3.02, 3.86, 5.70 т/га (прибавка 48, 20 и 37% к контролю без удобрений) создавалась внесением доз N30–60P60–120K60–120 на фоне последствия навоза. Для клевера предпочтительнее выглядела минеральная система, где в среднем за 2-ю и 3-ю ротации сбор сухой надземной массы составил 10.1 т/га (прибавка 27%), а при выращивании зернобобовых в лучшую сторону выделялся вариант органической системы удобрения (навоз 36 т/га в последствии), обеспечивший получение зерна люпина и гороха до 3.0 т/га.

В целом наибольший общий сбор зерновых единиц (з.е.) 17.9–18.2 т/га (прибавка 14–16%) формировался в вариантах органо-минеральных

Таблица 3. Гидротермический коэффициент за период активной вегетации сельскохозяйственных культур (апрель–сентябрь) (1992–2010 гг.), по данным АМС “Немчиновка”

Условия увлажнения	Годы	ГТК	Годы	ГТК	%
Острозасушливые, засушливые	1992	0.78	1995	0.82	31.5
	1995	1.04	2002	0.74	
	1997	1.19	2010	1.15	
Избыточно-влажные, влажные	1993	2.11	2004	1.90	21.0
	1998	2.21	2008	1.92	
Нормальные	1994	1.46	2001	1.41	16.0
	1996	1.45			
Среднезасушливые, средневлажные	2000	1.29	2006	1.31	31.5
	2003	1.65	2007	1.23	
	2005	1.66	2009	1.23	

Таблица 4. Продуктивность культур в севообороте с низкой долей многолетних трав в зависимости от удобрения (среднее в 3-х ротациях, 1992–2010 гг.)

Культура севооборота	Урожайность, т/га					Сбор сырого протеина, ц/га					Накопление обменной энергии, ГДж/га				
	Без удобрения	Навоз 36 т/га	Навоз + N30P60K60	Навоз + N60P120K120	N30P60K60	Без удобрения	Навоз 36 т/га	Навоз + N30P60K60	Навоз + N60P120K120	N30P60K60	Без удобрения	Навоз 36 т/га	Навоз + N30P60K60	Навоз + N60P120K120	N30P60K60
Ячмень (ячмень + травы), $HSP_{05} = 0.19-0.30$	2.04	2.22	2.71	3.02	2.72	2.56	2.86	3.43	3.75	2.90	24.0	26.4	32.0	35.7	31.2
Люпин на зерно*, $HSP_{05} = 0.18$	1.79	1.64	1.60	1.39	—	5.00	4.44	4.79	3.94	—	24.3	21.4	21.0	18.2	—
Овес, $HSP_{05} = 0.17-0.30$	3.21	3.29	3.86	3.77	3.82	3.52	3.57	4.17	4.33	4.45	37.3	38.1	44.6	44.1	44.8
Клевер луговой**, $HSP_{05} = 0.23-0.42$	7.90	8.31	8.11	7.24	10.1	12.9	13.5	13.8	11.9	16.9	74.7	79.8	76.1	74.7	96.6
Тритикале озимое***, $HSP_{05} = 0.16-0.37$	4.15	4.50	5.18	5.70	6.06	4.25	4.39	5.64	6.59	7.05	46.7	50.5	60.0	66.9	71.2
Горох на зерно****, $HSP_{05} = 0.13-0.36$	2.51	2.80	2.54	2.63	2.94	6.51	7.50	6.44	6.77	7.20	32.6	36.5	32.8	34.2	38.1
Суммарная продуктивность, т з.е./га	15.7	16.6	17.9	18.2	16.9	34.7	36.2	38.2	37.3	38.5	240	253	267	274	282

*Только в 1-й ротации.

**Во 2-й и 3-й ротациях — 2-х лет пользования.

***В 3-й ротации — озимая пшеница.

****В 1-й ротации — люпин на зерно.

систем удобрения, а величины накопления сырого протеина и обменной энергии при этом составляли 37.3–38.2 ц/га и 267–274 ГДж/га или 6.21–6.41 ц/га и 44.4–45.6 ГДж/га в среднем в год. В варианте с последствием навоза (органическая система удобрения) среднегодовой выход зерновых единиц, сырого протеина и энергии уменьшался до 2.77 т/га, 6.04 ц/га и 42.1 ГДж/га (90–95% от достигнутого максимума). С учетом состояния основных показателей плодородия почвы к концу исследования и полученных величин продуктивности этот вариант следует считать оптимальным для конкретных условий возделывания (табл. 4).

Расчеты показали, что при указанной среднегодовой продуктивности обеспеченность 1 кг з.е. сырым белком и энергией находилась на уровне 218 г и 15.2 МДж и существенно превосходила нормативные требования ГОСТ к концентрированным кормам [12], что позволило с наибольшей отдачей и наиболее экономно их расходовать.

Повышение доли многолетних трав в севообороте до 50% оказывало положительное влияние в первую очередь на общий сбор сухой надземной

массы последних, увеличивая его в среднем с 8.32 т/га до 13.6 т/га или на 60%. Возрастала также урожайность зерна люпина узколистного в 1-й ротации (прибавка 24%) и овса в последующих 2-х ротациях (прибавка 12%). В то же время урожайность озимых культур в целом снижалась на 7% вследствие полегания тритикале.

Как и в предыдущем севообороте, наиболее высокая урожайность культур зерновой группы (яровых и озимых) формировалась в вариантах органо-минеральной системы удобрения. Многолетняя клеверно-люцерновая травосмесь максимальный сбор сухой массы обеспечивала при последствии навоза (органическая система удобрения). В связи с этим общий сбор з.е. достигнутого максимального уровня, равный 23.5–24.0 т/га (3.92–4.00 т/га в год) создавался при использовании органо-минеральных систем удобрения. Эти величины на 31–32% превышали размеры аналогичного показателя в севообороте с меньшей долей трав и на 34–37% — сбор з.е. в контрольном варианте. Следует отметить, что общее накопление сырого протеина и обменной

Таблица 5. Продуктивность культур в севообороте с высокой долей многолетних трав в зависимости от удобрения (среднее в 3-х ротациях, 1992–2010 гг.)

Культура севооборота	Урожайность, т/га					Сбор сырого протеина, ц/га					Накопление обменной энергии, ГДж/га				
	Без удобрения	Навоз 36 т/га	Навоз + N30P60K60	Навоз + N60P120K120	N30P60K60	Без удобрения	Навоз 36 т/га	Навоз + N30P60K60	Навоз + N60P120K120	N30P60K60	Без удобрения	Навоз 36 т/га	Навоз + N30P60K60	Навоз + N60P120K120	N30P60K60
Ячмень + травы, $HCP_{05} = 0.16-0.25$	2.10	2.29	2.80	3.31	3.08	2.50	2.57	3.17	3.97	3.27	24.3	26.7	29.8	39.0	33.5
Многолетние травы за 3 года, $HCP_{05} = 0.34-0.42$	17.2	18.3	17.1	16.7	12.3	30.3	31.2	28.3	27.7	26.9	168	176	163	167.5	157
Озимое тритикале*, $HCP_{05} = 0.26-0.36$	4.02	4.72	4.98	5.13	5.04	4.50	5.20	5.93	5.90	5.33	46.8	55.5	58.9	58.7	53.6
Овес**, $HCP_{05} = 0.26-0.36$	3.85	3.86	4.24	4.03	4.16	4.30	4.30	5.00	4.67	4.76	44.8	45.0	51.0	47.6	48.9
Люпин на зерно, $HCP_{05} = 0.24$	1.80	1.96	1.82	2.28	2.03	5.60	6.10	6.00	7.30	6.50	23.4	26.1	24.0	30.0	26.8
Суммарная продуктивность, т з.е./га	17.5	19.1	23.5	24.0	21.5	47.2	49.4	48.4	49.5	46.8	307	329	327	343	320

*В 3-й ротации — озимая пшеница.

**В 1-й ротации — люпин на зерно.

энергии в товарной части урожая возделываемых культур при этом также характеризовались максимальными величинами: 48.4–49.5 ц/га и 326–343 га, что было больше контроля соответственно на 2.5–5.0 и 6–12%. Органическая система удобрения по сбору з.е. уступала органо-минеральным системам примерно на 20%, однако по накоплению протеина и энергии находилась на уровне последних, обеспечивая показатели, равные 96–99% от достигнутого максимума (табл. 5). Минеральная система удобрения по продуктивности занимала промежуточное положение, несколько уступая вариантам органо-минеральных систем. Учитывая меньшую затратность органической системы удобрения и достаточно высокий уровень сбора протеина и энергии в товарной продукции, она также может быть принята в качестве оптимальной в данном севообороте. В этом варианте на каждый кг з.е. приходилось 259 г сырого протеина и 17.2 МДж обменной энергии, что также заметно превышало рекомендованные нормативы.

Роль многолетних трав в формировании протеиновой и энергетической составляющих продуктивности в изученных севооборотах находилась в соответствии с их долей и в варианте орга-

нической системы при меньшей насыщенности травами составляла соответственно 37 и 32%, увеличиваясь до 63 и 57% в севообороте с большей долей трав (табл. 4, 5).

Следовательно, в севооборотах с 28- и 50%-ным насыщением бобовыми травами среднегодовая продуктивность порядка 2.8–3.2 т з.е./га в среднем за 18-летний период исследования могла быть получена за счет последствий подстилочного навоза КРС 36 т/га. При этом обеспеченность 1 кг з.е. сырым протеином и энергией составляла соответственно 218 и 259 г, 15.2 и 17.2 МДж, что было намного больше известных нормативов, предусмотренных существующими Государственными стандартами и стандартами организации.

Для повышения надежности заключения об оптимальных системах удобрения в изученных севооборотах были привлечены полученные в этих же опытах результаты воздействия длительного применения удобрений на основные агрохимические и отдельные биологические показатели плодородия пахотного слоя почвы. Установлено, что известкование дозой 5.0 т $\text{CaCO}_3/\text{га}$, проведенное в севооборотах перед закладкой опытов, поддерживало величины pH_{KCl} в слое 0–20 см

Таблица 6. Изменение физико-химических свойств дерново-подзолистой почвы в зависимости от доли многолетних трав в севооборотах и применения удобрения (слой 0–20 см почвы)

Доля многолетних трав в сево- обороте, %	Вариант системы удобрения	рН _{KCl} , ед.			<i>H</i> _Г			Ca ²⁺			Mg ²⁺		
					мг-экв/100 г почвы								
		Ротация											
		1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я
28 (17—33)	Исходное состояние	5.9			1.87			7.60			1.73		
	1. Без удобрений	6.4	5.1	5.3	1.72	3.33	2.93	6.8	6.6	6.0	1.75	0.97	1.20
	2. Навоз 36 т/га	6.4	5.1	5.2	1.70	3.44	3.00	7.0	6.2	6.4	1.63	0.85	0.99
	3. Навоз + N30P60K60	6.4	5.3	5.3	1.66	2.90	2.73	7.4	6.8	6.4	1.25	1.24	0.99
	4. Навоз + N60P120K120	6.0	5.7	5.5	1.64	2.34	2.74	7.4	7.6	6.5	1.32	1.53	0.92
	5. N30P60K60	—	5.6	5.1	—	3.24	3.84	—	7.6	6.0	—	0.97	0.97
50	Исходное состояние	6.3				1.74		7.80			0.94		
	1. Без удобрений	6.2	5.38	5.0	1.74	1.94	3.23	9.8	9.2	6.4	0.60	1.00	0.80
	2. Навоз 36 т/га	6.5	6.0	5.1	1.44	2.46	3.16	9.4	8.7	8.4	0.90	0.90	0.80
	3. Навоз + N30P60K60	6.3	6.0	5.2	1.70	2.26	2.63	9.2	9.1	9.4	0.80	1.10	0.70
	4. Навоз + N60P120K120	6.0	5.8	5.5	1.85	2.58	2.86	9.2	9.4	9.0	0.90	0.80	0.50
	5. N30P60K60	6.3	5.4	5.0	1.44	2.49	2.25	9.2	5.5	6.2	0.80	0.80	0.60

почвы в вариантах удобрения в пределах нейтральной или близкой к нейтральной реакции среды в севообороте с меньшей долей многолетних трав только в течение 1-й ротации, а при более высоком насыщении травами — в течение первых 2-х ротаций. В дальнейшем отмечали выраженное подкисление почвы во всех вариантах систем удобрения, включая контроль. Оно характеризовалось не только снижением pH_{KCl} на одну градацию, но и ростом гидролитической кислотности, уменьшением содержания обменных кальция и магния. Отмеченная тенденция к изменению физико-химических свойств почвы под влиянием возделываемых культур и примененных удобрений, с одной стороны, объясняется усилением нитрификации под влиянием азотных минеральных удобрений в составе NPK и навоза, с другой стороны — проявлением подзолообразовательного процесса, которых имеет непрерывный характер, на что справедливо указывал А.Д. Хлыстовский [1]. При этом наибольшую скорость снижения pH_{KCl} на 0.18–0.21 ед. в год отмечали в течение 2-й ротации севооборота с меньшей долей многолетних трав в вариантах органической и органо-минеральной (вариант 3) систем удобрения, а также в контроле без удобрений. Изменение величин гидролитической кислотности в почве во времени в этом севообороте имело аналогичную направленность (табл. 6).

В севообороте с высоким насыщением многолетними бобовыми травами повышение обменной и гидролитической кислотности почвы происхо-

дило медленнее. Скорость подкисления (судя по величине pH_{KCl}) в зависимости от вариантов возрас- тала от 0.03–0.07 ед. в течение 2-й ротации до 0.13–0.15 ед. в среднем в год в 3-й ротации без чет- кой связи с дозами и сочетанием удобрений.

В обоих севооборотах к концу 18-го года иссле- дования величины гидролитической кислотности почвы в зависимости от вариантов удобрения ва- рыировали в диапазоне от 2.25–2.73 до 3.00–3.84 мг-экв/100 г и превышали исходный уровень на 0.38–0.86 и 1.26–2.10 мг-экв/100 г (на 20–46 и 72–120%) соответственно. Однако обменного алюминия в почве при этом не было обнаружено. Эти показатели были существенно меньше кри- тических величин и не оказывали отрицательного влияния на урожайность культур (табл. 4–6).

Характер динамики содержания обменных ос- нований в почве во времени при однократном из- вестковании определяла заметная роль травяного звена и видового состава возделываемых много- летних трав. Наличие 1-го–2-х полей клевера лу- гового в севообороте с 17–33%-ным насыщением травами не способствовало сохранению содержа- ния обменных Ca и Mg на исходном уровне. К концу 3-й ротации их содержание уменьшилось с 7.6 и 1.73 до 6.0–6.5 и 0.92–1.20 мг-экв/100 г или на 21–14 и 47–31% соответственно за счет выщела- чивания за пределы изученного слоя почвы и по- требления растениями на формирование урожая.

При более высоком 50%-ном насыщении се- вооборота многолетними травами и возделыва-

Таблица 7. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в зависимости от доли многолетних трав в севообороте и применения удобрений

Доля многолетних трав, %	Вариант системы удобрения	Гумус, %			P ₂ O ₅ , мг/кг			K ₂ O, мг/кг		
		Ротация								
		1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я
28	Исходное состояние	1.90			255			120		
	1. Без удобрений	2.23	2.01	2.00	232	176	194	122	78	72
	2. Навоз 36 т/га	2.26	2.21	1.98	226	191	219	128	77	81
	3. Навоз + N30P60K60	2.08	2.02	1.74	246	236	165	130	100	92
	4. Навоз + N60P120K120	2.08	2.17	1.80	475	320	156	206	167	163
	5. N30P60K60	—	2.15	1.83	—	202	156	—	90	96
50	Исходное состояние	2.06			286			132		
	1. Без удобрений	2.14	2.19	1.79	243	288	183	140	114	88
	2. Навоз 36 т/га	2.28	2.19	2.05	250	244	178	132	86	79
	3. Навоз + N30P60K60	2.24	2.10	1.85	240	282	160	144	89	131
	4. Навоз + N60P120K120	2.10	2.17	1.93	251	299	212	144	100	136
	5. N30P60K60	2.24	2.18	1.98	200	254	170	120	80	119

нии в травяном звене смеси клевера и люцерны в течение 3-х лет удавалось удерживать содержание обменного кальция в почве в пределах 8.7–9.8 мг-экв/100 г или на 12–26% больше исходного уровня, а также поддерживать невысокий темп снижения содержания обменного магния, концентрация которого в годы исследования в зависимости от вариантов варьировала в диапазоне 0.5–0.9 мг-экв/100 г или была меньше исходного на 0.04–0.4 мг-экв/100 г (на 4–43%) (табл. 6). Отмеченные особенности многолетней динамики содержания обменных оснований в изученном севообороте могли быть обусловлены более выраженной мобилизацией Ca и Mg из необменных форм за счет корневых экссудатов и биологическим переносом их из нижней части корнеобитаемого слоя вверх доминирующей в травостое люцерной, обладающей более мощной и глубже проникающей в сравнении с клевером корневой системой.

Таким образом, в вариантах систем удобрения, обеспечивших продуктивность севооборотов максимального или близкого к нему уровня, отмечена тенденция к ухудшению кислотно-основных свойств пахотного слоя почвы, проявившаяся в снижении показателей pH_{KCl} на одну градацию: от близкой к нейтральной к нижней границе слабокислого интервала, а также в увеличении показателя гидролитической кислотности со среднегодовой за 18 лет скоростью 0.048–0.086 мг-экв/100 г. Это, тем не менее, не приводило к уменьшению урожайности культур и продуктивности севооборотов. Снижалась также концен-

трация обменных оснований, причем наиболее заметно в севообороте с меньшей долей многолетних трав, что свидетельствовало о необходимости проведения поддерживающего известкования в конце каждой ротации севооборотов.

Независимо от насыщения севооборотов многолетними травами, в течение первых 2-х ротаций отмечали хорошо выраженную положительную динамику содержания гумуса в почве во всех вариантах с удобрениями, включая контроль. К концу 2-й ротации севооборотов с 17–33- и 50%-ной долей трав содержание гумуса в почве в вариантах удобрения увеличилась с 1.9 и 2.06% в исходном состоянии до 2.01–2.21 и 2.10–2.19% или на 0.11–0.31 и 0.04–0.13% соответственно. Однако к концу 3-й ротации, очевидно вследствие существенного роста доз азотных и калийных удобрений, обеспечивших повышение урожайности культур зернового звена севооборотов, с одной стороны, и увеличение темпов нитрификации — с другой, наметилась тенденция к снижению гумусированности пахотного слоя. При этом в вариантах органо-минеральной системы удобрения содержание гумуса в почве в севообороте с меньшей долей трав было меньше исходного уровня на 1.10–0.16% и было равно 1.74–1.80%. В вариантах органической системы и в неудобренном контроле оно все же превышало последний показатель на 0.10–0.12% (табл. 7).

В севообороте с 50%-ной долей многолетних трав в этот период содержание гумуса в почве на исходном уровне поддерживалось только в вари-

анте органической системы удобрения. В остальных вариантах отмечено уменьшение его содержания до 1.79–1.98% или на 0.27–0.08% от исходного.

Следовательно, при максимальной продуктивности изученных севооборотов, равной 3.0–4.0 т з.е./га в год, обеспечившие ее органо-минеральные системы удобрения не способствовали поддержанию содержания гумуса в почве в пределах исходных показателей или его увеличению. При их использовании необходимо проведение дополнительных мероприятий по повышению объемов поступления органического вещества в пахотный слой, например, посев пожнивных сидератов семейства капустных в зерновых звеньях севооборотов [17]. Этого не требуется при использовании органической системы удобрения, которая обеспечила формирование 80–99% продуктивности севооборотов от достигнутого максимума и способствовала, как минимум, сохранению содержания гумуса в почве на исходном или несколько более высоком уровне.

Отмеченные особенности многолетней динамики содержания гумуса в почве в севооборотах с 28- и 50%-ной долей многолетних трав, представленных соответственно клевером луговым 1–2-х лет пользования и клеверно-люцерновой травосмесью 3-х лет пользования в изученных вариантах систем удобрения, как правило, находились в соответствии с изменениями общей биологической активности и активности почвенных ферментов, отражающих процессы минерализации и новообразования свежего органического вещества.

При этом биологическая активность почвы, определяемая по интенсивности выделения CO_2 , в сравнении с контролем увеличилась в среднем за 3 ротации севооборотов на 8–13 и 10–16% соответственно. Активность каталазы, характеризующей интенсивность окислительных процессов в слое 0–20 см почвы, к концу 1-й ротации севооборота с 28%-ной долей многолетних трав снижалась на 26–48%, а во 2-й ротации отмечали увеличение на 13–16% активности полифенолоксидазы, ответственной за новообразование гумусовых соединений. При более высоком насыщении севооборота травами степень активности этого фермента в конце 2-й ротации свидетельствовала о тенденции к усилению минерализационных процессов, которые, очевидно, преобладали в почве и во 2-й половине 3-й ротации, за исключением варианта органической системы удобрения (табл. 8).

При очень высокой исходной обеспеченности изученной почвы подвижным фосфором (VI группа) многолетняя динамика его содержания во всех вариантах обоих севооборотов, включая

контроль, заключалась в постепенном ее снижении от 1-й ротации к 3-й вследствие потребления растениями элемента на формирование урожая и частичной его иммобилизации почвенным поглощающим комплексом в формах, не извлекаемых стандартной вытяжкой.

Отмеченные изменения происходили главным образом в пределах V группы (высокая) по принятым градациям. Например, если в конце 1-й ротации севооборотов содержание P_2O_5 в почве изменялось в основном в пределах ее верхней границы (226–251 мг/кг), то к концу 3-й ротации оно уменьшилось до 156–219 мг/кг, все же оставаясь у нижней границы указанного диапазона. В оптимальном по продуктивности варианте органической системы удобрения содержание подвижного фосфора в почве составляло в этот период 180–220 мг/кг, что, по мнению [11], вполне способно обеспечить наиболее высокую урожайность сельскохозяйственных культур в условиях достаточного увлажнения, азотного и калийного питания (табл. 7).

Содержание подвижного калия в почве контрольного варианта в конце 1-й ротации севооборотов находилось в пределах повышенной обеспеченности и составляло 122 и 140 мг/кг, что было на 2 и 8 мг/кг больше исходного содержания. Во 2-й ротации севооборотов вследствие недостаточной влагообеспеченности в течение большинства вегетационных периодов (4 из 6), несмотря на заметное уменьшение продуктивности культур и соответственно — выноса K_2O урожаями, содержание подвижного калия в почве контроля снижалось до среднего и низкого уровней обеспеченности. Аналогичная динамика содержания подвижного калия в почве без удобрений сохранялась и в течение 3-й ротации, а в конце ее содержание подвижного калия составило 72 и 88 мг/кг соответственно. В оптимальном по продуктивности варианте органической системы, а также в варианте минеральной системы удобрения отмечали практически те же тенденции, наиболее выраженные в севообороте с меньшей долей многолетних трав.

В связи с вышеизложенными особенностями поведения подвижного калия в почве под влиянием внесенных удобрений и возделываемых культур, в последующем необходимо увеличить дозы соответствующих удобрений для достижения содержания K_2O оптимального уровня, характеризующегося повышенной обеспеченностью (IV группа) (табл. 7).

Таблица 8. Биологическая активность почвы в зависимости от удобрений в севооборотах с разным насыщением многолетними травами (1992–2010 гг., слой 0–20 см почвы)

Доля многолет- них трав, %	Вариант систем удобрения	Общая биологическая активность почвы, (выделение CO ₂ , мг/г/ч)			Активность ферментов (полифенолоксидаза), 1.4 <i>n</i> бензохинон, мг/г		
		Ротации севооборота					
		1-я	2-я	3-я	1-я*	2-я	3-я
17–33	1. Без удобрений	110	107	100	1.12	16.5	26.1
	2. Навоз 36 т/га	122	110	117	1.04	19.1	30.6
	3. Навоз + N30P60K60	117	126	118	0.69	18.6	20.4
	4. Навоз + N60P120K120	102	121	119	0.83	16.8	22.0
	5. N30P60K60	108	100	110	0.89	19.1	21.3
50	1. Без удобрений	100	128	110	—	25.0	22.0
	2. Навоз 36 т/га	124	138	119	—	21.8	33.5
	3. Навоз + N30P60K60	117	138	119	—	22.4	25.6
	4. Навоз + N60P120K120	117	135	109	—	20.2	28.2
	5. N30P60K60	112	122	92	—	20.6	20.6

*Активность каталазы, мл O_2 /г/мин.

ВЫВОДЫ

1. На окультуренной, известкованной дерново-подзолистой почве Центрального Нечерноземья с высокой обеспеченностью подвижным фосфором, повышенной — калием и близкой к нейтральной реакцией почвенной среды, ни одна из изученных систем удобрения без дополнительного известкования не способствовала поддержанию кислотно-основных свойств пахотного слоя в течение 3-х ротаций 6-польных зернокармликовых севооборотов с 28- и 50%-ным насыщением многолетними травами, на благоприятном для сельскохозяйственных культур уровне.

2. Среднегодовая за 18 лет скорость снижения величины $\text{pH}_{\text{КСИ}}$ и повышения гидролитической кислотности в севообороте с 28%-ной долей многолетних трав в зависимости от вариантов удобрения составляла 0.022–0.044 ед. и 0.048–0.109 мг-экв/100 г, в севообороте с 50%-ным насыщением — 0.44–0.072 ед. и 0.028–0.083 мг-экв/100 г соответственно. Уменьшение содержания обменных кальция и магния от начала к концу исследования, наиболее выраженное в севообороте с меньшей долей трав, составило соответственно 1.1–1.6 и 0.53–0.81 мг-экв/100 г в среднем в год.

3. Из всех вариантов удобрения только органическая система (последствие навоза 36 т/га) поддерживала содержание гумуса в почве обоих севооборотов на уровне, близком к исходному при среднегодовом сборе зерновых единиц (з.е.) 2.77 и 3.18 т/га, сырого протеина — 6.04 и 8.23 ц/га,

накопление обменной энергии — 42.1 и 54.8 ГДж/га соответственно в севооборотах или 90–95 и 79–99% от достигнутых максимальных показателей. Эту систему удобрения следует считать оптимальной в конкретных условиях возделывания.

4. Максимальный сбор зерновых единиц, сырого протеина и энергии, равных в севообороте с меньшей долей трав 2.99 т/га, 6.37 ц/га и 44.4 ГДж/га, в севообороте с высокой долей — 4.03 т/га, 8.26 ц/га и 54.4 ГДж/га или на 10–14 и 5–38% больше неудобренного контроля, создавался соответственно среднегодовыми дозами N22.2P23.3K33.3 и N33.9P40K55 на фоне последствие навоза 36 т/га, внесенного в начале 1-й ротации.

5. При продуктивности севооборотов, близкой к достигнутым максимумам в варианте органической системы удобрения, для поддержания кислотно-основных свойств почвы и содержания подвижного фосфора и калия в пахотном слое в благоприятном для сельскохозяйственных культур диапазоне, необходимо проведение известкования в каждой ротации севооборотов дозами, рассчитанными по гидролитической кислотности и внесение фосфорно-калийных удобрений под зерновые культуры в дозах, способствующих повышению содержания P_2O_5 и K_2O до оптимального уровня, соответствующего IV–V группам обеспеченности по принятым градациям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хлыстовский А.Д. Плодородие почвы при длительном применении удобрений и извести. М.: Наука, 1992. 192 с.
2. Никитишен В.И. Агрохимические основы эффективного применения удобрений в интенсивном земледелии. М.: Наука, 1984. 136 с.
3. Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии Нечерноземья / Под ред. Милащенко Н.З. М., 1993. 864 с.
4. Лукин С.М. Ресурсы органического вещества и пути его регулирования в пахотных почвах Нечерноземной зоны // Ресурсы органического вещества и пути его регулирования. Мат-лы научн.-практ. конф. 26 февраля 2004 г. Киров, 2004. С. 27–31.
5. Окорков В.В., Фенова О.А., Окоркова Л.А. Итоги агрохимических исследований на серых лесных почвах Владимирского Ополя // Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации (к 70-летию Геосети). М., 2011. С. 176–202.
6. Завалин А.А., Соколов О.А. Потоки азота в агроэкосистеме: от идей Д.Н. Прянишникова до наших дней. М.: ВНИИА, 2016. 591 с.
7. Агробιοгеохимический цикл фосфора / Под ред. Иванова А.Л. М., 2012. 512 с.
8. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М., 2019. 324 с.
9. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 185 с.
10. Кирпичников Н.А., Адрианов С.Н. Действие и последствие фосфорных удобрений на дерново-подзолистой почве при различной степени известкования // Агрохимия. 2007. № 10. С. 1–11.
11. Прудников В.А. Кислотный, фосфорный и калийный режимы дерново-подзолистой почвы. Минск, 2015. 152 с.
12. Сычев В.Г., Лепешкин В.В. Методические указания по оценке качества и питательности новых видов кормов. М.: ВНИИА, 2009. 64 с.
13. Штатнов В.И. К методике определения биологической активности почвы // Докл. ВАСХНИЛ. 1952. № 6. С. 27–33.
14. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Звягинцева Д.Г. М.: Изд-во МГУ, 1980. 223 с.
15. Федеральный регистр технологий производства продукции растениеводства. Система технологий. М.: Информагротех, 2000. 515 с.
16. Доспехов Б.А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка данных. М., 1985. 351 с.
17. Лошаков В.Г. Зеленые удобрения в земледелии России. М.: ВНИИА, 2015. 300 с.

Efficiency and Optimization of Fertilizer Systems in Crops Rotations with Different Performance of Perennial Grasses on the Sod-Podzolic Soil of the Center of the Non-Black-Zone of Russia

V. V. Kononchuk^{a, #}, V. D. Shtyrkhunov^a, G. V. Blagoveshchensky^a,
S. M. Tymoshenko^a, and T. O. Nazarova^a

^a Federal Research Center “Nemchinovka”

ul. Agrochimikov 6, Moscow Region, Odintsovo District, r.p. Novoivanovsky 143026, Russia

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

On the calcareous sod-podzolic soil of the Central Non-chernozem soil with a very high supply of arable layer of mobile phosphorus, increased potassium, close to a neutral reaction of the medium and a humus content of 1.9–2.06% organic fertilizer system (manure 36 t/ha aftereffect) ensured the average annual over 18 years of collecting grain units in 6-field grain-crop crop rotation with 28% and 50% of perennial leguminous grasses at the level of 2.8–3.2 t/ha, the accumulation of crude protein and metabolic energy 6.04 and 8.23 c/ha, 42.1 and 54.8 GJ/ha or 80–99% of the achieved maximum value, and based on 1 kg grain unit (g.u.) – 218 and 259 g, 15.2–17.2 MJ, respectively. In this case, the humus content in the soil remained at the initial or somewhat higher level by the end of the study. The content of mobile phosphorus and potassium decreased over 18 years by one or two gradations of security (from VI to V and from IV to II), which suggests an additional application of phosphorus and potassium fertilizers in doses calculated to maintain the concentration of P₂O₅ and K₂O in the soil in the optimal range (IV–V security groups according to accepted gradations). In order to reduce the negative effects of acidification of the soil, the average annual rate for 18 years of which was 0/039 and 0/067 units. pH_{KCl} substantiates the need for supporting liming.

Key words: Non-chernozem, sod-podzolic soil, crop rotation, perennial grasses, fertilizer, productivity, fertility.

ДЕЙСТВИЕ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ ВЕРМИКОМПОСТА НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ, УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

© 2020 г. М. С. Бутенко^{1,*}, О. А. Ульянова¹, А. Н. Халипский¹, С. В. Хижняк¹

¹ Красноярский государственный аграрный университет
660049 Красноярск, просп. Мира, 90, Россия

*E-mail: mbs.93@mail.ru

Поступила в редакцию 23.10.2019 г.

После доработки 30.12.2019 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

В полевом мелкоделяночном опыте (2016–2018 гг.) исследовали действие вермикомпоста на агрохимические свойства агрочернозема глинисто-иллювиального Красноярской лесостепи, урожайность и качество клубней картофеля. Установлено, что внесение в почву вермикомпоста 5 т/га способствовало максимальному формированию урожайности картофеля. Высокие связи величины урожайности картофеля выявили с количеством обменного калия, трудногидролизуемого азота и содержанием гумуса в почве. Полученные результаты позволили разработать модель урожайности картофеля сорта Арамис. Применение вермикомпоста в агрочернозем не ухудшило качественных показателей клубней картофеля.

Ключевые слова: вермикомпост, агрочернозем, агрохимические свойства почвы, урожайность, качество клубней картофеля, модель урожайности.

DOI: 10.31857/S0002188120070042

ВВЕДЕНИЕ

Утилизация органических отходов, которых ежегодно образуется в России ≈ 3.5 млрд т, является одной из важных проблем современной науки и практики. Общая площадь свалок в стране неуклонно растет и уже превысила 2.5 тыс. км². Красноярский край в этой связи — не исключение: ежегодные объемы накопления опилок в регионе достигают 500 000 т, птичьего помета — $\approx 346 000$ т. Загрязнение ими приводит к ухудшению экологического состояния почв. В то же время опилки характеризуются высоким содержанием органического вещества (95%), но низким — элементов минерального питания (N — 0.18, P₂O₅ — 0.01, K₂O — 0.02%), слабокислой реакцией среды (pH_{H₂O} 5.5). Птичий помет, наоборот, обогащен элементами минерального питания (N — 2.90, P₂O₅ — 2.94, K₂O — 1.08%), pH_{H₂O} 8.3. Высокие объемы накопления этих отходов и взаимодополняемость их химического состава определяют возможность их использования в качестве субстрата для переработки методом вермикюльтуры, позволяющей утилизировать органические отходы с получением вермикомпоста, увеличивающе-

го плодородие почв, урожайность культур и качество выращиваемой продукции. Почвы Красноярской лесостепи имеют отрицательный баланс гумуса, макро- и микроэлементов, поэтому внесение вермикомпоста представляется важным направлением увеличения их плодородия. Однако многие аспекты рационального применения вермикомпоста под картофель в регионе недостаточно изучены. Поэтому цель работы — оценка действия возрастающих доз вермикомпоста на плодородие агрочернозема, урожайность и качество клубней картофеля.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Учебно-научный комплекс "Борский" Красноярского ГАУ, где в 2016–2018 гг. проводили полевые исследования, расположен в Сухобузимском р-не Красноярского края (56°N, 92°E). На этой территории выпадает в среднем 350–450 мм осадков в год. Среднегодовая температура воздуха изменяется от 0.5 до 1.3°C, иногда понижаясь до –2°C. Сумма активных температур составляет 1550–1800°C, почва промерзает на глубину 1.5–3.0 м. Период биологической активности варьирует от 90 до 115 сут, климат — резко

континентальный. Гидротермические условия лет исследования складывались по-разному. Сумма осадков за вегетационный период (май–август) по годам варьировала от 94 до 208 мм (среднегодовое значение – 207 мм). По условиям влагообеспеченности и температурному режиму вегетационные периоды 2016 и 2018 гг. соответствовали недостаточному увлажнению ($ГТК = 0.5–0.8$) и резко отличались от многолетних показателей более высокими показателями температуры в июне и июле и низкими показателями количества осадков в июне и августе. Вегетационный период 2017 г. характеризовался оптимальным увлажнением ($ГТК = 1.1$).

В полевых опытах апробировали вермикомпост (**ВК**), для получения которого использовали крупнотоннажные отходы деревообрабатывающей промышленности (опилки) и сельского хозяйства (птичий помет). Оба компонента смешивали в соотношении 1 : 1 и предварительно компостировали в течение 3-х нед. В качестве наполнителя-структурообразователя использовали до 25% почвы, перемешивали все компоненты и заселяли червями, предварительно проверив эту смесь на токсичность. Вермикомпостирование происходило в течение 3-х мес. Полученный вермикомпост содержал 20.3% органического вещества (ГОСТ 27980-88), 1.3% общего азота (ГОСТ 26715-85), 2.9% общего фосфора (ГОСТ 26717-85), 0.98% калия (ГОСТ 26718-85), 330 мг N-NH₄/кг (ГОСТ 26716-85), 902 мг N-NO₃/кг, подвижного фосфора – 23000 мг/кг, обменного калия – 2950 мг/кг, имел рН_{H₂O} 7.1 (ГОСТ 27979-88).

Действие вермикомпоста на агрохимические свойства почвы и урожайность картофеля исследовали в полевом мелкоделяночном опыте по следующей схеме, варианты: 1 – контроль (без удобрений), 2 – ВК 3 т/га, 3 – ВК 5 т/га, 4 – ВК 7 т/га. Повторность опыта четырехкратная, расположение делянок последовательное. Площадь опытной делянки – 10 м². Вермикомпост вносили в почву весной вручную перед посадкой картофеля. В опытах использовали среднеспелый сорт картофеля Арамис категории супер-суперэлиты, созданный методом ступенчатой гибридизации с привлечением в скрещивания дикого вида картофеля *Solanum stoloniferum*.

Почва опытного участка – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный. Перед закладкой опыта содержание гумуса в почве составляло 7.6%, обеспеченность подвижным фосфором (281 мг/кг) и обменным калием (230 мг/кг) – высокая (V класс). Последнее характерно для почв Красноярского края и является следствием обо-

гашенности калием материнских пород тяжелого гранулометрического состава.

Уборку картофеля проводили вручную с поделяночным взвешиванием клубней в первой декаде сентября. Почвенные образцы отбирали из пахотного слоя в динамике (май–июнь–июль–август), в которых определяли содержание гумуса по методу Тюрина [1], рН_{H₂O} – потенциометрическим методом, аммонийный азот – с реактивом Несслера [1], количество нитратного азота – дисульфодифениловым методом в модификации Иодко–Шаркова [2], легко- и трудногидролизуемый азот – методом Корнфилда [3], количество подвижных форм фосфора и калия – методом Чирикова в лаборатории НИИЦ Красноярского ГАУ. Оценку потребительских качеств картофеля (внешний вид клубня, цвет и равномерность окраски мякоти, развариваемость, вкус, потемнение мякоти сырых и сваренных клубней) проводили по методике Ермольева–Задиной [4]. Полученные результаты обрабатывали статистически методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов, с использованием программных пакетов “Excel” и “Statistica” [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание гумуса служит объективным диагностическим показателем потенциального плодородия почв [6]. В 2016 г. в почве контрольного варианта содержалось минимальное количество гумуса (6.88%), максимальное было равно 8.43, среднее – 7.58%. Агрочернозем, согласно градициям [7], оценивали как сильно гумусированный (табл. 1). Следует отметить, что коэффициент вариации был очень низким. При внесении в почву ВК 3 т/га в 2016 г. и в 2018 г., а в 2017 г. при применении всех исследованных доз удобрения отмечена тенденция к увеличению количества гумуса.

Содержание трудногидролизуемой (N_{тг}) формы азота в агрочерноземе в контрольном варианте за 3-летний период исследования варьировало в пределах 246–332 мг/кг (табл. 2). В мае 2016 г. количество N_{тг} достоверно возрастало к контролю при внесении ВК 3 т/га, в августе – при применении ВК 5 т/га. В другие сроки в удобренных ВК вариантах отмечали лишь тенденцию к увеличению этого показателя. В 2017 г. в июне достоверное увеличение содержания трудногидролизуемого азота к контролю наблюдали при внесении ВК 3 и 5 т/га. Следует отметить, что в 2018 г. статистически значимых отличий содержания трудногидролизуемого азота в вариантах не выявили.

Таблица 1. Статистические показатели содержания гумуса в агрочерноземе под действием возрастающих доз вермикомпоста (ВК)

Вариант	2016 г.			2017 г.			2018 г.		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. Контроль без удобрения	6.88–8.43 7.58	0.39	10	6.00–6.41 6.21	0.09	3	5.68–6.91 6.08	0.28	9
2. ВК 3 т/га	7.18–8.68 8.03	0.34	8	5.98–6.72 6.25	0.16	5	5.63–6.93 6.12	0.29	9
3. ВК 5 т/га	5.43–8.55 7.32	0.68	18	6.26–6.59 6.38	0.07	2	5.51–6.65 6.01	0.25	8
4. ВК 7 т/га	6.58–8.28 7.42	0.40	11	6.39–6.61 6.51	0.05	2	5.58–6.44 5.94	0.19	6
НСР ₀₅	0.87	—	—	0.63	—	—	0.52	—	—

Примечание. В графе 1 над чертой — диапазон величин показателя, под чертой — средняя величина показателя, 2 — S_x (ошибка среднего), 3 — C_v (коэффициент вариации).

Таблица 2. Влияние возрастающих доз вермикомпоста (ВК) на содержание органических форм азота в агрочерноземе, мг/кг

Вариант	N _{лг}				N _{тг}			
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
	$\bar{X} \pm S_x$				$\bar{X} \pm S_x$			
2016 г.								
1. Контроль без удобрения	194 ± 9	203 ± 12	207 ± 4	203 ± 5	333 ± 21	334 ± 18	324 ± 16	315 ± 16
2. ВК 3 т/га	221 ± 9	217 ± 3	221 ± 9	214 ± 6	355 ± 8	340 ± 10	338 ± 6	325 ± 10
3. ВК 5 т/га	207 ± 7	216 ± 8	217 ± 8	215 ± 12	340 ± 9	334 ± 15	343 ± 12	348 ± 16
4. ВК 7 т/га	205 ± 7	214 ± 12	214 ± 11	201 ± 6	321 ± 13	327 ± 16	346 ± 26	312 ± 13
НСР ₀₅	12	14	13	12	21	23	26	21.5
2017 г.								
1. Контроль без удобрения	182 ± 8	142 ± 14	152 ± 17	142 ± 12	247 ± 22	213 ± 9	214 ± 11	247 ± 20
2. ВК 3 т/га	163 ± 8	154 ± 10	154 ± 13	142 ± 8	233 ± 30	235 ± 11	229 ± 18	240 ± 18
3. ВК 5 т/га	177 ± 11	145 ± 12	154 ± 11	140 ± 10	256 ± 26	252 ± 8	226 ± 16	261 ± 22
4. ВК 7 т/га	166 ± 16	149 ± 15	151 ± 11	144 ± 12	245 ± 23	226 ± 19	229 ± 20	261 ± 20
НСР ₀₅	17	20	20	16	39	19	26	31
2018 г.								
1. Контроль без удобрения	259 ± 14	149 ± 20	175 ± 8	179 ± 15	312 ± 4	305 ± 6	277 ± 17	306 ± 18
2. ВК 3 т/га	210 ± 22	166 ± 8	179 ± 8	189 ± 15	298 ± 12	298 ± 11	277 ± 6	331 ± 30
3. ВК 5 т/га	189 ± 5	158 ± 18	175 ± 8	170 ± 17	308 ± 8	294 ± 14	273 ± 18	291 ± 22
4. ВК 7 т/га	215 ± 26	158 ± 9	170 ± 11	180 ± 11	291 ± 12	299 ± 24	247 ± 29	301 ± 30
НСР ₀₅	28	23	13	22	15	23	30	39

Содержание легкогидролизуемого (N_{лг}) азота в почве в контроле за 3 года варьировало от 182 до 259 мг/кг (табл. 2). В мае 2016 г. при внесении ВК 3 т/га этот показатель увеличился на 13% к кон-

тролю, в 2017 г. — уменьшился на статистически значимую величину. Достоверных отличий количества N_{лг} в эти сроки исследования под действием различных доз вермикомпоста не выявили.

Таблица 3. Влияние возрастающих доз вермикомпоста (*ВК*) на содержание минеральных форм азота в агрочерноземе, мг/кг

Вариант	N-NH ₄				N-NO ₃			
	май	июнь	июль	август	май	июнь	июль	август
	$X \pm S_x$				$X \pm S_x$			
2016 г.								
1. Контроль без удобрения	14.5 ± 4.7	17.4 ± 5.9	6.2 ± 0.6	5.8 ± 0.6	8.3 ± 0.8	12.2 ± 1.6	9.2 ± 0.7	10.2 ± 0.2
2. ВК 3 т/га	11.4 ± 0.6	15.3 ± 1.9	14.1 ± 5.0	8.3 ± 1.4	10.5 ± 1.1	10.1 ± 1.2	10.3 ± 1.0	9.1 ± 1.7
3. ВК 5 т/га	17.4 ± 4.3	16.4 ± 1.9	11.8 ± 2.5	8.9 ± 1.6	10.3 ± 0.2	10.6 ± 1.2	10.4 ± 0.4	9.8 ± 0.9
4. ВК 7 т/га	27.7 ± 5.6	18.0 ± 0.7	14.8 ± 5.1	8.3 ± 1.0	10.1 ± 1.5	10.5 ± 0.5	9.1 ± 1.0	7.7 ± 1.1
НСР ₀₅	13	10	12	3.7	3.2	3.7	2.5	3.4
2017 г.								
1. Контроль без удобрения	13.0 ± 8.7	7.3 ± 2.3	5.9 ± 1.5	5.9 ± 1.5	8.3 ± 1.6	9.5 ± 1.8	5.3 ± 1.6	5.2 ± 3.1
2. ВК 3 т/га	8.7 ± 3.9	10.6 ± 4.1	5.2 ± 1.6	5.2 ± 1.6	8.9 ± 1.2	8.7 ± 1.4	4.9 ± 1.8	3.8 ± 1.1
3. ВК 5 т/га	8.8 ± 2.5	9.9 ± 2.6	8.0 ± 2.8	8.0 ± 2.8	9.2 ± 3.6	6.5 ± 1.7	6.0 ± 1.3	5.4 ± 1.9
4. ВК 7 т/га	10.2 ± 1.3	12.1 ± 2.3	5.3 ± 0.6	5.3 ± 0.6	7.9 ± 1.8	13.9 ± 2.8	4.0 ± 0.7	1.6 ± 0.4
НСР ₀₅	15	9.0	5.5	4.9	7.0	6.1	4.4	5.8
2018 г.								
1. Контроль без удобрения	13.9 ± 4.2	28.3 ± 4.1	15.7 ± 6.8	22.7 ± 1.1	9.3 ± 0.8	12.0 ± 0.9	13.1 ± 0.6	11.6 ± 2.8
2. ВК 3 т/га	11.1 ± 5.1	15.4 ± 5.9	23.7 ± 1.4	29.9 ± 3.5	8.9 ± 0.7	12.1 ± 1.3	13.8 ± 2.3	11.8 ± 1.2
3. ВК 5 т/га	12.6 ± 7.0	21.1 ± 5.8	15.7 ± 4.9	24.7 ± 1.5	8.8 ± 1.3	11.8 ± 1.4	12.7 ± 1.2	11.1 ± 1.6
4. ВК 7 т/га	13.1 ± 4.3	25.5 ± 7.3	14.4 ± 5.5	28.6 ± 0.8	9.8 ± 0.9	13.4 ± 1.3	13.9 ± 1.6	10.0 ± 1.2
НСР ₀₅	16	18	16	6.2	2.9	3.8	4.8	5.6

Отметили, что соотношение содержаний легкогидролизуемого азота и трудногогидролизуемой фракции не превышало 1.

Важным показателем высокого эффективного плодородия почв является наличие в них достаточного запаса необходимых растениям биогенных элементов в доступной форме [8]. В майский период 2016 г. количество N-NH₄ в почве в контроле и в варианте внесения *ВК* 3 т/га, согласно грациям Гамзикова [9], характеризовалось низкой обеспеченностью (табл. 3). Внесение *ВК* 5 т/га увеличило этот показатель до среднего уровня, а при применении 7 т/га — до высокой обеспеченности. В динамике в июньский период во всех вариантах опыта в почве был установлен средний уровень обеспеченности аммонийным азотом. В последующий период этот показатель снизился до очень низкого уровня в контроле и низкого в удобренных вермикомпостом вариантах. Уменьшение количества аммонийного азота до первого класса обеспеченности в августе связано с расходом его на формирование клубней картофеля. В 2017 г. количество N-NH₄ варьиро-

вало в вариантах опыта от низкого до очень низкого уровня. В майский и июньский период почва характеризовалась очень низкой обеспеченностью этой формой азота во всех вариантах опыта. В 2018 г. содержание аммонийного азота менялось до среднего и высокого уровня в зависимости от варианта опыта.

Низкая обеспеченность нитратным азотом весной (май) была обусловлена низкими температурами в регионе в этот период, снижающими процессы нитрификации, а очень низкая обеспеченность этой формой азота осенью — использованием нитратного азота на формирование урожая картофеля, и возможно, и его вымыванием вниз по почвенному профилю осадками (табл. 3).

В 2016 г. агрочернозем характеризовался высокой обеспеченностью подвижным фосфором (рис. 1а). Применение *ВК* 3 и 5 т/га привело к изменению класса обеспеченности этого показателя с высокого, отмеченного в контроле, до очень высокого. В динамике (2017–2018 гг.) во всех вариантах опыта сохранилась очень высокая обеспеченность подвижным фосфором (рис. 1б, в).

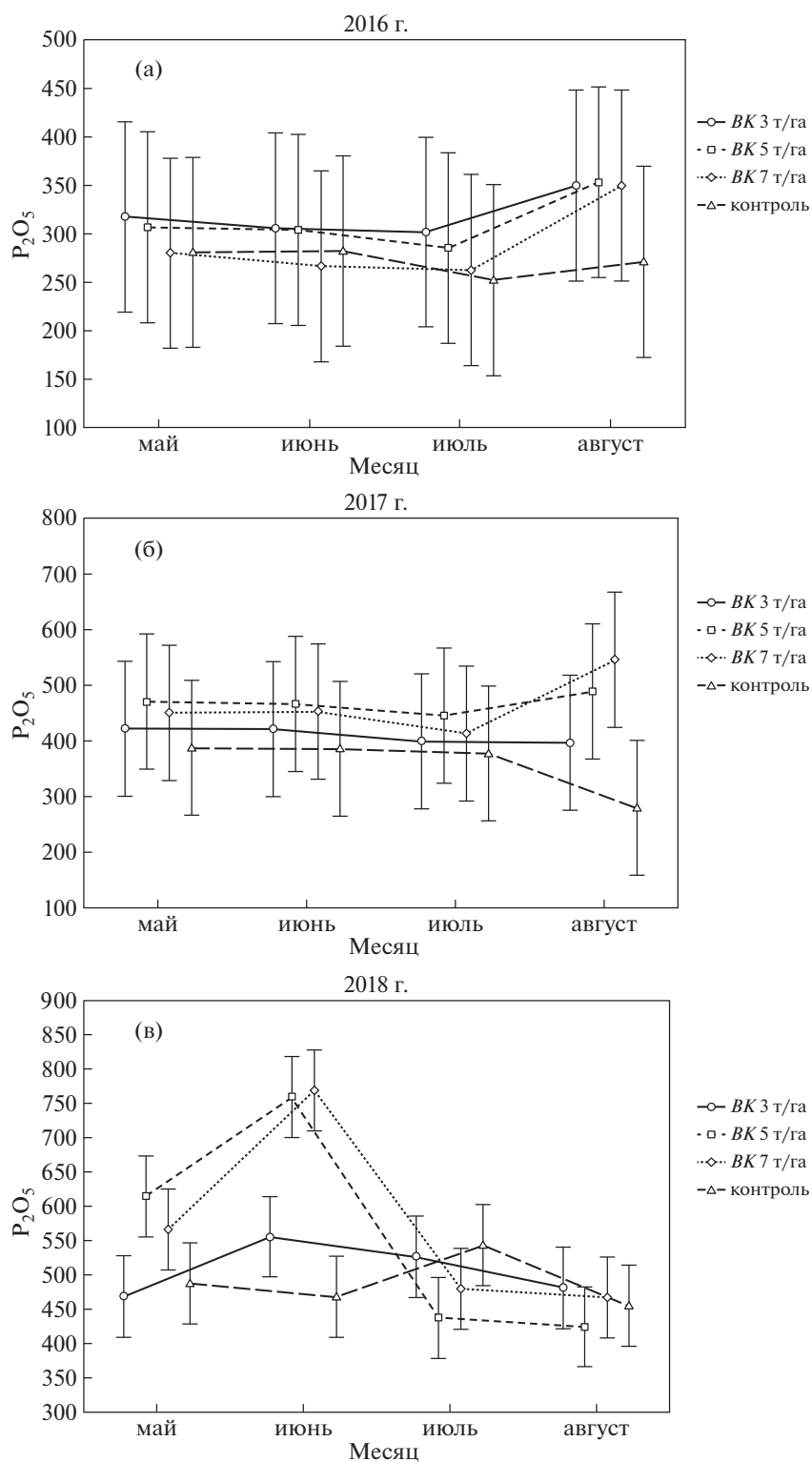


Рис. 1. Влияние возрастающих доз вермикомпоста на содержание подвижного фосфора в агрочерноземе (а) — 2016 г., (б) — 2017 г., (в) — 2018 г.

Отмечена лишь тенденция к снижению данного показателя в течение вегетации, что было обусловлено использованием его на формирование урожая картофеля.

Картофель — культура со слаборазвитой корневой системой и относительно продолжительным периодом максимального потребления элементов питания, и ее продуктивность закономер-

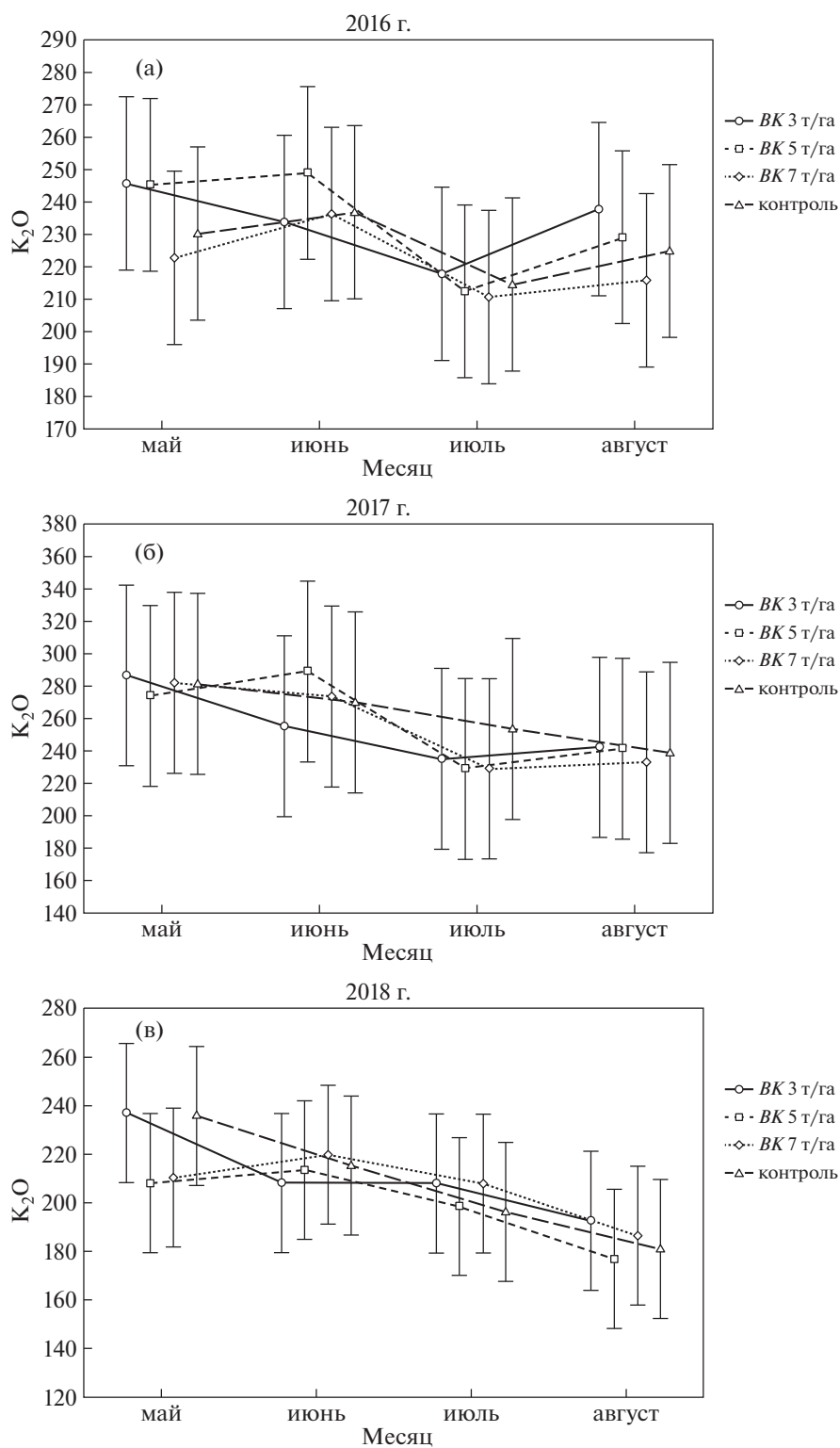


Рис. 2. Влияние вермикомпоста на содержание обменного калия в агрочерноземе: (а) – 2016 г., (б) – 2017 г., (в) – 2018 г.

но реагирует на изменение калийного режима почвы [10]. В первый год исследования обеспеченность обменным калием находилась на высоком уровне во всех вариантах (рис. 2а). Очень вы-

сокая обеспеченность почвы обменным калием в 2017 г. в начале вегетации (май, июнь) в динамике уменьшилась до высокого класса обеспеченности (рис. 2б). Высокая обеспеченность обменным ка-

Таблица 4. Влияние вермикомпоста (ВК) на урожайность и качества картофеля

Вариант	Урожайность (среднее за 3 года)	Прибавка урожайности	Содержание в клубнях			
			сухое вещество	крахмал	редуцирующие сахара	NO_3^- , мг/кг
	т/га		%			
Контроль без удобрения	41.4	—	5.7	16.8	0.21	143
ВК 3 т/га	42.8	1.4	6.4	16.2	0.29	202
ВК 5 т/га	46.2	4.8	5.4	15.5	0.44	161
ВК 7 т/га	43.6	2.2	4.3	14.6	0.66	140

лием в 2018 г. в майский и июньский период во всех вариантах опыта снизилась до повышенного уровня к августу, что было связано с использованием этого элемента питания на формирование урожая культуры (рис. 2в).

В России картофель по значимости является одной из важных продовольственных культур. Доступность и хорошие вкусовые качества картофеля делают его популярным и востребованным. Красноярский регион по сравнению с другими субъектами федерального округа является одним из крупнейших потребителей товарного картофеля как на душу населения (196 кг/год), так и в валовом выражении [11]. Урожайность и качество

клубней — интегральный показатель, формирующийся в процессе выращивания картофеля под действием различных факторов, которые могут ослабить или усилить биологические особенности и возможности культивируемого сорта [12]. В настоящее время отчуждение урожаев сельскохозяйственных культур с полей, проявление эрозийных процессов, выщелачивание биогенных элементов в отсутствие возможности внесения удобрений из-за финансовой нестабильности создали в почве отрицательный баланс органического вещества, макро- и микроэлементов, что требует использования удобрений [13, 14]. Картофель особенно отзывчив на органические удобрения

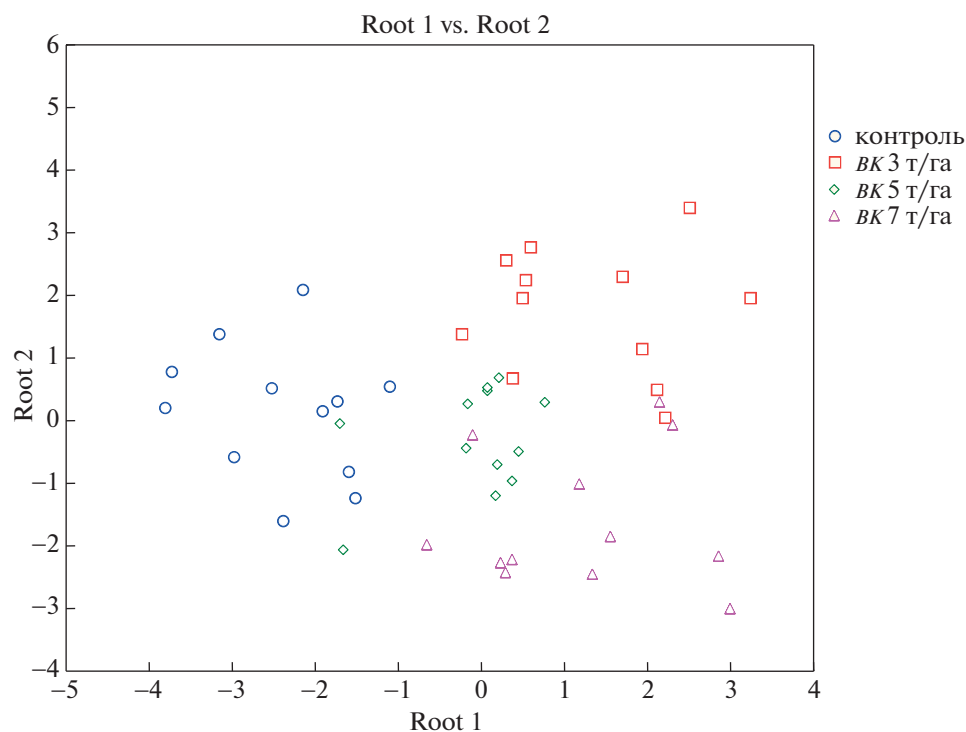
**Рис. 3.** Дискриминационное распределение вариантов опыта.

Таблица 5. Связь урожайности картофеля с агрохимическими показателями агрочернозема по данным множественной регрессии (2016–2018 гг.)

Показатель	Коэффициенты		Значимость коэффициентов, p
	$Beta$	B	
Свободный член		4.247700	
K_2O	0.571033	0.153772	<0.001
$N_{тг}$	–0.539287	–0.147654	<0.001
Гумус	0.472849	7.073772	<0.001

Таблица 6. Уровни значимости различий между вариантами опыта

	Контроль	$BK\ 3\ \text{т/га}$	$BK\ 5\ \text{т/га}$	$BK\ 7\ \text{т/га}$
Контроль		0.000861	0.006344	0.000112
$BK\ 3\ \text{т/га}$	0.000861		0.030792	0.001238
$BK\ 5\ \text{т/га}$	0.006344	0.030792		0.202017
$BK\ 7\ \text{т/га}$	0.000112	0.001238	0.202017	

ния. Однако дозы внесения органических удобрений в среднем в РФ составляют 1 т/га [15], а в Красноярской лесостепи они еще меньше (0.65 т/га), что не обеспечивает сохранения плодородия почв. В связи с этим необходимо увеличивать объемы применения органических удобрений, используя все отходы – резервы органического вещества.

По данным [16], максимальная урожайность сорта Арамис составляет 31.6 т/га на уровне стандарта (Красноярский край). Внесение вермикомпоста в дозах 3, 5 и 7 т/га обеспечило формирование урожайности клубней 42.8–46.2 т/га, что повысило урожайность до 12% к контролю (табл. 4). С увеличением дозы BK от 3 до 5 т/га формировалась более высокая урожайность по сравнению с контролем. Установлено, что внесение BK в дозе 5 т/га обеспечило максимальную прибавку 4.8 т/га. Применение $BK\ 7\ \text{т/га}$ привело к снижению урожайности картофеля, что не противоречило литературным данным [17], указавшим, что высокие дозы BK ингибируют рост культур и снижают их урожайность.

При анализе всего массива экспериментальных данных методом множественной регрессии за период исследования (2016–2018 гг.) наиболее высокие связи урожайности картофеля выявили с содержанием обменного калия, трудногидролизуемого азота и гумуса в почве (табл. 5). Уравнение множественной регрессии, описывающее зависимость урожайности картофеля сорта Арамис

от агрохимических показателей, имело следующий вид:

$$Y = 4.247700 + 0.153772 \times K_2O - 0.147654 \times N_{тг} + 7.073772 \times \text{гумус},$$

где Y – урожайность картофеля, K_2O – содержание обменного калия в почве, $N_{тг}$ – содержание трудногидролизуемого азота.

Зная количественные величины указанных агрохимических показателей почвы, можно спрогнозировать урожайность картофеля. Проведенный дискриминантный анализ всех данных за период 2016–2018 гг. без разделения их по годам показал, что удобренные варианты опыта статистически значимо ($p < 0.001$) различались по сравнению с контролем комплексом таких показателей как урожайность картофеля за 3 года, содержание P_2O_5 , K_2O , $N_{тг}$, $N_{лг}$, $N-NO_3$, $N-NH_4$, гумуса (рис. 3). Однако варианты с внесением в почву $BK\ 5$ и $7\ \text{т/га}$ достоверно не различались между собой (табл. 6). Поэтому увеличивать дозу внесения вермикомпоста в почву до 7 т/га было нецелесообразно.

Оценку химического состава качественных показателей картофеля сорта Арамис проводили в Красноярской ЗХТ лаборатории. В первый год все исследованные образцы характеризовались средним содержанием крахмала (14.6–16.8%) и низким – редуцирующих сахаров (0.2–0.7%). Количество нитратов в клубнях картофеля изменялось от 140 до 202 мг/кг и не превышало ПДК. При этом установили, что наибольшее повышение показателей качества (сухого вещества, редуцирующих сахаров) без значительного изменения содержания крахмала и нитратов относительно контроля произошли почти во всех вариантах опыта (табл. 4). Накопление нитратов в вариантах оставалось на уровне контроля, кроме варианта $BK\ 3\ \text{т/га}$, где оно было больше, но не превышало ПДК (250 мг/кг).

По качественным показателям исследованный картофель имел правильную форму и был светло-желтого цвета (табл. 7). Лучшим по показателю равномерности окраски клубня отличался вариант, удобренный $BK\ 3\ \text{т/га}$. По другим качественным показателям клубней удобренные BK варианты не различались между собой. Разрез клубня картофеля, выращенного в удобренных вариантах, был умеренно упругий и оценивался как слабо развариваемый, отличался низким количеством отходов. Поверхность картофеля была гладкой, а окраска беловатой, что соответствовало требованиям потребителя.

Таблица 7. Потребительские качества клубней картофеля сорта Арамис при внесении в почву возрастающих доз вермикомпоста (ВК)

	Показатель	Контроль без удобрения	ВК 3 т/га	ВК 5 т/га	ВК 7 т/га
Оценка клубней перед варкой	Типичность и внешний вид	3.6	3.7	3.6	3.8
	Цвет мякоти	2.5	2.7	2.7	2.7
	Равномерность окраски мякоти	4.0	4.6	3.9	4.1
	Упругость при разрезе	2.6	2.7	2.8	2.4
Оценка сваренных клубней	Развариваемость	2.7	3.0	2.8	2.9
	Количество отходов	4.0	4.0	4.0	4.0
	Поверхность клубня	1.8	1.6	1.7	1.8
	Окраска поверхности	2.7	2.7	2.3	2.2
	Консистенция клубней	Слабо рассыпчатая			Рассыпчатая
	Запах	2.8	2.8	2.8	2.5
	Вкус	3.7	3.7	3.5	3.2
	Сохранность качества (через 2 часа)	2.5	2.2	2.1	1.9

ВЫВОДЫ

1. Применение вермикомпоста поддерживало содержание гумуса в почве, тенденция к увеличению этого показателя в почве была наибольшей во 2-й год исследования, что связано с гидротермическими условиями этого периода.

2. Внесение вермикомпоста в почву достоверно пополняло запасы азотсодержащих соединений в ней. Соотношение легкогидролизуемого азота относительно трудногидролизуемой фракции не превышало 1 в агрочерноземе. Варьирование количества аммонийного азота было обусловлено процессами трансформации и его использованием на формирование урожая картофеля. Низкая и очень низкая обеспеченность агрочернозема нитратной формой азота в вариантах опыта за весь период наблюдений была связана с вымыванием этой фракции осадками и ее выносом урожаем культуры.

3. Оптимизация фосфатного режима почвы способствовала повышению урожайности картофеля во все периоды наблюдений. Уменьшение в почве обменного калия с высокого уровня весной до повышенной обеспеченности осенью было обусловлено использованием этого элемента питания на формирование урожая картофеля.

4. Максимальная (средняя за 3 года) урожайность картофеля сформировалась при внесении в почву вермикомпоста в дозе 5 т/га, который не ухудшил качественные показатели культуры.

5. Проведенный дискриминантный анализ показал, что варианты опыта (вермикомпост 5 т/га и

вермикомпост 7 т/га) статистически не различались по урожайности картофеля в среднем за 3 года и по комплексу агрохимических показателей в почве. В связи с этим увеличение дозы внесения вермикомпоста в почву до 7 т/га при возделывании картофеля было нецелесообразным.

6. Разработанная модель урожайности (Y) картофеля сорта Арамис имеет следующий вид: $Y = 4.247700 + 0.153772 \times K_2O - 0.147654 \times N_{\text{тг}} + 7.073772 \times \text{гумус}$ и позволяет спрогнозировать урожайность картофеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 478 с.
2. Иодко С.Л., Шарков И.Н. Новая модификация дисульфифенолового метода определения нитратов в почве // Агрохимия. 1994. № 4. С. 95–97.
3. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
4. Ермолев Е., Задина И. Методы оценки картофеля в современной селекции. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959. 168 с.
5. Хиженяк С.В., Пучкова Е.П. Математические методы в агроэкологии и биологии: уч. пособ. Красноярск: Красноярск ГАУ, 2019. 244 с.
6. Крупкин П.И. Способы повышения плодородия почв: уч. пособ. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2011. 212 с.
7. Когут Б.М. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // Почвоведение. 2012. № 9. С. 944–952.

8. *Шугалей Л.С.* Современные проблемы почвоведения: уч. пособ. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2013. 296 с.
9. *Гамзиков Г.П.* Практические рекомендации по почвенной диагностике азотного питания полевых культур и применению азотных удобрений в сибирском земледелии: практ. рекоменд. М.: Росинфорагротех, 2018. 48 с.
10. *Якименко В.Н., Носов В.В.* Последствие калийных удобрений на картофеле в Западной Сибири. Питание растений // Вестн. Международ. ин-та питания растений. 2017. № 2. С. 11–14.
11. *Чураков А.А., Халипский А.Н., Ступницкий Д.Н., Абдураимов П.О.* Направления селекции и особенности оригинального семеноводства картофеля в Красноярском ГАУ // Адаптивность сельскохозяйственных культур в экстремальных условиях Центрально- и Восточно-Азиатского макрорегиона. Мат.-лы симп. с международ. участием. 2018. С. 73–84.
12. *Якименко В.Н.* Влияние калийных удобрений на урожайность и качество клубней картофеля в лесостепи Западной Сибири // Агрохимия. 2017. № 9. С. 39–48.
13. *Вильман А.А., Антонова О.И.* Эффективность применения разных доз биогумуса при возделывании картофеля в условиях Алтайского Приобья // Вестн. Алтай ГАУ. 2004. № 4. С. 29–32.
14. *Волошин Е.И.* Эффективность применения органических удобрений в агропромышленном комплексе Красноярского края // Вестн. Красноярск ГАУ. 2016. № 4. С. 138–146.
15. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
16. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. М., 2015. С. 114–115.
17. *Жигжитова И.А., Корсунова Т.М.* Рекомендации по получению и применению вермикомпостов (биогумуса) для повышения урожая и качества сельскохозяйственных культур. 1999. 19 с.

Influence of Increasing Doses of Vermicompost on Agrochemical Properties of Soil, Yield and Quality of Potato Tubers

M. S. Butenko^{a, #}, O. A. Ulyanova^a, A. N. Khalipsky^a, and S. V. Khizhnyak^a

^a Krasnoyarsk State Agrarian University
prosp. Mira 90, Krasnoyarsk 660049, Russia

[#] E-mail: mbs.93@mail.ru

In the field experiment (2016–2018) the effect of vermicompost on agrochemical properties of agrocherno-
zem of clay-illuvial Krasnoyarsk forest-steppe, yield and quality of potato tubers. It was found that the intro-
duction of 5 t/ha of vermicompost into the soil contributed to the maximum formation of potato yield. High
connections of potato yield were revealed with the amount of exchange potassium, hardly hydrolyzed nitro-
gen and humus content in the soil. The results obtained made it possible to develop a model of the yield of
Aramis potatoes. The use of vermicompost in agrocherno-
zem did not worsen the quality indicators of potato
tubers.

Key words: vermicompost, agrocherno-
zem, agrochemical properties of soil, yield, quality of potato tubers,
yield model.

УДК 635.21:632.4:632.952

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ТЕБУКОНАЗОЛА, ТИРАМА И КАРБЕНДАЗИМА ПРОТИВ БОЛЕЗНЕЙ КАРТОФЕЛЯ¹

© 2020 г. А. А. Малюга^{1,*}, Н. С. Чуликова¹, С. С. Халиков^{2,**}

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

² Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН
111991 Москва, ул. Вавилова, 29, Россия

*E-mail: anna_malyuga@mail.ru

**E-mail: salavatkhaliakov@mail.ru

Поступила в редакцию 26.07.2019 г.

После доработки 20.08.2019 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

С целью создания протравителей для комплексной защиты картофеля от возбудителей сухих фомозно-фузариозных гнилей при хранении и ризоктониоза разработаны экспериментальные составы препаратов на основе механохимически модифицированных комплексов тебуконазола, тирама и карбендазима с растительными метаболитами и суспендирования действующих веществ этих же фунгицидов 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.

Ключевые слова: тебуконазол, тирам, карбендазим, растительные метаболиты, механохимическая модификация, суспензии, протравитель, картофель, биологическая эффективность, продуктивность.

DOI: 10.31857/S000218812007008X

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире картофелеводству придается очень большое значение [1]. Общее падение уровня жизни населения в условиях экономических реформ привело к росту значения картофеля для питания населения. Россия по объему потребления картофеля находится на втором месте в мире после Китая. В 2017 г. потребление этого овоща составило 112.6 кг на душу населения. Только за прошедший год показатель вырос на 0.6 кг, а за последние 10 лет — на 4.6 кг [2].

В результате разрушения крупных коллективных хозяйств и “фермеризации” сельского хозяйства произошло резкое ухудшение фитосанитарного состояния агроценозов картофеля. Потери продукции при производстве картофеля от комплекса вредных организмов могут варьировать в пределах от 10 до 60%. По данным Министерства

сельского хозяйства РФ, потери урожая картофеля от болезней составляют 50% валового сбора, что в 1.5 раза превышает потери зерновых культур [3]. В сложившихся условиях происходит накопление значительного количества инфекции, которое приводит к массовому поражению растений картофеля болезнями и в первую очередь — возбудителями, относящимися к группе почвенно-клубневых (ризоктониоз, фузариоз и фомоз), потери от которых могут достигать 45–80% [4–6]. Распространению этих заболеваний также способствует отсутствие устойчивых сортов. В связи с этим биологический и хозяйственный потенциал продуктивности картофеля остается неиспользованным.

Потенциальные возможности отечественных селекционных достижений обеспечивают получение урожайности 35–50 т/га [7]. Однако по показателю фактической средней урожайности в России (14 т/га), и в том числе в Сибири (11.2 т/га), наша страна отстает даже от среднего мирового уровня (17 т/га) [3, 4]. В значительной степени по-

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

Таблица 1. Схема опыта с протравливанием клубней протравителями в виде ТД и суспензий

№ п/п	Вариант	Действующее вещество (д.в.) и его содержание в препарате	Норма расхода по препарату на 1 т клубней картофеля
1	Контроль без обработки	—	—
2	Стандарт колфуго Супер, КС (200 г/л)	Карбендазим, 20% д.в.	250 мл
3	Стандарт редут, КС (60 г/л)	Тебуконазол, 6% д.в.	165 мл
4	Стандарт ТМТД, ВСК (400 г/л)	Тирам, 40% д.в.	4000 мл
5	ТД состава БМК : АГ = 1 : 9 (препарат 1)	Карбендазим, 10% д.в.	270 мл
6	ТД состава БМК : Na ₂ ГК = 1 : 9 (препарат 2)	Карбендазим, 10% д.в.	270 мл
7	Суспензия СК-210 на основе ТБК и ТМТД (препарат 3)	Тебуконазол + тирам, 1.25% + 20% по д.в.	667 г
8	Суспензия СК-211 на основе ТБК, ТМТД и БМК (препарат 4)	Тебуконазол + тирам + карбендазим, 1.25% + 20% + 5% по д.в.	667 г
9	ТД состава ТБК : Na ₂ ГК = 1 : 9 (препарат 5)	Тебуконазол, 10% д.в.	100 г
10	ТД состава ТБК : АГ = 1 : 9 (препарат 6)	Тебуконазол, 10% д.в.	100 г
11	ТД состава ТМТД : Na ₂ ГК = 1 : 9 (препарат 7)	Тирам, 10% д.в.	1600 г
12	ТД состава ТМТД : АГ = 1 : 9 (препарат 8)	Тирам, 10% д.в.	1600 г

Примечание. Препарат редут, КС для применения на картофеле не зарегистрирован, использован в эксперименте в качестве источника тебуконазола, который входит в состав исследованных препаратов.

лучению высоких урожаев препятствует широкое распространение болезней.

Частично предотвратить потери урожая позволяет использование интегрированной защиты растений, одним из звеньев которой являются разнообразные химические и биологические средства борьбы с вредными организмами. Эффективность химической защиты картофеля (на основе использования пестицидов) по показателю сохраненного урожая от вредителей, болезней и сорняков составляет 3 млн т (51% от потенциально возможного уровня предотвращения потерь урожая) [8]. Внедрение системы мероприятий по борьбе с болезнями картофеля уже на 3-й год дает возможность снизить их вредоносность и этим обеспечить прибавку урожая на 40%. Одно из важнейших звеньев в защите картофеля — обработка семенных клубней протравителями. Данный прием является экономически выгодным и экологически безопасным приемом защиты культуры от семенной и почвенной инфекций. Экологичность этого приема заключается в том, что в расчете на 1 га вносят небольшое количество действующего вещества (д.в.), быстро разлагающегося в почве и отсутствующего в элементах урожая. Протравливание обеспечивает максимальный эффект при минимальном отрицательном влиянии на агроценоз [9].

В связи с вышеизложенным цель работы — разработка препаратов в виде твердых дисперсий на основе механомодифицированных фунгицидов (тебуконазола, карбендазима, тирама) и суспензий этих же препаратов 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.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве фунгицидов были выбраны: тебуконазол (**ТБК**), д.в. которого (RS)-1p-хлорфенил-4,4-диметил-3-(1H-1,2,4-триазол-1-ил-метил)пентан-3-ил. Это бесцветные кристаллы, хорошо растворяются в органических растворителях, плохо — в воде (1 мг/л) [10]; тирам Д (**ТМТД**), д.в. которого бис (диметилтиокарбамил)дисульфид. Это белый или светло-серый порошок, хорошо растворяется в большинстве органических растворителей, плохо — в воде (16 мг/л) [10]; карбендазим (**БМК**), д.в. которого N-(бензимидазол-2)-О-метилкарбамат. Это сероватый порошок, плохо растворим в воде и многих органических растворителях [10].

В качестве растительных метаболитов были выбраны: арабиногалактан (**АГ**) из лиственницы

Таблица 2. Влияние механомодифицированных протравителей на сухие фомозно-фузариозные гнили при хранении

Вариант	Весовая доля больных клубней в урожае, %	Биологическая эффективность, %
Контроль без обработки	3.1	—
Колфуго Супер — стандарт (карбендазим)	0.8	74.2
Редут — стандарт (тебуконазол)	4.1	—
ТМТД — стандарт (тирам)	1.2	61.3
Препарат 1	2.9	6.5
Препарат 2	0	100
Препарат 3	0.4	87.1
Препарат 4	1.0	67.7
Препарат 5	0.8	74.2
Препарат 6	0	100
Препарат 7	0.4	87.1
Препарат 8	0.7	77.4

сибирской *Larix sibirica* (ТУ 9363-021-39094141-08, серия 02042013); динатриевая соль глицирризиновой кислоты ($\text{Na}_2\text{ГК}$), производитель — Shaanxi Pioneer Biotech Co., Ltd, КНР.

Твердые дисперсии (ТД) выбранных для исследования фунгицидов с растительными метаболитами готовили с использованием измельчителей с регулируемым энергонапряжением, в условиях, описанных ранее [11]. Составы ТД препаратов представлены в табл. 1. Суспензионные формы препаратов на основе ТБК и ТМТД готовили по методике [12]. Составы суспензионных препаратов также представлены в табл. 1.

Биологические испытания проведены в 2016–2017 гг. Методика проведения биологических исследований описана ранее [11]. Полевые эксперименты проводили в соответствии с общепринятыми методиками [13].

В качестве химического контроля были выбраны фунгициды колфуго-Супер, КС (200 г/л), редут, КС (60 г/л) и ТМТД, ВСК (400 г/л) в соответствии со Списком пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ [10, 14]. 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 [15], особенности формирования фитосанитарной ситуации в посадках картофеля в отношении ризоктониоза при обработке клубней протравителями перед посадкой культуры [16], а также оценивали продуктивность растений картофеля под действием разработанных протравителей [15].

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования биологической эффективности инновационных препаратов против сухих гнилей в период хранения показали, что более всего оздоравливали хранящийся картофель препараты 2 и 6, где фузариозные и фомозные гнили отсутствовали. Препараты 3 и 7 снизили количество гнилей хранения в 7.8 раза в сравнении с контролем. Препараты 4, 5 и 8 уменьшили весовую долю больных гнилями клубней в 3.1–4.4 раза (табл. 2). Биологическая эффективность инновационных препаратов варьировала от 100% в первом случае, до 87% — во-втором, и 68–77% — в третьем.

Исследование показало, что разработанные препараты были эффективны и против возбудителя ризоктониоза картофеля (рис. 1).

В сравнении с контролем все экспериментальные препараты достоверно снижали развитие болезни в период всходов в 1.6–3.5 раза, в фазе бутонизации—начала цветения — в 1.3–3.7 раза (кроме препаратов 5 и 6). Химические стандарты в фазах всходов и бутонизации—начала цветения картофеля достоверно снижали развитие ризоктониоза по сравнению с контролем в 2.0 и 1.3 раза (препарат колфуго Супер) и в 2.9 и 1.8 раза (препарат ТМТД) соответственно. Препарат редут достоверно снижал развитие болезни только в фазе бутонизации—начала цветения в 1.6 раза.

Установлено, что препараты, содержащие в своем составе БМК (препараты 1, 2 и 4) были эффективными в снижении развития ризоктониоза, как и стандарт — препарат колфуго Супер. Однако по сравнению с препаратом колфуго Супер в фазе всходов достоверно снижал развитие ризоктониоза препарат 1 в 1.7 раза, а в фазе бутонизации—начала цветения препараты 2 и 4 — в 1.9 и 1.4 раза соответственно. В фазе всходов не отмечено достоверных различий между действием на развитие болезни препарата колфуго Супер и препаратов 2 и 4. То же показано в фазе бутонизации—на-



Рис. 1. Влияние инновационных препаратов на развитие ризоктониоза, %; (HCP_{05} частных средних = 5.4). Варианты: 1 – контроль, 2 – препарат колфуго Супер – стандарт, 3 – препарат редут – стандарт, 4 – препарат ТМТД – стандарт, 5 – препарат 1, 6 – препарат 2, 7 – препарат 3, 8 – препарат 4, 9 – препарат 5, 10 – препарат 6, 11 – препарат 7, 12 – препарат 8. То же на рис. 2, 3.

чала цветения для препарата 1 и стандарта колфуго Супер.

Препараты с включением в состав ТБК (препараты 3–6) по сравнению со стандартом препаратом редут были более эффективными в фазе всходов, они все достоверно снижали развитие ризоктониоза в 1.7–3.0 раза. Однако в фазе бутонизации—начала цветения препараты 5 и 6 достоверно увеличивали развитие заболевания в 1.4 и 1.7 раза соответственно. В фазе бутонизации—начала цветения между препаратом редут и препаратами 3, 4 не было достоверной разницы по их влиянию на развитие ризоктониоза.

Препараты с включением в состав тирама Д (препараты 3, 4, 7 и 8) в сравнении со стандартом препаратом ТМТД обладали различной эффективностью в снижении развития ризоктониоза. Например, в фазе всходов картофеля достоверно снижали развитие ризоктониоза препараты 3 и 7 в 1.4 и 1.9 раза соответственно, а в фазе бутонизации—начала цветения препарат 8 достоверно снижал этот показатель в 2.0 раза. Между ТМТД и препаратами 3 и 8 в фазе всходов, и препаратами 3, 4 и 7 в фазе бутонизации—начала цветения достоверной разницы в снижении развития ризоктониоза не было, и они также имели высокую эффективность, как и стандарт.

Изучение влияния инновационных препаратов на биометрические показатели культуры показало, что в сравнении с контрольным вариантом в период всходов протравители 2, 4 и 8 достоверно увеличивали высоту растений на 2.9–4.5 см

(на 7.5–11.6%), а препараты 3, 6 и 7 не оказывали влияния на этот показатель, и растения были ниже на 3.0–7.1 см (на 7.7–18.3%), чем в контроле (рис. 2).

Препараты 1 и 5 не оказывали достоверного влияния на рост растений в этот период. Высота растений при использовании протравителей-стандартов достоверно отличалась от контроля. Например, в вариантах применения препаратов колфуго Супер и ТМТД растения были выше на 2.5–5.5 см (на 6.4–14.2%), а в варианте с препаратом редут – ниже на 12.9 см (на 33.2%). К фазе бутонизации—начала цветения различий в высоте растений между контрольным вариантом и вариантами с препаратами 2, 3, 4 и 8 не отметили. Сохраняли влияние на рост растений картофеля протравители 6 и 7. Высота растений в этих вариантах была существенно ниже, чем в контроле, на 6.2–11.2 см (на 10.0–18.0%). Также достоверно замедляли рост побегов препараты 1 и 7 – на 5.8–14.3 см (на 9.3–23.0%). Растения картофеля в вариантах с препаратами колфуго Супер, редут и ТМТД не отличались по высоте от контрольных.

Установлено, что в фазе всходов картофеля, при сравнении со стандартом – препаратом колфуго Супер, препараты 2 и 4 достоверно увеличивали высоту растений на 1.9–2.0 см (на 4.6–4.8%), а препараты № и № достоверно снижали ее на 3.8–5.5 см (на 9.2–13.3%). К фазе бутонизации—начала цветения данные различия в высоте растений между вариантами с препаратами нивелировались. Препараты 3–6 в фазе всходов по сравнению с протравителем редут показали ростостиму-

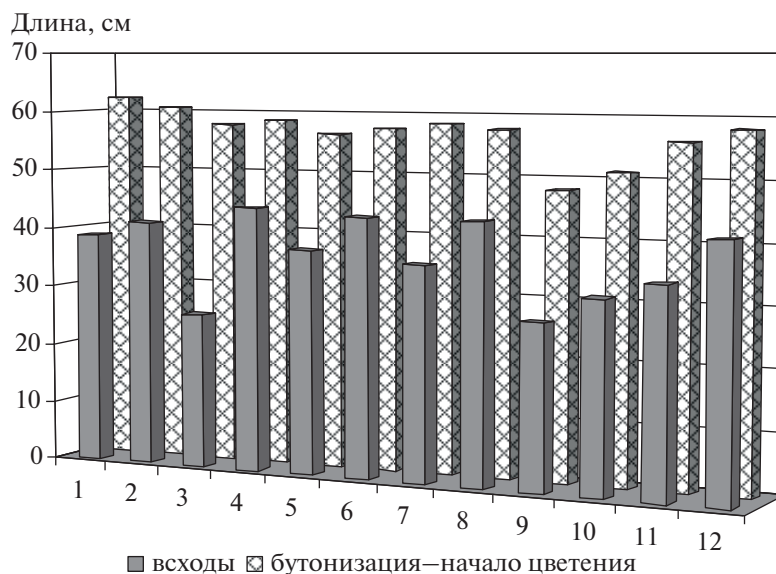


Рис. 2. Влияние инновационных препаратов на высоту растений картофеля, см (HCP_{05} частных средних: фаза всходов — 1.4, фаза бутонизации—начала цветения — 4.7).

лирующее действие, высота растений была больше на 1.6–17.3 см (на 6.2–66.8%). Однако к периоду бутонизации—начала цветения в вариантах с препаратами 5 и 6 растения были достоверно ниже, чем при использовании препарата редут (на 6.8–9.9 см или на 11.8–17.1%), между вариантами с остальными препаратами достоверной разницы не было.

При сравнении влияния препаратов с тирамом Д установили, что в фазе всходов картофеля препараты 3, 7 и 8 достоверно снижали высоту растений на 2.6–9.9 см или на 5.8–22.3%. К бутонизации—началу цветения культуры различия в длине растений между вариантами с этими препаратами исчезали.

Модифицированные фунгициды оказывали влияние не только на высоту растений, но и на их биомассу (рис. 3). В сравнении с контролем в фазе всходов картофеля практически все препараты (за исключением препарата 6) достоверно увеличивали фитомассу одного стебля на 1.8–40.2 г или на 6.5–145%. Наиболее значимое влияние на увеличение биомассы культуры на 36.6–40.2 г или на 132–145% оказали препараты 7 и 8. К фазе бутонизации—начала цветения продолжали оказывать свое стимулирующее влияние на растения препараты 1, 3, 4, 6 и 7, они достоверно увеличивали фитомассу одного стебля на 54.3–152 г или на 34.7–96.9%. Также максимальной была прибавка массы растений при использовании протравителя 7 — 152 г или на 96.9%, тогда как препарат 8 достоверно снижал массу одного стебля картофеля на 37.1 г (23.7%). Между контролем и

вариантами с препаратами 2 и 5 достоверных отличий в фитомассе растений не отмечали.

В сравнении с контролем протравители редут, ТМТД и колфуго Супер в фазах всходов и бутонизации—начала цветения (за исключением колфуго Супер в этой фазе) достоверно увеличивали фитомассу растений на 5.7–20.2 г или на 20.6–50.5% и на 24.8–89.3 г или 15.8–57.0% соответственно.

Установлено, что в фазе всходов картофеля масса одного стебля в вариантах с карбендазимом (препараты 1, 2 и 4) по сравнению с вариантом с препаратом колфуго Супер была достоверно меньше на 2.9–18.4 г или на 6.0–38.4%. Однако к фазе бутонизации—начала цветения ситуация изменилась. Все изученные препараты (кроме препарата 2) достоверно увеличивали фитомассу одного стебля на 51.3–72.5 г или на 31.1–43.9%.

Препараты с содержанием тебуконазола (препараты 3, 4 и 5) при сравнении с протравителем редут в фазе всходов достоверно увеличивали фитомассу одного стебля на 4.0–11.6 г или на 12.0–34.7%, а препарат 6, наоборот, способствовал уменьшению данного показателя на 10.4 г или на 31.1%. К фазе бутонизации—начала цветения в вариантах с препаратами 3, 5 и 6 было отмечено достоверное снижение массы одного стебля на 29.6–98.6 г или на 12.0–10.1%. При этом более сильно подавлял накопление биомассы растений препарат 5. Между протравителем редут и препаратом 4 достоверной разницы не было.



Рис. 3. Влияние инновационных препаратов на фитомассу стеблей картофеля, г/стебель ($НСР_{05}$ частных средних: фаза всходов — 1.0, фаза бутонизации—начала цветения — 12).

Инновационные протравители, имеющие в своем составе тиам Д (препараты 4, 7 и 8), в сравнении со стандартом ТМТД в фазе всходов способствовали достоверному увеличению массы одного стебля на 3.3–26.2 г или на 7.9–62.8%, в варианте с препаратом 3 — достоверному ее снижению на 4.3 г или на 10.3%. В фазе бутонизации—начала цветения была отмечена прибавка биомассы одного стебля в вариантах с препаратами 3 и 4 (на 34.9–56.1 г или на 19.2–30.9%) и макси-

мальная прибавка при использовании препарата 7 (на 127 г или на 70.0%). Препарат 8 не способствовал увеличению фитомассы растения, и она была достоверно меньше на 61.9 г или на 34.1%, чем в варианте с протравителем-стандартом.

Разработанные препараты также оказали влияние на количество стеблей на одном растении (табл. 3). Установлено, что в фазе всходов картофеля все экспериментальные препараты при сравнении с контролем достоверно снижали количество стеблей на одном растении на 1.0–2.0 шт. или на 28.6–57.1%. В фазе бутонизации—начала цветения данная тенденция сохранялась в вариантах с препаратами 1, 3 и 7, где количество стеблей было меньше на 0.8–1.3 шт. или 32.0–52.0%, чем в контроле. Протравители 2, 4, 5, 6 и 8 достоверно не влияли на изменение количества стеблей растения картофеля.

Протравители-стандарты по сравнению с контролем достоверно снижали количество стеблей на одном растении в фазе всходов на 1.5–2.3 шт. или на 42.8–65.7% (варианты с препаратами редут, ТМТД и колфуго Супер) и в фазе бутонизации—начала цветения — на 0.8–1.0 шт. или на 32.0–40.0% (варианты с препаратами ТМТД и редут).

Фунгициды с действующим веществом карбендазим (препараты 1, 2 и 4) по сравнению с препаратом колфуго Супер в фазе всходов культуры достоверно увеличивали количество стеблей на одном растении на 0.8–1.3 шт. или на 66.7–108%. К фазе бутонизации—начала цветения было отмечено достоверное снижение данного показателя в варианте с препаратом № 1 на 0.8 шт. или на 32.0%. Установлено, что между препаратом кол-

Таблица 3. Влияние инновационных препаратов на количество стеблей картофеля, шт./растение

№ п/п	Вариант	Фаза развития растений картофеля	
		всходы	бутонизация—начало цветения
1	Контроль	3.5	2.5
2	Колфуго Супер — стандарт	1.2	2.5
3	Редут — стандарт	2.0	1.5
4	ТМТД — стандарт	2.0	1.7
5	Препарат 1	2.5	1.7
6	Препарат 2	2.0	2.5
7	Препарат 3	1.7	1.7
8	Препарат 4	2.0	2.0
9	Препарат 5	1.5	2.2
10	Препарат 6	2.2	2.0
11	Препарат 7	1.5	1.2
12	Препарат 8	2.2	2.5
	НСР ₀₅	0.6	0.7

Таблица 4. Влияние инновационных препаратов на количество и качество столонов на одном растении картофеля

№ п/п	Вариант	Количество столонов, шт./растение		Поврежденные столоны, %
		фаза развития растений картофеля		
		всходы	бутонизация—цветение	бутонизация—цветение
1	Контроль	6.7	5.0	30.2
2	Колфуго Супер — стандарт	6.5	4.7	14.3
3	Редут — стандарт	2.0	2.0	0
4	ТМТД — стандарт	8.2	6.5	17.5
5	Препарат 1	9.2	4.5	11.1
6	Препарат 2	11.7	7.0	2.5
7	Препарат 3	3.5	2.0	8.3
8	Препарат 4	6.0	1.0	0
9	Препарат 5	1.0	1.5	4.2
10	Препарат 6	3.0	0.7	0
11	Препарат 7	3.0	3.7	0
12	Препарат 8	8.5	6.0	1.9
	<i>HCP</i> ₀₅	1.1	0.4	1.1

фуго Супер и препаратом 3 в фазе всходов, а также препаратами 2 и 4 в фазе бутонизации—начала цветения достоверных различий в изменении количества стеблей на одном растении не было.

Установлено, что в фазах всходов и бутонизации—начала цветения препараты с содержанием тебуконазола (препараты 3—6) в сравнении с препаратом редут и протравители с тирамом Д (препараты 3, 4, 7, 8) в сравнении с препаратом ТМТД не оказывали достоверного влияния на количество стеблей на одном растении. Исключение составил препарат 8, он по сравнению с ТМТД в фазе бутонизации—начала цветения достоверно увеличивал количество стеблей на одном растении на 0.8 шт. или на 47.1%.

Разработанные инновационные препараты также оказывали влияние на количество и поврежденность столонов на одном растении (табл. 4). Установлено, что в фазе всходов картофеля препараты 1, 2 и 8 по сравнению с контролем достоверно увеличивали количество столонов на одном растении на 1.8—5.0 шт. или на 26.9—74.6%, а протравители 3, 5, 6 и 7 — уменьшали на 3.2—5.7 шт. или на 47.8—85.1%.

В фазе бутонизации—начала цветения препараты 2 и 8 по сравнению с контролем, достоверно увеличивали количество и качество столонов. В этих вариантах столонов на одном растении было больше на 1.0—2.0 шт. или на 20.0—40.0% при снижении их повреждения на 27.7—28.3%. Препараты 1, 4, 5—7 не способствовали столоно-

образованию, и в этих вариантах столонов было меньше, чем в контроле на 0.5—4.3 шт. или на 10.0—86.0%. Однако данные протравители снижали поврежденность столонов от 26 до 100%.

Протравители-стандарты по сравнению с контролем оказывали различное влияние на столонообразование. Например, препарат колфуго Супер не имел достоверной разницы с контролем в количестве столонов на одном растении ни в фазе всходов, ни в фазе бутонизации—начала цветения. Однако колфуго Супер влиял на качество столонов: поврежденных столонов было достоверно меньше на 15.9%. В варианте с препаратом редут количество столонов в изученные фазы развития растений было достоверно меньше, чем в контроле на 4.7 шт. или на 70.1% и на 3.0 шт. или на 60.0% соответственно. При этом редут полностью защищал столоны картофеля от повреждения ризоктониозом. Фунгицид ТМТД по сравнению с контролем способствовал образованию не только достоверно большего количества столонов на 1.5 шт. или на 22.4% в фазе всходов и на 1.5 шт. или на 30.0% в фазе бутонизации—начала цветения, но и их качеству — поврежденных столонов было меньше на 12.7%.

Препараты 1 и 2 в сравнении с колфуго Супер в фазе всходов картофеля достоверно увеличивали количество столонов на одном растении на 2.7—5.2 шт. или на 41.5—80.0%, а препарат 3 — уменьшал на 3.0 шт. или на 53.8%. В фазе бутонизации—начала цветения в варианте с препаратом

Таблица 5. Влияние инновационных препаратов на количество и массу клубней картофеля в фазе бутонизации—начала цветения

№ п/п	Вариант	Количество клубней, шт./растение	Масса клубней, г/растение
1	Контроль	9.0	681
2	Колфуго Супер — стандарт	11.0	584
3	Редут — стандарт	5.7	495
4	ТМТД — стандарт	8.7	605
5	Препарат 1	7.0	525
6	Препарат 2	11.2	729
7	Препарат 3	6.7	608
8	Препарат 4	8.0	770
9	Препарат 5	4.7	316
10	Препарат 6	7.0	541
11	Препарат 7	6.5	628
12	Препарат 8	6.5	480
	НСР ₀₅	1.4	42

2 была отмечена та же тенденция к увеличению количества столонов: их было больше на 2.3 шт. или на 48.9%, чем в варианте со стандартом. В вариантах с препаратами 3 и 4 количество столонов было достоверно меньше на 2.7–3.7 шт. или на 57.4–78.7%, чем в варианте со стандартом. При этом все механохимически модифицированные препараты достоверно снижали поврежденность столонов ризоктониозом от 3.2 до 100%.

Препараты 3 и 4 в сравнении со стандартом редут в фазе всходов картофеля достоверно улучшали процесс столонообразования, столонов было больше на 1.5–4.0 шт./растение или на 75.0–200%. Между вариантами с препаратами 5, 6 и редут не было обнаружено достоверной разницы. Однако к фазе бутонизации—начала цветения, в вариантах с препаратами 4, 5 и 6 количество образованных столонов было меньше на 0.5–1.3 шт. или на 25.0–65.0%, чем при протравливании препаратом редут. При этом в вариантах с препаратами 4 и 6 отсутствовали поврежденные столоны. В вариантах с использованием препаратов 3 и 5 поврежденных столонов было достоверно больше, чем в контроле (табл. 4).

Препараты, содержащие тирам Д (препараты 3, 4, 7, 8), в сравнении со стандартом ТМТД, были малоэффективными для увеличения количества столонов картофеля, но они положительно влияли на их качество. Например, по сравнению с ТМТД количество столонов в вариантах с изучен-

ными препаратами было меньше — 84.6% в период бутонизации—начала цветения. При этом препараты 3 и 8 снижали поврежденность столонов на 9.2–15.6%, при протравливании препаратами 4 и 7 столоны были полностью здоровыми. В фазе всходов между вариантами с препаратом ТМТД и препаратом 8 не было достоверной разницы в количестве столонов на одном растении.

Разработанные инновационные препараты также оказывали влияние на количество и массу клубней на одном растении (табл. 5). Установили, что в период бутонизации—начала цветения картофеля только препарат 2 по сравнению с контролем достоверно способствовал образованию большего количества клубней на одном растении — на 2.2 шт. или на 24.4%. Масса клубней с одного растения также была больше, чем в контроле на 47.5 г или на 7.0%. Все остальные механохимически модифицированные препараты по сравнению с контролем не оказывали достоверного влияния на увеличение количества клубней и их массы (табл. 6). Между вариантом без обработки и препаратом 4 по количеству клубней разницы не было. Однако масса клубней при протравливании препаратом 4 была максимальной среди всех изученных вариантов и превышала контроль на 88.7 г или на 13.0%.

Протравители, использованные в качестве стандартов, также влияли на количество и массу клубней. Колфуго Супер достоверно увеличивал количество клубней на одном растении на 2.0 шт. или на 22.2%, а препарат редут уменьшал этот показатель на 3.3 шт. или на 36.7% по сравнению с контролем. Однако масса клубней во всех вариантах с протравителями-стандартами была достоверно меньше, чем в контроле на 76.0–187 г или на 11.1–27.4%.

Препараты 1, 3, и 4 по сравнению со стандартом колфуго Супер не способствовали увеличению количества клубней на одном растении. Клубней было меньше на 3.0–4.3 шт. или на 27.3–39.1%. Эти препараты по-разному влияли на массу клубней с одного растения: препарат 1 снижал ее на 58.8 г или на 10.1%, препарат 4 увеличивал на 186 г или на 31.9%, между вариантами с препаратом 3 и колфуго Супер не было достоверной разницы. Установлено, что в варианте с протравителем 4 масса клубней была максимальной среди всех препаратов, содержащих карбендазим. Препарат 2 достоверно не влиял на изменение количества клубней по сравнению с колфуго Супер, но он достоверно увеличивал массу клубней с одного растения на 145 г или на 24.8%.

Все разработанные препараты, содержащие тебуконазол, по сравнению с препаратом редут не имели достоверной разницы в количестве клуб-

ней на одном растении. При этом препараты 3, 4 и 6 достоверно увеличивали массу клубней на 45.7–275 г или на 9.2–55.6%, препарат 5 уменьшал этот показатель на 179 г или на 36.1%.

В вариантах с препаратами 3, 7 и 8 количество клубней, образованных на момент бутонизации—начала цветения картофеля, было достоверно меньше, чем в варианте с ТМТД на 2.0–2.2 шт. или на 23.0–25.3%. Но масса этих клубней в вариантах с препаратами 3 и 7 достоверно не отличалась от варианта с ТМТД, а при использовании препарата 8 масса клубней была меньше на 125 г или на 20.7%, чем в варианте со стандартом. Максимальную прибавку массы клубней показал препарат 4, она составила 165 г или 27.2%, причем по количеству клубней с вариантом ТМТД различий не было.

Комплексное действие предложенных препаратов на развитие заболеваний, развитие и рост растений картофеля повлияло на урожайность культуры (табл. 6). По сравнению с контролем практически все исследованные инновационные препараты достоверно увеличивали валовую урожайность клубней на 2.0–5.5 т/га или на 9.0–24.8%. Протравители 4 и 6 не оказывали влияния на прибавку урожайности картофеля. Протравители-стандарты также обеспечивали получение большей урожайности культуры по сравнению с контролем на 1.8–3.9 т/га или на 8.1–17.6%.

Установлено, что протравитель 1 по сравнению со стандартом колфуго Супер валовую урожайность картофеля достоверно увеличивал на 1.3 т/га или на 5.4%, а препарат 4 уменьшал ее на 2.2 т/га или на 9.1%. Валовая урожайность картофеля от обработки семенного материала препаратами 2 и 3 достоверно не отличались от варианта с препаратом колфуго Супер.

Валовая урожайность картофеля в вариантах с препаратами 3 и 5 достоверно не отличалась от полученной в варианте со стандартом редут. Протравители 4 и 6 не обеспечивали получение большего валового урожая картофеля по сравнению со стандартом редут: урожайность картофеля была достоверно меньше на 2.1–2.5 т/га или на 8.7–10.4%.

Препараты, содержащие в своем составе тирам Д, также по-разному влияли на урожайность клубней. По сравнению с ТМТД достоверно увеличивал урожайность картофеля препарат 8 — на 1.6 т/га или на 6.1%, а препараты 3 и 4 уменьшали ее на 1.3–4.2 т/га или на 5.0–16.1%.

Предлагаемые препараты влияли не только на валовую урожайность культуры, но и на качество клубней (табл. 7). Все препараты по сравнению с

Таблица 6. Влияние инновационных препаратов на валовую урожайность культуры, т/га

№ п/п	Вариант	Валовая урожайность, т/га	Прибавка урожайности, % к контролю
1	Контроль	22.2	—
2	Колфуго	24.1	8.5
3	Супер — стандарт	24.0	8.1
4	Редут — стандарт	26.1	17.6
5	ТМТД — стандарт	25.4	14.4
6	Препарат 1	25.0	12.6
7	Препарат 2	24.8	11.7
8	Препарат 3	21.9	—
9	Препарат 4	24.2	9.0
10	Препарат 5	21.5	—
11	Препарат 6	27.1	22.1
12	Препарат 7	27.7	24.8
	Препарат 8	1.2	
	НСП ₀₅		

контролем снижали долю непригодных клубней на 23.4–40.9% и соответственно увеличивали урожай здоровых клубней от ризоктониоза на 6.5–10.0 т/га или на 67.7–113%. Самым эффективным был препарат 2, он определил максимальную урожайность здоровых клубней 20.4 т/га. Препараты-стандарты также снижали долю непригодных клубней от 31.2 до 42.8% и увеличивали урожай здорового картофеля на 8.3–12.9 т/га или на 86.5–134%.

Установлено, что из всех препаратов, содержащих карбендазим, протравитель 2 достоверно не отличался от стандарта колфуго Супер по показателям качества и количества полученного здорового урожая. Таким образом, препарат 2 был самым эффективным препаратом в защите картофеля от ризоктониоза. По сравнению с препаратом колфуго Супер протравители 1, 3 и 4 были менее эффективными в снижении ризоктониоза на клубнях, и доля непригодных клубней была больше в 1.1–2.1 раза. Соответственно, урожай здоровых клубней в этих вариантах был достоверно меньше на 2.2–3.2 т/га или на 10.7–15.5%.

Препараты, содержащие тебуконазол (препараты 3–6), достоверно не отличались от стандарта редут по показателям качества клубней и количеству полученного урожая здоровых клубней. Однако была отмечена тенденция к снижению непригодных клубней и увеличению здорового урожая картофеля в вариантах с препаратами 4 и 5.

Все препараты, с тиамом Д (препараты 3, 4, 7, 8) по сравнению со стандартом ТМТД достоверно увеличивали долю непригодных клубней на 1.9–

Таблица 7. Влияние инновационных препаратов на качество и урожай здоровых клубней, т/га

№ п/п	Вариант	Весовая доля непригодных клубней, %	Урожайность здоровых клубней, т/га	Увеличение выхода здоровых клубней, %
1	Контроль	56.7	9.6	—
2	Колфуго	14.4	20.6	115
3	Супер — стандарт			
3	Редут — стандарт	25.5	17.9	86.5
4	ТМТД — стандарт	13.9	22.5	134
5	Препарат 1	30.4	17.7	84.4
6	Препарат 2	18.3	20.4	113
7	Препарат 3	29.8	17.4	81.2
8	Препарат 4	15.8	18.4	91.7
9	Препарат 5	22.8	18.7	94.8
10	Препарат 6	25.1	16.1	67.7
11	Препарат 7	30.1	18.9	96.9
12	Препарат 8	33.3	18.5	92.7
	НСР ₀₅		2.5	

19.4% и снижали урожай здоровых клубней на 3.6–5.1 т/га или на 16.0–22.7%. Однако была отмечена тенденция к увеличению урожайности здоровых клубней в вариантах с препаратами 4, 7 и 8.

Проведенный методом многомерного ранжирования анализ полученных результатов показал, что по совокупности признаков лучше всего против ризоктониоза картофеля в период вегетации защищали следующие инновационные препараты (табл. 8). Первое место занимал препарат 2, который наравне с протравителями-стандартами ТМТД и колфуго Супер защищал картофель в течение вегетации от ризоктониоза и способствовал увеличению урожая высокого качества. Пре-

параты 8, 1, 7 и 4 также показали хороший результат в оздоровлении посадок картофеля.

ВЫВОДЫ

1. Изучена биологическая эффективность в отношении сухих гнилей в период хранения и ризоктониоза картофеля в течение вегетации инновационных препаратов, приготовленных 2-мя альтернативными методами:

— методами механохимической модификации известных фунгицидов растительными метаболитами;

— методом суспендирования фунгицидов без использования традиционных формообразующих компонентов. Выявлено влияние экспериментальных препаратов на биометрические показатели растений, урожайность клубней картофеля и качество урожая.

2. Биологическая эффективность инновационных препаратов против сухих гнилей в период хранения варьировала от 68.0–77.0% (препараты 4, 5 и 8) до 87% (препараты 3, 7), или составляла 100% (препараты 2 и 6). Более всего снижали развитие ризоктониоза в период вегетации в следующем порядке препараты 2, 1, 3, 7 и 8. Препараты 2, 1, 4, 5, 7 и 8 увеличивали валовый урожай клубней на 9.0–24.8%.

3. Все изученные инновационные препараты снижали долю непригодных клубней от ризоктониоза на 23.4–40.9% и увеличивали урожай здоровых клубней на 67.7–113%. Самым эффективным препаратом в борьбе с ризоктониозом картофеля в период вегетации, который способствовал повышению урожайности культуры и качества полученной продукции был препарат 2.

Таблица 8. Ранжирование препаратов по совокупности признаков

Место объекта	Вариант	Сумма рангов
Группа “лучших” объектов		
1	Препарат 2	129
2	ТМТД	123
3	Колфуго Супер	123
Группа “средних” объектов		
4	Препарат 8	115
5	Препарат 1	107
6	Препарат 7	101
7	Препарат 4	101
Группа “худших” объектов		
8	Препарат 3	96.5
9	Редут	78.5
10	Препарат 6	73.5
11	Препарат 5	67.5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордеев А.В. Ключевая проблема развития агропромышленного комплекса страны – финансовое оздоровление сельских товаропроизводителей // Экономика сел.-хоз. и перерабат. предприятий. 2010. № 7. С. 9.
2. Россияне за год съели картошки на 25% больше нормы // Известия. 2018. <https://iz.ru/698963/2018-01-23/rossiiane-za-god-seli-kartoshki-na-25-bolshe-normy>
3. Анисимов А.В., Белов Г.Л., Варицев Ю.А., Еланский С.Н., Журомский Г.К., Завриев С.К., Зейрук В.Н., Иванюк В.Г., Кузнецова М.А., Плехневич М.П., Пшеченков К.А., Симаков Е.А., Склярова Н.П., Стасьевски З., Усков А.И., Яшина И.М. Защита картофеля от болезней, вредителей и сорняков. М.: Картофельовод, 2009. 272 с.
4. Шалдяева Е.М. Экологическое обоснование систем мониторинга и защиты картофеля от ризоктониоза в Западной Сибири: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Краснодар, 2007. 40 с.
5. Малуга А.А. Видовой состав и патогенность грибов рода *Fusarium*, вызывающих сухую гниль клубней картофеля в Западной Сибири // Микол. и фитопатол. 2003. Т. 37. Вып. 4. С. 84–91.
6. Малуга А.А., Коняева Н.М., Енина Н.Н., Фисечко Р.Н., Орлова Е.А., Сафонова А.Д., Николаева А.А. Система защиты картофеля от болезней и вредителей в Новосибирской области: Практич. рук.-во. Новосибирск: РАСХН, СО, СибНИИ земледелия и химизации сел. хоз-ва, 2003. С. 27–28.
7. Сафонова А.Д., Орлова Е.А., Коняева Н.М., Малуга А.А., Енина Н.Н. Сорта картофеля для Новосибирской области. Продуктивность, устойчивость к болезням, скороспелость, лежкость. Новосибирск: РАСХН, СО, СибНИИРС, 2003. 38 с.
8. Минсельхоз РФ. Итоги работы отрасли растениеводства в 2017 г. и задачи на 2018 год. 2018. https://www.ryazagro.ru/upload/medialibrary/435/prz_mcx.pdf
9. Тюттерев С.Л. Обработка семян фунгицидами и другими средствами оптимизации жизни растений. СПб., 2006. 248 с.
10. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации: справ. изд-е. М., 2016. 880 с.
11. Малуга А.А., Чуликова Н.С., Халиков С.С. Комплексные препараты для защиты картофеля на основе карбендазима // Агрохимия. 2017. № 6. С. 52–61.
12. Халиков С.С., Чкаников Н.Д., Спиридонов Ю.Я., Глинушкин А.П. Новый препарат для предпосевной обработки семян с комплексной защитой от болезней и остатков гербицидов в почве // Агрохимия. 2016. № 6. С. 39–45.
13. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 351 с.
14. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М., 2017. 944 с.
15. Методика исследований по культуре картофеля. М.: НИИКС, 1967. 264 с.
16. 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.

Efficiency of Innovative Preparations on the Basis of Tebuconazole, Tiram and Carbendasim against Potato Diseases

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

^a Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies RAS
Novosibirsk district, Novosibirsk region, r.p. Krasnoobsk 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 protectants for the integrated protection of potatoes against pathogens of dry fomo-fusarium rot during storage and rhizoctoniosis, experimental formulations of preparations based on mechanochemically modified tebuconazole, thiram and carbendazim complexes with plant metabolites and suspending the active ingredients of the same fungicides without using traditional forms. Testing of these protectants showed their high efficacy against storage rot, and in the field they reduced the development of rhizoctoniosis on potato stalks and influenced the plant productivity indicators, increased crop yield and quality of the new crop. It was shown that the proposed protectants had a high biological efficiency with reduced consumption rates of active substances.

Key words: tebuconazole, thiram, carbendazim, plant metabolites, mechanochemical modification, suspensions, protectants, potato, biological efficiency, productivity.

УДК 632.78:633.853.494

МЕТОД ФЕРОМОНИТОРИНГА КАПУСТНОЙ МОЛИ (*Plutella xylostella* L.) – ОПАСНОГО ВРЕДИТЕЛЯ РАПСА

© 2020 г. И. Ю. Бобрешова¹, Т. А. Рябчинская^{1,*}, С. В. Стулов²,
Ю. Б. Пятнова², С. Д. Каракотов²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений
396030 п. ВНИИСС, 92, Рамонский р-н, Воронежская обл., Россия

²Акционерное общество “Шелково Агрохим”
141101 Шелково, Московская обл., ул. Заводская, 2, Россия

*E-mail: biometod@mail.ru

Поступила в редакцию 25.06.2019 г.

После доработки 05.11.2019 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

Представлены сведения о биологических особенностях вредителя крестоцветных культур капустной моли (*Plutella xylostella* L.). Показана высокая опасность данного вида для культуры рапса. Для повышения эффективности защиты от данного вредителя актуальна разработка нетрудоемкого и обладающего достаточно высокой точностью метода мониторинга. Таким приемом является использование феромонных ловушек. Известен состав природного феромона капустной моли. В АО “Шелково Агрохим” синтезирован феромон для данного вида, но работы по созданию оптимальной препаративной формы для использования в ловушках продолжаются. Установлено, что динамика эмиссии феромона из диспенсера является наиболее важным фактором эффективности феромонной ловушки и находится в тесной зависимости от материала, использованного для изготовления диспенсера. Трехлетнее исследование ВНИИЗР позволило установить наиболее эффективный вид феромонного испарителя, позволяющего четко проследить динамику лёта бабочек капустной моли. Из 10 видов испытанных диспенсеров наиболее высокую и стабильную аттрактивность показал диспенсер из резины (образец РР), на который средний отлов бабочек в ловушку за неделю массового лета достигал 150 экз.

Ключевые слова: рапс, капустная моль, вредоносность, феромонные ловушки, мониторинг, численность, аттрактивность.

DOI: 10.31857/S0002188120050038

ВВЕДЕНИЕ

В современных системах защиты растений важное место занимает мониторинг вредных объектов, обеспечивающий достижение максимальной эффективности защитных мероприятий. Традиционные методы учета численности вредных членистоногих путем непосредственного осмотра растений весьма трудоемки, нередко не дают оперативной достоверной информации для своевременного решения вопроса о целесообразности и сроках проведения защитных мероприятий. Применение феромонных препаратов для мониторинга вредителей является наиболее простым и рентабельным средством обнаружения и оценки численности популяции вредного насекомого. Кроме того, феромонные ловушки позволяют решить вопрос о необходимости химиче-

ских обработок и оптимальных сроках их проведения различными средствами защиты растений.

В настоящее время феромонные препараты – это, как правило, синтетические аналоги половых феромонов насекомых. Являясь веществами природного происхождения, феромоны абсолютно безвредны, т.к. выделяются в воздух из диспенсера в нанограммовых количествах, не участвуют в пищевой цепи и специфичны – действуют только на целевой вид насекомого. Феромонные ловушки просты в обслуживании, могут быть размещены на любом участке и дают точные сведения о состоянии популяции вредителя в течение всего вегетационного сезона [1]. Бесспорным преимуществом ловушек является то, что они дают информацию о численности вредителя в невреждающей имажинальной стадии, а для подготовки к защитным мероприятиям при необходимости имеется достаточно времени.



Рис. 1. Самцы капустной моли на клеевом вкладыше феромонной ловушки.

Доказано, что использование синтетических половых феромонов в практике защиты растений от вредных видов позволяет сократить объем химических обработок до 60–70%, что экономически выгодно и способствует сохранению полезной фауны и оздоровлению окружающей среды в целом [2, 3]. Среди множества вопросов, необходимых для разработки приемов практического использования феромонов, одним из самых важных является стандартизация феромонных материалов, создание наиболее эффективной препаративной формы или диспенсера для использования в ловушках, а также определение пороговых величин отловов бабочек, при которых возникает опасность потери урожая выше критического уровня (5% потери урожая).

Культура рапса и ее значение. Рапс возделывают как масличную и кормовую культуру. Рапсовое масло используется в пищевой, химической, металлургической, лакокрасочной и других отраслях промышленности. Зеленая масса рапса богата протеином, витаминами, минеральными веществами. В настоящее время рапсовое масло применяют для изготовления биотоплива. Валовой сбор семян рапса по сравнению с 2013 г. в РФ вырос на 116 тыс. т (8.3%) [4]. Генетический потенциал урожайности ряда сортов и гибридов уже превышает 30 ц маслосемян/га. Площади посевов рапса в России в последние годы стабильно увеличиваются.

Одним из основных вредителей рапса является капустная моль *Plutella xylostella* L. — олигофаг, питающийся на растениях семейства капустных (Plutellidae).

Биологические особенности капустной моли и ее хозяйственное значение. По внешнему виду бабочек отличить непросто, в связи с их малыми размерами: размах их крыльев составляет 14–17 мм. Передние крылья серовато-бурые с волнистой белой полоской, расположенной вдоль заднего края; задние крылья — пепельно-серые, узкие, ланцетовидные, с очень длинной бахромой (рис. 1). Вредящая фаза — гусеницы, мелкие длиной до 12 мм, веретенообразные, с восемью парами ног, покрыты длинными редкими волосками. Молодые гусеницы желтоватые, в старших возрастах — ярко-зеленые.

Зимуют обычно куколки в коконе, реже — бабочки в растительных остатках в посевах капустных культур и сорняках. Лёт бабочек весной, как правило, совпадает с появлением всходов ярового рапса и горчицы. После вылета бабочки капустной моли нуждаются в дополнительном питании, от чего зависит продолжительность их жизни и плодовитость. Летают бабочки ночью, а днем прячутся под листьями, взлетая только при встряхивании растений. Срок откладки яиц первой и последней генераций капустной моли очень растянут и длится месяц–полтора, второй — наоборот, короткий. Самки капустной моли откладывают яйца по одному или группами (2–5 экз.) с нижней стороны листьев, вдоль жилок или на их черешки. Плодовитость самки составляет 70–170, максимум до 300 яиц.

Эмбриональное развитие капустной моли зависит от температурного режима. При среднесуточной температуре воздуха 14–18°C и гидротермическом коэффициенте (ГТК) = 2.3 гусеница

появляется через 9–12 сут, при 20–25°C и ГТК = 1.5 – через 4–7 сут [5].

Отродившиеся гусеницы вредителя проникают в мякоть листьев и прогрызают извилистые ходы-мины длиной до 6 мм. Через 2–3-е сут, после первой линьки они выходят наружу и питаются открыто с нижней стороны листьев, выгрызая мякоть и оставляя нетронутой лишь тонкую кожицу – “окошки”. Позже гусеницы выходят на поверхность листьев, выгрызая на них отверстия, а также повреждают створки стручков и выедают незрелые семена. Через 6–15 сут после 3-й линьки гусеницы капустной моли окукливаются в рыхлом коконе, прикрепленном к листьям, стручкам, стеблям кормового растения. Полный цикл развития одного поколения капустной моли длится от 31 до 44 сут в зависимости от температуры.

Лёт бабочек капустной моли 2-го поколения наблюдают в конце июня–июле. Начиная с августа появляются гусеницы 3-го и 4-го поколений. Количество генераций в течение вегетационного сезона зависит от района местообитания. В средней полосе за лето развивается 3 генерации, в Прибалтике – 2–3, в Приморье – 3, на Украине – до 4-х, в Закавказье – 6, в Туркмении – до 10. Сроки развития различных поколений, как правило, перекрываются, и одновременно можно наблюдать все фазы развития моли [6].

Данному виду присущи высокая вредоносность и отсутствие способности к дальним миграциям (только пассивный лёт на расстояния до 15 км). Вредитель является типичным космополитом, в России распространен повсеместно, где возделывают растения семейства капустных. В годы с высокой температурой воздуха и низким уровнем влажности гусеницы капустной моли из-за массового размножения вызывают полную или частичную гибель всходов рапса. Во время вспышек массового размножения капустная моль способна наносить значительный ущерб крестоцветным культурам. Потери урожая капусты в период массового размножения вредителя в Ленинградской обл. достигали 79.7%. При повреждении листовой поверхности на 50–75% (10–15 гусениц на растение) урожайность снижалась в 6 раз [7].

Периодические вспышки массового размножения наблюдают, как правило, на 6–8 год постоянного выращивания рапса в одном районе или хозяйстве. В Центрально-Черноземной зоне России резкий подъем численности капустной моли был отмечен в 2013 г., когда было заселено ≈80% площадей рапса при высокой плотности гусениц. В Липецкой и Белгородской обл. было уничтожено 16.9 тыс. га посевов [8]. Поэтому контроль чис-

ленности капустной моли является важным элементом технологии выращивания рапса, однако точный прогноз этого вредителя до настоящего времени не разработан. Изменения структуры посевных площадей в хозяйствах, увеличение доли рапса (>25%), уменьшение интервала возделывания культуры на отдельных полях стали причиной накопления вредителя. Кроме того, отсутствие контроля за падалицей в осенний период, борьбы с крестоцветными сорняками вокруг полей также создает благоприятные условия для сохранения и накопления вредителя.

Мониторинг капустной моли. Известен порог вредоносности моли для всех видов капусты, который устанавливается на стадии образования мутовки листьев и является критическим при обнаружении 2–5 гусениц/растение при заселении 10% растений и более [9]. Для рапса нет четких критериев прогноза численности этого вредителя.

Состав природного феромона самок капустной моли изучали с 1977 г. Американскими исследователями было установлено 4 компонента: цис-11-гексадеценаль (Z11HDAL), цис-11-гексадеценилацетат (Z11HDA), цис-11-гексадецен-1-ол (Z11HDOL) в соотношении 70:30:1 и в минорном количестве (0.01%) в смеси присутствовал Z-9-гексадеценилацетат (Z9HDA) [10]. В Северной Корее из экстрактов феромонных желез самок были выделены Z11HDAL:Z11HDA:Z11HDOL в соотношении 8:100:18 [11]. В Новой Зеландии в антеннографических исследованиях были установлены реакции самцов на 3 основных компонента Z11HDAL:Z11HDA:Z11HDOL в соотношении 60:30:10 [12]. Дальнейшие полевые испытания показали, что Z11HDAL и Z11HDA в соотношении 1:9 играют основную роль в привлечении самцов капустной моли к самкам. При добавлении к двухкомпонентной смеси от 1 до 10% Z11HDOL аттрактивность феромона для самцов существенно повышалась. Таким образом, по-видимому, у данного вида возможно наличие географических феромонных рас.

Исследования, проведенные в России в АО “Щелково Агрохим”, позволили определить наиболее эффективный трехкомпонентный состав феромонной композиции, в котором соотношение указанных выше компонентов было несколько иным: Z11HDOL добавляли в смесь основных компонентов Z11HDAL:Z11HDA (10:90) в качестве минорной добавки в количестве 0.99% от общего состава.

Цель работы – разработка нетрудоемкого и обладающего достаточно высокой точностью метода мо-

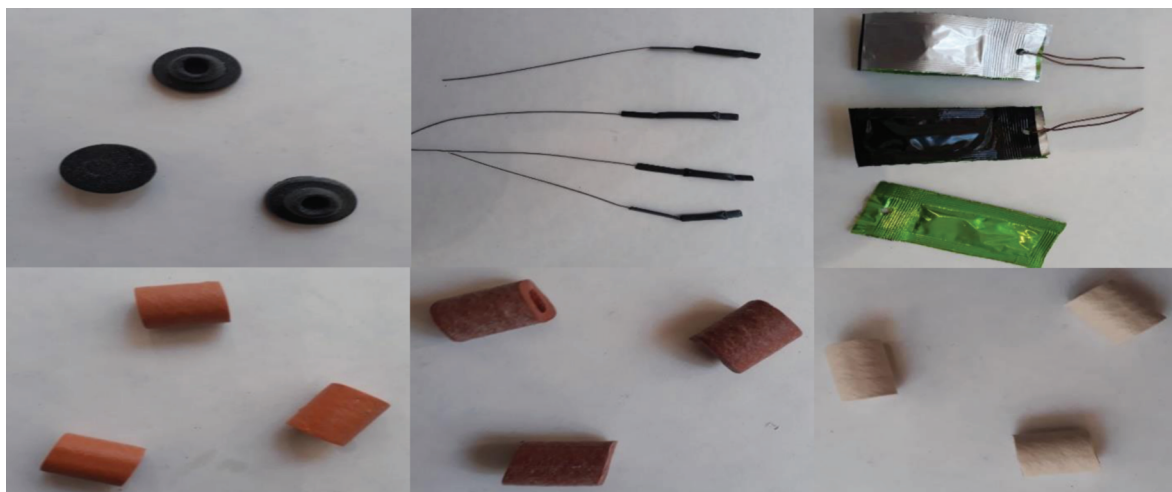


Рис. 2. Виды феромонных диспенсеров: верхний ряд (слева направо) — резиновые пробки (ЧП), пластиковые трубки (Т), фольгапленовые (ФП); нижний ряд — резиновые трубки (КР, РР, БР).

нитинга капустной моли (*Plutella xylostella* L.) — использование феромонных ловушек, создание оптимальной препаративной формы полового феромона для ловушек, а также изучение эффективности материала, использованного для изготовления диспенсера.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для разработки феромонного препарата капустной моли российского производства были синтезированы 3 компонента полового феромона этого вредителя: Z11HDAL, Z11HDA и Z11HDOL, которые наносили на разные виды диспенсеров в количестве 10 + 90 + 1 мкг. Поскольку эффективность феромонного препарата зависит не только от его химического состава, но и от материала диспенсера, определяющего скорость эмиссии феромона, испытания были направлены на поиск оптимальной препаративной формы.

Исследование было проведено в производственных посевах рапса в хозяйствах Воронежской (2017 г.) и Липецкой (2018, 2019 гг.) обл. В 2017 г. испытывали диспенсеры из резины (КР и БР) и 2 образца фольгапленовых диспенсеров (ФП-4 и ФП-5) с пленкой различной толщины, испускающей феромон. В 2018 г. были испытаны резиновые диспенсеры из резины (РР и ЧП), фольгапленовый (ФП) и пластиковый трубчатый диспенсер (Т) (рис. 2). В 2019 г. была исследована возможность увеличения аттрактивности диспенсеров образца Т(Д) и Т(Т) путем добавления к стандартному составу феромона антиоксидантов (диметилсульфооксида и токоферола соответственно), которые предназначены для минимизации окислительных процессов, приводящих к де-

градации или дезактивации феромона. Данные вещества увеличивали срок активного действия летучих соединений, лабильных к кислороду воздуха и УФ-излучению, которыми являются феромоны насекомых.

Для испытаний в поле использовали ловушки из ламинированного картона типа “дельта” производства АО “Щёлково Агрохим”. Ловушки выставляли на расстоянии 100 м от края поля на кольях и 15–20 м между ними при рендомизации вариантов в 4–5-ти повторностях, повторность — 1 ловушка (рис. 3). Учеты отлова бабочек проводили еженедельно до периода созревания бобов.



Рис. 3. Феромонная ловушка на поле рапса.

Для оценки прогностической достоверности данных отлова самцов в ловушки в период развития каждого поколения проводили учет численности гусениц вредителя на растениях при осмотре не менее 100 экз.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамику численности капустной моли прослеживали с помощью феромонных препаратов обычно в период лёта бабочек 1–2-го летних поколений, когда вредитель заселял посевы рапса, на котором проходило развитие 2-х последующих генераций. На рис. 4а четко выделены 2 пика лёта бабочек (3-я декада июня и конец 2-й декады июля) в 2017 г.

Из 4-х испытанных препаративных форм феромонов (*КР*, *БР*, *ФП-4* и *ФП-5*) наиболее высокую аттрактивность показали фольгапленовые диспенсеры, которые за период опыта привлекли в среднем 184–167 экз./ловушку. Несколько уступал им по эффективности диспенсер *КР* в период лёта бабочек 3-го поколения (150 экз./лов.). Самую низкую привлекательность для самцов капустной моли имели диспенсеры образца *БР*. О низкой эффективности диспенсеров образца *БР* и максимальной аттрактивности образца *КР* свидетельствовали также данные аналогичных исследований в Краснодарском крае [13].

Периодически проводимые учеты численности гусениц на рапсе не выявили существенной вредоносности капустной моли, на поле обнаруживали только единичные повреждения листьев. В 2017 г. отлов до 40–50 экземпляров за неделю массового лёта вредителя в феромонные ловушки с наиболее активными феромонными материалами находился в пределах ниже границы хозяйственно опасного уровня вредоносности (5% потери урожая).

Лабораторные исследования скорости испарения компонентов феромона из разных типов диспенсеров, проведенные в АО “Шелково Агрохим”, показали, что эффективное количество феромона, обеспечивающее хорошую аттрактивность, в резиновом диспенсере образца *РР* поддерживалось на протяжении 1 мес. без замены, трубчатые и фольгапленовые диспенсеры работали весь период лёта вредителя. Вследствие этого при дальнейших исследованиях резиновые диспенсеры *РР* и *ЧП* через 1 мес. работы меняли на новые. В 2018 г. и 2019 гг. сравнительное изучение аттрактивности для целевого вида новых препаративных форм (диспенсеры *РР*, *Т*, *ЧП*, *ФП* и *РР*, *Т(Д)*, *Т(Т)*) проводили в одном из хозяйств Хлевенского р-на Липецкой обл. (с. Дмитришевка).

В 2018 г. опыт был проведен в период лёта бабочек 1–2-го летних поколений вредителя. Диспенсеры *КР* были исключены из дальнейших испытаний, поскольку марку данной резины перестали выпускать для промышленных целей. Фольгапленовые диспенсеры, показавшие лучшие результаты в 2017 г., были приняты в 2018 г. за эталон (*ФП*). Динамика отлова бабочек за период наблюдений на фоне химической обработки в конце июня имела фактически линейный характер при постепенном снижении количества отлавливаемых самцов, что, по-видимому, явилось следствием проведенной химической обработки, оказавшей определенное действие на имаго капустной моли и последующую плотность популяции (рис. 4б). Наибольшую аттрактивность во все периоды лёта бабочек показал диспенсер образца *РР*, который в предыдущем году не испытывали (46.2% от общего отлова бабочек целевого вида). Диспенсеры *ФП* и *Т* показали примерно сходную аттрактивность (18.2–24.7% общего улова). Наименьшая эффективность в привлечении самцов данного вида отмечена у диспенсеров *ЧП*, несмотря на их замену через 1 мес. после вывешивания ловушек.

После первого пика лёта бабочек первого летнего поколения был проведен учет поврежденности растений рапса гусеницами капустной моли. Поврежденность растений по среднему баллу 1 (до 25% поврежденности листовой поверхности) составила 11.9%. Второй учет был проведен на стадии созревания стручков, поврежденность растений с интенсивностью 1.8 балла составила 90%, что фактически не нанесло ощутимого вреда культуре.

В 2019 г. динамику лёта бабочек капустной моли проследили на протяжении 2-х мес., начиная с конца мая, когда наблюдали массовый лёт бабочек перезимовавшего поколения (рис. 4в). Для этой цели использовали диспенсеры *РР*, которые в опыте по сравнительному испытанию различных диспенсеров служили эталоном. Погодные условия в данном вегетационном сезоне складывались сложные: прохладная продолжительная весна, с частым выпадением осадков, в июне–июле отмечали периоды резких похолоданий, что не могло не сказаться на плотности популяции и фенологических особенностях развития вредных членистоногих. В сезонной динамике лёта бабочек капустной моли, интенсивность которого была намного слабее, чем в предыдущие годы, наблюдали 3 пика разной амплитуды. Низкая численность бабочек 2-го поколения могла быть обусловлена как проводимой в хозяйстве химической обработкой против комплекса вредителей,

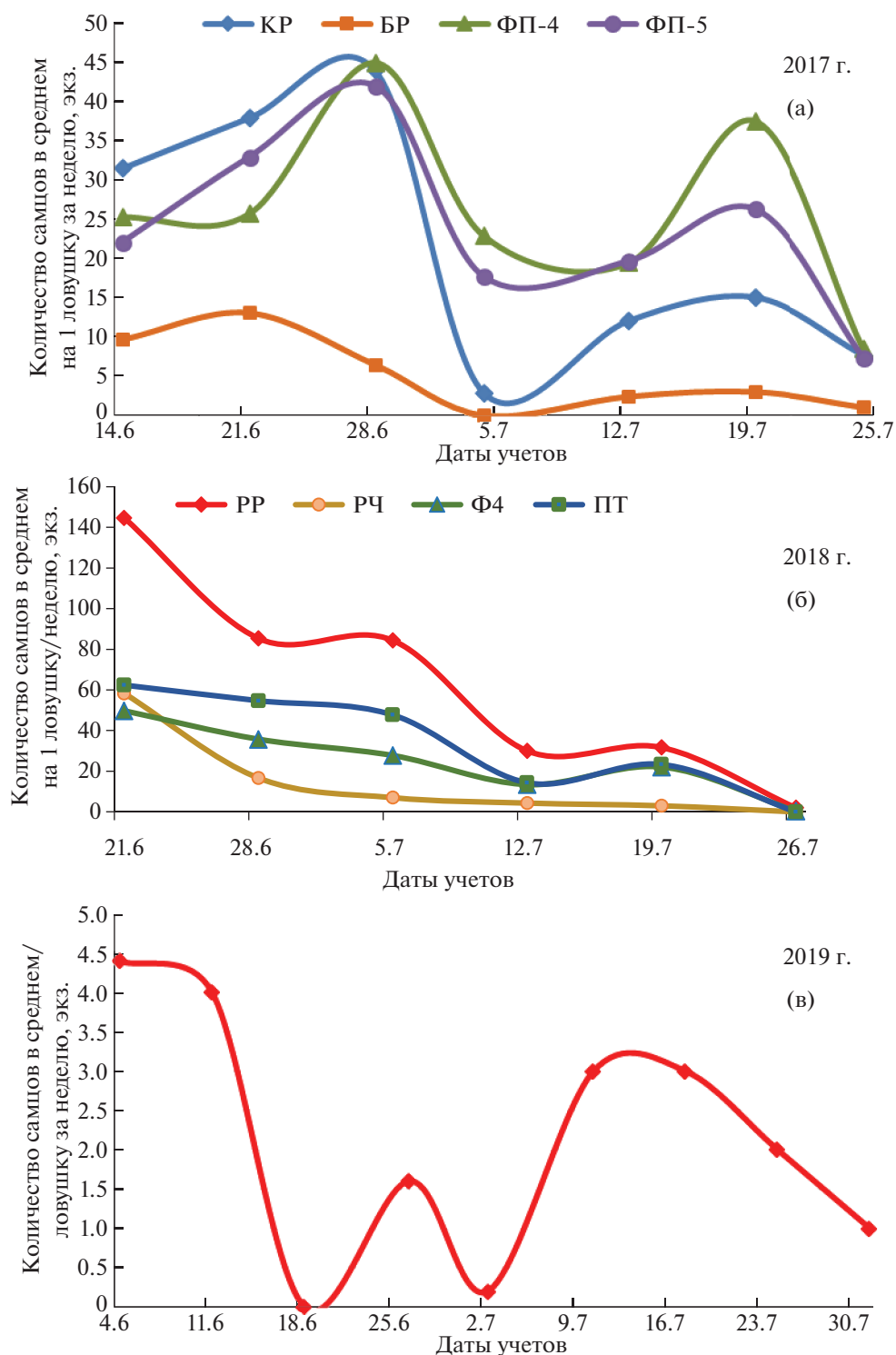


Рис. 4. Динамика отловов бабочек капустной моли в ловушки с различными видами диспенсеров (2017–2019 гг.).

так и холодными погодными условиями данного периода. При учете численности личинок и куколок вредителя 2-го поколения поврежденность растений составляла до 80–90% по 1–2 баллам

при плотности популяции до 4 экз./растение. Гусеницы 3-го поколения повреждали также бобы, соскабливая кожуру, не нанося существенного вреда урожаю.

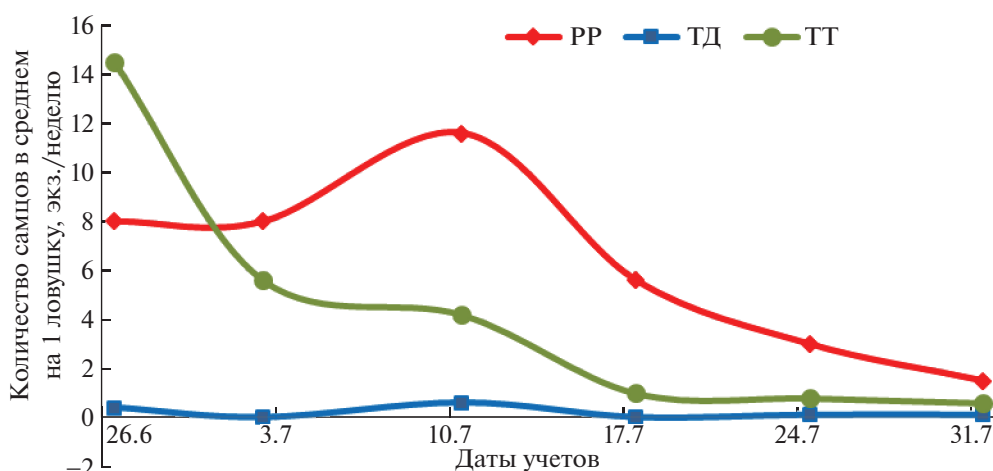


Рис. 5. Влияние антиоксидантов на аттрактивность диспенсеров из пластиковых трубок в сравнении с эталоном (диспенсером PP).

Опыт по сравнительному изучению аттрактивности новых феромонных материалов с внесением в диспенсеры антиоксидантов $T(D)$ и $T(T)$, показал, что токоферол подавлял отлов самцов капустной моли, а диметилсульфооксид увеличивал аттрактивность диспенсера T по сравнению с эталоном PP только в первую неделю после вывешивания ловушек (рис. 5). Таким образом, оптимальным видом диспенсера для проведения феромониторинга капустной моли был образец PP .

Следующим этапом исследований в разработке метода феромониторинга является установление критериев пороговых отловов самцов в феромонные ловушки, соответствующих порогу вредоносности капустной моли. Предварительные расчеты показали, что ориентировочными критериями пороговой численности данного вредителя, при которых необходимо проведение защитных мероприятий (поврежденность более 25% листовой поверхности), можно считать отлов 140 экз. бабочек/ловушку/неделю массового лёта с диспенсером PP и 50–60 экз. – на феромонные диспенсеры образцов T и ΦP . Данные критерии будут уточнены при разработке методики проведения мониторинга капустной моли с помощью феромонных ловушек. В условиях Краснодарского края было показано, что место размещения ловушек для количественного отлова самцов в феромонные ловушки не имело существенного значения [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что феромонный препарат для мониторинга капустной моли российского производства (АО «Щелково Агрохим»)

был эффективен и его можно применять в системе интегрированной защиты этого вредителя. В настоящее время самым эффективным диспенсером для использования ловушек в целях феромониторинга следует признать диспенсеры образца PP , которые позволили проследить сезонную динамику лёта вредителя на фоне плотности популяции существенно меньше хозяйственно опасного уровня. Наиболее удобно размещать ловушки в одном междурядье на расстоянии 50–80 м от края поля, что облегчает проведение учетов отловленных бабочек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесова Д.А., Рябчинская Т.А., Золотов Л.А. Пособие по применению феромонных ловушек в интегрированных системах защиты сельскохозяйственных культур от вредителей. Воронеж, 1991. 71 с.
2. Гричанов И.Я., Овсянникова Е.И. Феромоны для фитосанитарного мониторинга вредных чешуекрылых. СПб.—Пушкин, 2005. 244 с.
3. Пятнова Ю.Б., Лебедева К.В., Каракотов С.Д. Феромоны насекомых на службе защиты растений // Агрохимия. 2015. № 5. С. 37–40.
4. Голохвастов А.М. Мировой рынок рапса. 2018 г. Электр. ресурс: https://agrichons.ru/images/raps_2018.pdf
5. Осмоловский Г.Е. Вредители капусты. Л.: Колос, 1972. 80 с.
6. Вянгеляускайте А.П., Жуклене Р.М., Жуклис Л.П. Вредители и болезни овощных культур. М.: Агропромиздат, 1989. 462 с.
7. Иванюк В.Г., Колядко Н.Н., Комарова М.С., Новикова О.Т. Болезни и вредители овощных культур / Под ред. Самерсова В.Ф. М.: Урожай, 1994. С. 18–19.

8. Буханистая Г.Ф., Поздышева О.Г. Чрезвычайная ситуация выявила пробелы в законодательстве / КиберЛенинка: <https://cyberleninka.ru/article/n/chrezvychaynaya-situatsiya-vyyavila-probely-v-zakonodatelstve>. 2014.
9. Электр. ресурс: <http://www.pesticity.ru>
10. Chrisholm M.D., Steck W.F., Underhill E.W. Field trapping of diamondback moth *Plutella xylostella* using an improved four component sex attractant blend // J. Chem. Ecol. 1983. V. 9. № 1. P. 113–118.
11. Chang Y.Y., Lee S., Choi K.S. Sex pheromone production and response in Korean populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* // Entomol. Exp. Appl. 2007. № 124. P. 293–298.
12. Suckling D.M., Gibbl A.R., Daly J.M. Improving the pheromone lure for diamondback moth // NZ Plant Prot. 2002. V. 55. P. 182–187.
13. Семеренко С.А., Бушинева Н.А. Применение феромонных ловушек на яровом рапсе для учета численности капустной моли // Масличные культуры. Научн.-практ. бюл. Всерос. НИИ масличных культур // 2018. Вып. 176. С. 172–177.

Method of Pheromone Monitoring of the Cabbage Moth (*Plutella xylostella* L.) – Dangerous Pest of Rape

I. Yu. Bobreshova^a, T. A. Ryabchinskaya^{a, #}, S. V. Stulov^b,
Yu. B. Pyatnova^b, and S. D. Karakotov^b

^a The Russian Research Institute for Plant Protection
p. VNIISS 92, Ramonsky district, Voronezh region 396030, Russia

^b Joint-Stock Company “Shchelkovo agrochem”
ul. Zavodskaya 2, Moscow region, Shchelkovo 141101, Russia

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

Information about biological features of the pest of cruciferous cultures of cabbage moth (*Plutella xylostella* L.) is presented. The high danger of this type for rapeseed culture is shown. To improve the effectiveness of protection against this pest, it is important to develop a low-labor-intensive and highly accurate monitoring method. This technique is the use of pheromone traps. The composition of the natural pheromone of the cabbage moth is known. Shchelkovo agrochem has synthesized a pheromone for this species, but work is continuing to create the optimal formulation for use in traps. It was found that the dynamics of pheromone emission from the dispenser is the most important factor in the effectiveness of the pheromone trap and is closely dependent on the material used to manufacture the dispenser. A three-year study by the VNIIZR allowed us to establish the most effective type of pheromone vaporizer that allows us to clearly trace the dynamics of the summer of cabbage moth butterflies. Of the 10 types of tested dispensers, the highest and most stable attractiveness was shown by a rubber dispenser (PP sample), for which the average catch of butterflies in a trap for a week of mass summer reached 150 copies.

Key words: rapeseed, cabbage moth, harmfulness, pheromone traps, monitoring, number, attractivity.

УДК 631.81.033:632.51:631.582:631.8:632.954

ВЫНОС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ СОРНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА ПРИ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ И ГЕРБИЦИДОВ В ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2020 г. Н. В. Токарева¹, В. В. Суrow^{1,*}, О. В. Чухина¹

¹Вологодская государственная молочно-хозяйственная академия им. Н.В. Верещагина
160555 Вологда, с. Молочное, ул. Шмидта, 2, Россия

*E-mail: wladimirsurow@rambler.ru

Поступила в редакцию 26.10.2019 г.

После доработки 29.11.2019 г.

Принята к публикации 10.02.2020 г.

В условиях стационарного 4-польного севооборота в 2010–2012 гг. на дерново-подзолистой средне-суглинистой почве Вологодской обл. изучено влияние применения удобрений и гербицидов на вынос азота, фосфора, калия сорной растительностью. В среднем за 3 года во всех вариантах опыта обработка гербицидами снижала количество сорняков в полях севооборота на 36%, а их вегетативная масса уменьшалась на 70%. При применении гербицидов наблюдали тенденцию к снижению содержания азота, фосфора, калия в вегетативной массе сорняков. Химическая прополка культур снижала хозяйственный вынос сорной растительностью азота по отношению к абсолютному контролю на 54–88, фосфора – на 54–86, калия – 43–89%. Сорные растения затрачивали на создание 1 т своей зеленой массы в 4–5 раз больше азота и калия, чем фосфора.

Ключевые слова: вынос элементов питания, сорная растительность, севооборот, удобрения, гербициды, Вологодская обл.

DOI: 10.31857/S0002188120050154

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что Вологодская обл. относится к зоне рискованного земледелия, климат региона благоприятен как для роста многих сельскохозяйственных культур, так и для роста большого количества видов сорной растительности.

Давно установлено, что даже при хорошем развитии культурных растений сорняки поглощают значительное количество питательных веществ из почвы и удобрений. Зачастую, без применения гербицидов до 50% элементов питания удобрений расходуется сорняками. В таких условиях внесение удобрений не обеспечивает рациональный расход питательных веществ культурными растениями.

Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур всегда являлось и сегодня остается актуальной задачей, стоящей перед сельскохозяйственными товаропроизводителями. Ликвидация сорной растительности на полях создает большой резерв для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Основная специализация хозяйств Вологодской обл. – мясомолочное животноводство. Основные культуры,

возделываемые в регионе, в том числе на кормовые цели: однолетние травы, озимая рожь, картофель, ячмень.

Избыточное увлажнение сельскохозяйственных угодий Вологодской обл. способствует их высокой засоренности сорняками, поэтому в посевах культурных растений необходимо применение гербицидов [1].

Во многих странах мира большое внимание уделяется вопросу определения потерь урожая от сорняков и мерам борьбы с данным негативным фактором сельхозпроизводства. Особый интерес представляет совместное применение гербицидов и удобрений, т.к. за счет совмещения операций достигается агрономический и экономический эффект, способствуя уничтожению сорных растений в наиболее ранний период, не позволяя им использовать питательные вещества вносимых удобрений.

Для сохранения почвенного плодородия в природно-климатических условиях Вологодской обл. актуально изучение применения гербицидов в полевых севооборотах и их влияния на вынос

основных элементов питания сорняками на фоне различных доз удобрений.

Цель работы — изучение видового состава сорняков в полевом севообороте, влияния удобрений и гербицидов на их биомассу, изучение хозяйственного выноса сорняками азота, фосфора, калия из удобрений и почвы, выноса (затрат) элементов питания сорняками на создание единицы продукции.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2010–2012 гг. в стационарном 4-польном севообороте (аттестат длительного опыта № 164), заложенном в 1990 г. на учебно-опытном поле Вологодской ГМХА, находящимся в 20 км к западу от г. Вологды около д. Марфино Вологодского р-на.

Почва исследованного участка — дерново-подзолистая среднесуглинистая со средним уровнем окультуренности. В 2010 г., перед началом наблюдений пахотный слой почвы участка имел следующую агрохимическую характеристику: pH_{KCl} 4.9 (среднекислая реакция среды), содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) — 132 мг/кг (повышенное), подвижного калия — 55 мг/кг почвы (низкое), гумуса (по Тюрину) — 2.5%. По основным агрохимическим показателям пахотного слоя почва полевого севооборота являлась характерной для большинства сельскохозяйственных угодий Вологодской обл. [2]. Погодные условия в годы наблюдений отличались от среднегодовых показателей.

Чередование культур в севообороте: викоовсяная смесь на зеленую массу (вика сорта Львовская 22, овес сорта Боррус) — озимая рожь сорта Волхова — картофель сорта Елизавета — ячмень сорта Выбор.

Схема опыта в годы исследования (доза удобрений указана в среднем в севообороте), варианты: 1 — контроль (без удобрений), 2 — N14P17K12, 3 — N93P41K90, 4 — N138P41K90, 5 — N58P20K45 + торфонавозный компост 40 т/га под картофель. Повторность опыта четырехкратная, размещение делянок — усложненно-систематическое. Размер опытной делянки 10 м × 14 м (площадь 140 м²). Изучали 2 фактора: А — удобрения, Б — гербициды. Гербицидами обрабатывали половину опытной делянки: в посеве викоовсяной смеси применяли препарат гербитокс (норма расхода 0.7 л/га), озимой ржи — гербитокс (1 л/га), картофеля — препарат лазурит (1 кг/га), ячменя — препарат секатор турбо (0.07 л/га) [3].

Гербитокс (д.в. МЦПА (диметиламинная + калиевая + натриевая соли), 500 г/л) является системным гербицидом избирательного действия для защиты яровых и озимых зерновых, зернобобовых культур от однолетних двудольных сорняков.

Лазурит (д.в. метрибузин, 700 г/кг) является системным гербицидом избирательного действия для борьбы с однолетними двудольными и злаковыми сорняками на полях картофеля, не оказывает негативного влияния на культурные растения.

Секатор турбо (д.в. йодосульфуронметил-натрия 25 г/л, амидосульфурон 100 г/л, мефенпирдиэтил 250 г/л) — это высокоселективный системный гербицид для применения в посевах пшеницы, ячменя, кукурузы и льна-долгунца против однолетних и некоторых многолетних двудольных сорняков [4].

Системы удобрения под культуры рассчитаны по методике Жукова с помощью балансовых коэффициентов [5] на получение планового урожая: викоовсяной смеси — 25, озимой ржи — 3.5, картофеля — 25, ячменя — 3.5 т/га.

Под зяблевую вспашку вносили $\text{P}_{\text{зд}}$ и $\text{K}_{\text{х}}$, а также торфонавозный компост 40 т/га под картофель. Весной под предпосевную культивацию вносили $\text{N}_{\text{аа}}$. При посеве с семенами озимой ржи, викоовсяной смеси и ячменя в рядки вносили сложное азотно-фосфорно-калийное удобрение, под картофель — НАФ. Посадку картофеля проводили в гребни, зерновые культуры сеяли рядовым способом.

В период всходов сорняков на опытных делянках (до обработки гербицидами) проводили количественный и видовой учет засоренности посевов. На делянке в 4-х точках накладывали рамку площадью 0.25 м². Внутри рамок подсчитывали количество стеблей культурных и сорных растений, а также определяли видовой состав сорняков и их количество на 1 м².

Через 2 нед после обработки гербицидами определяли изменение количественно-видового состава сорняков. Перед уборкой урожая культур также проводили учет сорняков в каждом варианте на площади 1 м²: подсчитывали количество культурных и сорных растений, затем определяли их сырую и сухую биомассу. Отбирали образцы на химический анализ для определения выноса питательных веществ сорняками [3].

В отобранных образцах определяли содержание следующих элементов: азот — по ГОСТ 13496.4-93 [6], фосфор — по ГОСТ 26657-97 [7], калий — по ГОСТ 30504-97 [8].

Таблица 1. Видовой состав сорной растительности в севообороте при применении удобрений и гербицидов (средние за 3 года), шт./м²

Видовой состав сорной растительности	Варианты, дозы удобрений (средние в севообороте)				
	1. Контроль	2. N14P17K12	3. N93P41K90	4. N138P41K90	5. N58P20K45 + + ТНК 40 т/га
Марь белая	49/34	47/37	53/41	61/44	54/38
Торица обыкновенная	17/6	16/6	21/7.7	20/6	20/7
Редька дикая	7/1	7/2	8/3	10/3	8/2
Ромашка непахучая	7/3	5/1	7/3	7/3	6/2
Звездчатка средняя	95/22	84/20	110/26	106/26	89/21
Пастушья сумка	6/2	7/2	6/3	7/4	7/3
Одуванчик лекарственный	7/2	7/2	6/3	9/4	7/3
Подорожник большой	5/2	6/2	8/3	8/3	7/2
Осот полевой	7/3.3	7/3	6/3	6/3	7/3
Бодяк полевой	6/3	5/3	6/3	7/4	6/3
Вьюнок полевой	5/2	5/2	6/3	6/3	6/2
Пырей ползучий	42/10	38/10	33/11	43/12	44/11
Мята полевая	15/5	10/4	12/5	14/5	11/4
Мать-и-мачеха	3/1	3/0.3	5/2	5/2	5/2
Всего	269/69	247/94	287/116	311/122	277/102

Примечания. 1. ТНК — торфо-навозный компост. То же в табл. 2–5. 2. Над чертой — до обработки гербицидом, под чертой — после обработки.

Статистическую обработку полученных результатов провели методом двухфакторного дисперсионного анализа при помощи программы Excel и методами математической статистики [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что сорная растительность в полевом севообороте, состоящем из викоовсяной смеси, озимой ржи, картофеля и ячменя, была представлена 14 видами. Из однолетних яровых встречались марь белая (*Chenopodium album*), торица обыкновенная (*Spergula vulgaris*), редька дикая (*Raphanus raphanistrum*), из однолетних зимующих — ромашка непахучая (*Matricaria inodora*), звездчатка средняя (*Stellaria media*), пастушья сумка (*Capsella bursa-pastoris*), из однолетних стержнекорневых — одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), из многолетних яровых — подорожник большой (*Plantago major*), из многолетних корнеотпрысковых — осот полевой (*Sonchus arvensis*), бодяк полевой (*Cirsium arvense*), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*), из многолетних корневищных — пырей ползучий (*Elytrigia repens*), мята полевая (*Mentha arvensis*), мать-и-мачеха (*Tussilago farfara*). Показан видовой состав сорняков и изменение их численности в целом в 4-х полях севооборота при применении удобре-

ний и гербицидов в среднем за 3 года исследования (табл. 1).

При повышении дозы внесенных удобрений увеличивалось количество сорняков в полях севооборота, а обработка гербицидами уменьшала их численность: в контроле — на 26, в варианте 2 — на 38, в варианте 3 — на 40, в варианте 4 — на 39, в варианте 5 — на 37%.

Изменение биомассы сорной растительности под культурами севооборота в зависимости от применения расчетных доз удобрений и гербицидов показано в табл. 2. Под культурами севооборота наибольшую вегетативную массу сорняки формировали в вариантах 4 и 5, где вносили высокие дозы удобрений. Обработка гербицидами значительно снижала массу сорняков. В среднем за 3 года наблюдений гербитокс в посевах викоовсяной смеси снижал вегетативную массу сорняков в контроле на 63, в вариантах с расчетными дозами удобрений — на 61–66%: гербитокс в посевах озимой ржи — на 73 и 71–73%, лазурит в посадках картофеля — на 72 и 61–71%, секатор турбо в посевах ячменя — на 85 и 60–80% соответственно.

Внесение удобрений и применение гербицидов оказывало влияние на содержание азота, фосфора и калия в сорной растительности севообо-

Таблица 2. Масса сорняков в севообороте в зависимости от применения расчетных доз удобрений и гербицидов, т/га

Вариант	2010 г.		2011 г.		2012 г.		Среднее	
	1*	2*	1	2	1	2	1	2
Викоовсяная смесь								
1. Контроль	1.76	0.61	2.23	0.91	2.15	0.75	2.05	0.76
2. N12P16K16	1.97	0.70	2.64	0.96	2.25	0.72	2.29	0.79
3. N75P35K85	2.14	0.94	2.81	1.12	2.43	0.78	2.46	0.95
4. N110P35K85	2.34	0.96	2.96	1.23	2.56	0.83	2.62	1.01
5. N50P20K65 + последствие ТНК	2.12	0.89	2.78	0.95	2.51	0.84	2.47	0.89
Озимая рожь								
1. Контроль	1.12	0.32	1.24	0.34	1.19	0.31	1.18	0.32
2. N12P16K16	1.23	0.34	1.35	0.38	1.26	0.35	1.28	0.36
3. N90P40K65	1.42	0.41	1.54	0.41	1.37	0.38	1.44	0.40
4. N130P40K65	1.49	0.43	1.62	0.48	1.52	0.44	1.54	0.45
5. N80P35K65 + последствие ТНК	1.43	0.45	1.56	0.39	1.44	0.37	1.48	0.40
Картофель								
1. Контроль	3.50	1.02	3.36	0.86	2.96	0.83	3.27	0.90
2. N20P20	2.87	0.85	3.42	0.87	3.21	1.02	3.17	0.91
3. N125P50K150	4.32	1.34	4.47	1.36	3.89	1.21	4.23	1.30
4. N190P50K150	5.21	2.43	4.89	1.93	4.31	1.29	4.80	1.88
5. N70P15K30 + ТНК 40 т/га	3.45	1.23	4.23	1.27	4.12	1.18	3.93	1.23
Ячмень								
1. Контроль	2.38	0.39	2.41	0.37	2.35	0.32	2.38	0.36
2. N12P16K16	2.72	0.33	2.77	0.36	2.64	0.34	2.71	0.34
3. N80P40K60	2.65	0.56	2.82	0.61	2.73	0.54	2.73	0.57
4. N120P40K60	2.23	0.37	2.93	0.65	2.81	0.59	2.66	0.54
5. N30P10K20 + последствие ТНК	2.87	1.48	2.79	0.98	2.69	0.83	2.78	1.10

Примечание. В графе 1 — без обработки гербицидом, 2 — при обработке. То же в табл. 3–5.

рота (табл. 3). Внесение расчетной дозы удобрений существенно увеличивало содержание азота в сорняках, произрастающих в полях с озимой рожью, картофелем, ячменем; уменьшало содержание фосфора в них на полях с викоовсяной смесью; увеличивало содержание фосфора в сорняках на полях с картофелем, а также калия — на полях с картофелем и ячменем.

Химическая прополка оказала существенное влияние на содержание азота в сорняках, произрастающих под всеми культурами севооборота: фосфора — на полях с викоовсяной смесью и картофелем, калия — на полях с картофелем и ячменем. При применении гербицидов в вариантах с викоовсяной смесью содержание азота в сорной растительности по отношению к абсолютному контролю снижалось на 3–10, фосфора — на 7–33, калия — до 4%; в вариантах с озимой рожью: азота — на 5–20, фосфора — до 9, калия — до 10%; в вариантах с картофелем — на 7–34, 10–28, 32–

59%; в вариантах с ячменем — до 17, на 3–5, на 6–18% соответственно.

Для формирования своей биомассы сорняки, как и сельскохозяйственные культуры, потребляют питательные вещества из почвы и удобрений. Количество потребления зависит от биологических особенностей растений, внесенных удобрений, содержания элементов в почве, уровня агротехники, агрометеорологических условий и других факторов.

Данные фактической биомассы сорняков и содержания азота, фосфора, калия в ней позволили рассчитать величину хозяйственного выноса элементов питания (табл. 4). Хозяйственный вынос имеет значение при расчете затрат (выноса) элементов питания сорными растениями для создания единицы своей продукции [10].

С увеличением внесенных под викоовсяную смесь доз удобрений хозяйственный вынос азота сорной растительностью увеличивался на 9–22,

Таблица 3. Содержание азота, фосфора, калия в сорной растительности севооборота (среднее за 3 года), % на абсолютно сухое вещество

Варианты, дозы удобрений средние в севообороте	Викоовсяная смесь		Озимая рожь		Картофель		Ячмень	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Азот								
1. Контроль	2.86	2.73	2.08	1.67	3.30	2.74	2.04	1.69
2. N14P17K12	2.80	2.68	2.02	1.97	3.41	2.43	2.06	2.10
3. N93P41K90	2.79	2.66	1.99	1.94	3.53	2.83	2.02	1.96
4. N138P41K90	2.63	2.57	2.19	1.97	3.42	2.19	2.49	2.07
5. N58P20K45 + ТНК 40 т/га	2.91	2.78	1.91	1.83	3.83	3.07	2.70	1.99
НСП ₀₅ фактора А	—		0.12		0.15		0.17	
НСП ₀₅ фактора Б	0.06		0.08		0.08		0.11	
НСП ₀₅ взаимодействия А × Б	—		0.05		0.06		—	
Фосфор								
1. Контроль	0.95	0.88	0.53	0.52	0.86	0.74	0.37	0.35
2. N14P17K12	0.93	0.79	0.55	0.53	0.99	0.77	0.36	0.36
3. N93P41K90	0.95	0.82	0.51	0.50	0.95	0.74	0.37	0.35
4. N138P41K90	0.79	0.69	0.63	0.52	0.86	0.62	0.38	0.36
5. N58P20K45 + ТНК 40 т/га	0.73	0.64	0.52	0.48	0.98	0.71	0.38	0.36
НСП ₀₅ фактора А	0.05		—		0.02		—	
НСП ₀₅ фактора Б	0.02		—		0.01		—	
НСП ₀₅ взаимодействия А × Б	—		—		0.01		—	
Калий								
1. Контроль	3.60	3.53	3.31	3.10	4.42	1.81	3.15	2.58
2. N14P17K12	3.69	3.60	3.09	2.96	4.97	2.09	3.06	2.96
3. N93P41K90	3.56	3.48	3.33	3.04	4.91	3.02	3.60	3.52
4. N138P41K90	3.51	3.47	3.29	3.27	3.93	2.99	3.57	3.44
5. N58P20K45 + ТНК 40 т/га	3.55	3.50	3.24	3.56	4.99	2.73	3.45	3.34
НСП ₀₅ фактора А	—		—		0.12		0.16	
НСП ₀₅ фактора Б	—		—		0.08		0.11	
НСП ₀₅ взаимодействия А × Б	—		—		0.05		0.07	

Примечание. Фактор А — удобрения, фактор Б — гербицид, фактор А × Б — удобрения + гербицид.

фосфора — на 6–10, калия — на 15–25%. Хозяйственный вынос сорняками азота, фосфора, калия на поле с озимой рожью увеличивался на фоне минеральных систем удобрения на 5–37, 12–56, 1–30%, на поле с картофелем — на 31–52, 11–47, 9–43% соответственно. Увеличение доз удобрений под ячмень повышало хозяйственный вынос азота сорняками на 14–36, фосфора — на 9–23, калия — на 11–31%. За счет обработок культур севооборота гербицидами хозяйственный вынос элементов питания сорной растительностью снижался.

Гербитокс в посевах викоовсяной смеси снижал хозяйственный вынос азота, фосфора, калия сорной растительностью по отношению к абсо-

лютному контролю на 56–65, 61–71, 52–64% соответственно. В посевах озимой ржи данный гербицид снижал хозяйственный вынос азота, фосфора, калия сорной растительностью соответственно на 64–77, 62–75, 43–75%. Лазурит в посадках картофеля снижал хозяйственный вынос азота, фосфора, калия сорняками на 62–80, 59–76, 61–89%. Секатор турбо в посевах ячменя снижал хозяйственный вынос азота, фосфора, калия сорняками на 54–88, 54–86, 51–88%.

Вынос (затраты) элементов питания сорными растениями для создания 1 т зеленой массы менялся в соответствии с хозяйственным выносом и зависел от величины зеленой массы и содержания

Таблица 4. Хозяйственный вынос элементов питания из удобрений и почвы сорной растительностью (среднее за 3 года), кг

Вариант	Азот		Фосфор		Калий	
	1	2	1	2	1	2
Викоовсяная смесь						
1. Контроль	14.7	5.2	4.9	1.7	18.4	6.7
2. N12P16K16	16.0	5.3	5.4	1.6	21.1	7.2
3. N75P35K85	17.1	6.3	5.9	1.9	21.9	8.3
4. N110P35K85	17.3	6.5	5.2	1.8	23.0	8.8
5. N50P20K65 + последствие ТНК	18.0	6.2	4.5	1.4	22.0	7.8
Озимая рожь						
1. Контроль	6.2	1.4	1.6	0.4	9.8	2.5
2. N12P16K16	6.5	1.8	1.8	0.5	9.9	2.7
3. N90P40K65	7.1	2.0	1.9	0.5	12.0	5.6
4. N130P40K65	8.5	2.2	2.5	0.6	12.7	3.7
5. N80P35K65 + последствие ТНК	7.1	1.9	2.0	0.5	12.0	3.6
Картофель						
1. Контроль	27.0	5.6	7.0	1.7	36.2	4.1
2. N20P20	27.0	5.5	7.8	1.8	39.4	4.8
3. N125P50K150	35.5	9.3	10.1	2.4	51.8	9.8
4. N190P50K150	41.1	10.2	10.3	2.9	47.2	14.2
5. N70P15K30 + ТНК 40 т/га	35.9	9.4	9.6	2.2	49.0	8.4
Ячмень						
1. Контроль	12.1	1.5	2.2	0.3	18.7	2.2
2. N12P16K16	14.0	1.7	2.4	0.3	20.7	2.5
3. N80P40K60	13.8	2.8	2.5	0.5	24.6	5.0
4. N120P40K60	16.5	3.2	2.5	0.5	23.7	4.6
5. N30P10K20 + последствие ТНК	15.1	5.6	2.7	1.0	24.0	9.2

Таблица 5. Вынос (затраты) элементов питания сорной растительностью для создания 1 т зеленой массы (среднее за 3 года), кг

Вариант	Азот		Фосфор		Калий	
	1	2	1	2	1	2
Викоовсяная смесь						
1. Контроль	7.2	6.8	2.4	2.2	9.0	8.9
2. N12P16K16	7.0	6.7	2.3	2.0	9.2	9.0
3. N75P35K85	7.0	6.7	2.4	2.1	8.9	8.7
4. N110P35K85	6.6	6.4	2.0	1.7	8.8	8.6
5. N50P20K65 + последствие ТНК	7.3	6.9	1.8	1.6	8.9	8.8
Озимая рожь						
1. Контроль	5.2	4.2	1.3	1.3	8.3	7.7
2. N12P16K16	5.1	5.0	1.4	1.3	7.7	7.5
3. N90P40K65	4.9	4.9	1.3	1.3	8.3	7.6
4. N130P40K65	5.5	4.9	1.6	1.3	8.2	8.1
5. N80P35K65 + последствие ТНК	4.8	4.7	1.3	1.3	8.1	8.9
Картофель						
1. Контроль	8.2	6.2	2.2	1.9	11.0	4.6
2. N20P20	8.5	6.1	2.5	2.0	12.4	5.2
3. N125P50K150	8.4	7.1	2.4	1.8	12.3	7.5
4. N190P50K150	8.6	5.4	2.2	1.6	9.8	7.5
5. N70P15K30 + ТНК 40 т/га	9.0	7.7	2.5	1.8	12.5	6.8
Ячмень						
1. Контроль	5.1	4.3	1.0	0.9	7.9	6.4
2. N12P16K16	5.2	4.9	0.9	0.9	7.6	7.4
3. N80P40K60	5.1	5.0	0.9	0.9	9.0	8.8
4. N120P40K60	6.2	6.0	0.9	0.8	8.9	8.5
5. N30P10K20 + последствие ТНК	5.4	4.9	1.0	0.9	8.6	8.4

в почве доступных для питания растений минеральных элементов (табл. 5).

В целом сорные растения, произраставшие на 4-х полях севооборота, затрачивали на создание 1 т своей зеленой массы в 4–5 раз больше азота и калия, чем фосфора. С внесением расчетных доз удобрений повышались затраты элементов питания.

Обработка гербицидами снижала вынос азота, фосфора и калия сорными растениями. Наибольшее снижение выноса азота сорняками от применения гербицидов отмечено на картофеле (6–34%), фосфора — на викоовсяной смеси (8–33%) и картофеле (9–27%), калия — на картофеле (32–58%).

ВЫВОДЫ

1. В годы исследования на полях севооборота отмечено 14 видов сорной растительности с преобладанием мари белой, звездчатки средней и пырея ползучего.

2. Максимальную вегетативную массу сорняки формировали в вариантах 4 и 5 вариантах при внесении высоких доз удобрений. Препарат гербитокс в посевах викоовсяной смеси снижал массу сорняков максимум на 66, в посевах озимой ржи — на 73, препарат лазурит в посадках картофеля — на 72, препарат секатор турбо в посевах ячменя — на 85%.

3. Химическая прополка оказала влияние на содержание азота, фосфора, калия в сорной рас-

тельности севооборота, максимально снижая количество элементов питания на 34, 33, 59% соответственно.

4. С увеличением внесенных доз удобрений отмечен рост хозяйственного выноса сорняками азота до 52, фосфора — до 56, калия — до 43%. За счет применения гербицидов хозяйственный вынос азота, фосфора, калия сорной растительностью в посевах викоовсяной смеси снижался максимально на 65, 71, 64%, в посевах озимой ржи — на 77, 75, 75%, в посадках картофеля — на 80, 76, 89%, в посевах ячменя — на 88, 86, 88% соответственно.

5. Сорные растения для создания единицы своей массы затрачивали в 4–5 раз больше азота и калия, чем фосфора. Затраты элементов питания сорняками на единицу продукции менялись соответственно их хозяйственному выносу, при применении гербицидов снижались затраты элементов питания сорняками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Токарева Н.В., Суров В.В., Чухина О.В. Влияние минеральных удобрений, гербицида и комплексного препарата Альбит на урожайность, качество и вынос элементов питания картофелем в Вологодской области // *Агрохимия*. 2019. № 5. С. 56–65. <https://doi.org/10.1134/S0002188119050090>
2. Налиухин А.Н., Чухина О.В., Власова О.А. Почвы опытного поля ВГМХА имени Н.В. Верещагина и их агрохимическая характеристика // *Молочн.-хоз. вестн.* 2015. № 3(19). С. 35–46.
3. Токарева Н.В. Влияние удобрений и гербицидов на урожайность и кормовую ценность культур севооборота в Вологодской области: Дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2015. 187 с.
4. Справочник Пестициды.ru [Электр. ресурс]. Режим доступа: <http://www.pesticity.ru/>
5. Жуков Ю.П. Система удобрения в хозяйствах Нечерноземья. М.: Моск. рабочий, 1983. 144 с.
6. ГОСТ 13496.4-93. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. М.: Стандартинформ, 2011. 15 с.
7. ГОСТ 26657-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания фосфора. М.: Изд-во стандартов, 2002. 9 с.
8. ГОСТ 30504-97. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия. М.: Изд-во стандартов, 1998. 8 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
10. Суров В.В., Чухина О.В., Силина О.А. Изменение величины хозяйственного выноса азота, фосфора, калия от доз удобрений и биопрепаратов // *Современные проблемы агрохимии в условиях поиска устойчивого функционирования АПК при технологических ситуациях: Мат-лы 50-й междунаrod. научн. конф. молод. ученых, специалистов-агрохимиков и экологов*. М.: ВНИИА, 2016. С. 213–216.

Removal of Nutrients by Weeds Field Crop Rotation of the Vologda Region when Applying Fertilizers and Herbicides

N. V. Tokareva^a, V. V. Surov^{a, #}, and O. V. Chuhina^a

^a N.V. Vereshchagin Vologda State Dairy Farming Academy
ul. Shmidta 2, Molochnoe, Vologda 160555, Russia

[#]E-mail: wladimirsurov@rambler.ru

In the conditions of stationary four-field crop rotation in 2010–2012 on the sod-podzolic medium loamy soil of the Vologda region the influence of fertilizers and herbicides on the removal of nitrogen, phosphorus, potassium by weeds was studied. On average, for three years in all variants of the experiment, herbicide treatment reduced the number of weeds in crop rotation fields by 36%, and their vegetative mass decreased by 70%. When using herbicides, there was a tendency to reduce the content of nitrogen, phosphorus, potassium in the vegetative mass of weeds. Chemical weeding of crops reduced the economic removal of nitrogen by weeds in relation to absolute control by 54–88%, phosphorus — 54–86%, potassium — 43–89%. Weeds spent on the creation of 1 ton of its green mass 4–5 times more nitrogen and potassium than phosphorus.

Key words: removal of nutrients, weeds, crop rotation, Vologda region, fertilizer, herbicide.

УДК 631.871:631.559:633.367:631.445.24

ВЛИЯНИЕ СОЛОМЫ НА ПРОДУКЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУПЕСЧАНЫХ ПОЧВАХ

© 2020 г. Т. Ю. Анисимова

*Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал Верхневолжского федерального аграрного научного центра
601390 Владимирская обл., Судогодский р-н, п. Вяткино, ул. Прянишникова, 2, Россия
E-mail: anistan2009@mail.ru*

Поступила в редакцию 29.11.2019 г.

После доработки 11.12.2019 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

Использование в севооборотах узколистного безалкалоидного люпина в качестве зернобобовой культуры позволяет решить проблему зерна и белка в Центральном Нечерноземье, особенно в сочетании с соломой как удобрением. Средняя урожайность зерна люпина за 3 года без применения минеральных удобрений составила 2.5 т/га, коэффициент азотфиксации люпина увеличился на 9–15%, продуктивность культур севооборота возросла на 17–23%, достигнут почти бездефицитный баланс гумуса в почве.

Ключевые слова: люпин узколистный, дерново-подзолистая супесчаная почва, зернопропашной севооборот, солома на удобрение, азотфиксирующая способность, баланс NPK.

DOI: 10.31857/S0002188120070030

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время Нечерноземье располагает богатым ассортиментом бобовых культур, широким спектром доступных приемов биологизации земледелия и мощными биоресурсами природного, промышленного и коммунально-бытового органического сырья для удобрений. Биологизация тесно связана с расширением видового и сортового состава культур, увеличением доли бобовых растений – азотонакопителей в структуре севооборотов и повышением их урожайности [1]. Наиболее мощным фактором биологизации земледелия является научно обоснованный севооборот, действие которого усиливается сбалансированной системой удобрения с применением навоза, возрастающих количеств не кормовой соломы и использованием техногенных средств [2].

Благодаря высокой азотфиксирующей способности и индифферентности к почвенному плодородию все виды люпина не нуждаются в азотных удобрениях, во внесении фосфорно-калийных удобрений в силу своей биологической способности использовать труднодоступные соединения фосфора и калия почвы и последствие удобрений [3].

Узколистный люпин сочетает высокий потенциал хозяйственно-биологической продуктивности, надежность семеноводства новых сортов с высокой средовосстанавливающей и ресурсосберегающей способностью. Его ресурсовосстановление включает техногенное энергосбережение, азотфиксацию и выделение экссудатов, повышенное усвоение ранее внесенных удобрений, использование биогенных элементов из труднодоступных соединений почвенного профиля, активизацию полезной микробиоты и санитарно-гигиеническое воздействие на почву при минимальном расходе доступных элементов питания в севооборотах на единицу продукции [4].

Повышение урожайности люпина на малогумусных почвах легкого гранулометрического состава ограничивается энергоемкой азотфиксацией, которая может быть значительно усилена путем применения на удобрение соломы зерновых культур без компенсирующих добавок минерального азота [5]. Соединения углерода соломы служат источником энергии для азотфиксирующих микроорганизмов и эндотрофной микоризы, формирующих совместно с растением-хозяином потенциал биологического азота люпина [6].

Применение соломы озимых зерновых культур положительно влияет на рост общей продуктивности растений люпина. В результате удобрения соломой происходит трансформация менее ценной биомассы (соломы) в более дорогостоящую и востребованную продукцию, достижение при этом высокой окупаемости затрат через вновь получаемое зерно, картофель и другую продукцию при улучшении баланса органического вещества в почве и ее физико-химических свойств.

Таким образом, солома в сочетании с симбиотическими азотфиксаторами (бобовыми растениями) является эффективным средовосстанавливающим фактором и перспективным резервом активного воспроизводства плодородия почв без участия компенсирующего азота минеральных удобрений. В связи с этим запаханная солома не понижает урожаи бобовых культур. Кроме того, при запахивании соломы в почву при возделывании бобовых дополнительно накапливается азот, который могут использовать последующие культуры севооборота.

Цель работы — научное обоснование и разработка ресурсосберегающих приемов повышения продуктивности полевых севооборотов с узколиственным люпином на дерново-подзолистых супесчаных почвах Центрального Нечерноземья при использовании соломы на удобрение под люпин, выращиваемый на зерно, в отсутствие минеральных удобрений.

В задачи исследования входило выявление лучших технологических приемов использования соломы зерновых культур под узколистный люпин в звене севооборота с люпином на зерно, картофелем и ячменем, определение влияния соломы и люпина на показатели плодородия почвы, урожай и его качество при использовании пространственно-временного анализа.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологической основой исследования был развернутый во времени и пространстве полевой опыт на дерново-подзолистой супесчаной почве опытного поля ВНИИОУ, расположенный в Судогодском р-не Владимирской обл. Легкий гранулометрический состав этих почв предопределяет агрохимические свойства и их плодородие. Средний балл бонитета составляет 34 [7].

В полевых опытах выращивали культуры: узколистный люпин сорта Брянский 123, картофель сорта Невский, ячмень сорта Зазерский 85. Агротехника возделываемых культур общепринятая [8]. Площади опытных делянок 56 м², повтор-

ность четырехкратная. Исследование проводили в 3-х полях. Учет урожая — сплошной. Урожай зерна приводили к стандартной 14%-ной влажности.

Исследовали влияние соломы озимой пшеницы и ее стерни в качестве удобрения под узколистный люпин в звене севооборота: озимая пшеница — узколистный люпин на зерно — картофель — ячмень. Под картофель и ячмень удобрения не вносили, под люпин запахивали стерню и солому озимой пшеницы по следующей схеме, варианты: 1 — стерня: запашка осенью (контроль), 2 — стерня: дискование, запашка осенью, 3 — стерня + солома: запашка осенью, 4 — стерня + солома: дискование, запашка осенью, 5 — стерня + солома: дискование, запашка весной.

При использовании соломы и люпина в качестве удобрения исследовали количество фиксированного азота воздуха по методу сравнения с небобовой культурой, динамику развития растений, величину и структуру урожая, изменение агрохимических свойств почвы. Определяли показатели качества урожая.

Наблюдения и исследования выполняли в соответствии с общепринятыми методиками, используемыми в агрохимических работах [9–11]. Поступление в почву органического вещества и величину азотфиксации рассчитывали по методике ВИУА [12]. Статистический анализ результатов опытов выполнен методом дисперсионного анализа с использованием компьютерной программы Statistika.6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Масса запаханной соломы в среднем составила 4.8, стерни и корней — 2.7 т/га. С соломой в почву с учетом корневой массы заделывали воздушно-сухое органическое вещество 6.3 т/га с содержанием: азота — 28.3, фосфора — 15.1 и калия — 68.0 кг/га. Со стерней и корнями в почву запахивали органическое вещество в количестве 2.0 т/га с содержанием: азота — 8.5, фосфора — 4.7 и калия — 19.5 кг/га.

Таким образом, в почву в вариантах 1 и 2 со стерней и корнями поступило в среднем 33 кг NPK/га, в вариантах 3–5 с соломой, стерней и корнями — 111 кг NPK/га. При запахивании соломы в почву с растительными остатками поступило в 3.1 раза больше органической массы и питательных веществ по сравнению с контролем без соломы.

При закладке опыта применяли следующие агротехнические приемы: измельчение соломы, дискование стерни и соломы, запашку. Солому

Таблица 1. Влияние приемов использования соломы на содержание гумуса в почве (среднее за 3 года)

Вариант	C _{общ} , %		$\pm\Delta C_{\text{общ}}$	Содержание общего азота, %		$\pm\Delta N_{\text{общ}}$
	исходное*	конечное**		исходное	конечное	
1. Стерня: запашка осенью (контроль)	0.783	0.719	–0.060	0.068	0.062	–0.004
2. Стерня: дискование, запашка осенью	0.783	0.725	–0.058	0.068	0.063	–0.005
3. Стерня + солома: запашка осенью	0.783	0.765	–0.018	0.069	0.066	–0.003
4. Стерня + солома: дискование, запашка осенью	0.783	0.772	–0.011	0.068	0.067	–0.001
5. Стерня + солома: дискование, запашка весной	0.783	0.772	–0.011	0.068	0.067	–0.001

Примечание. нумерация вариантов та же в табл. 2–5.

*Перед закладкой опыта.

**В конце ротации севооборота.

измельчали во время уборки озимой пшеницы комбайном “САМПО” до размера 5–10 см и равномерно распределяли по площади на делянках вариантов 3–5. Неравномерность распределения измельченной соломы не превышала 15%. Заделку стерни и соломы проводили ранней осенью тяжелой дисковой бороной марки БДТ-3 в 2 следа на глубину 10–15 см. Запашку проводили плугом ПН-3-35 осенью в вариантах 1–4, в варианте 5 – весной на глубину 20–22 см. Весной следующего года высевали люпин узколистный. Норма высева – 1.1 млн шт. всхожих семян/га.

В первый год внесения соломы под люпин весной отмечено более высокое содержание нитратов в пахотном слое почвы, чем в последующие месяцы. В дальнейшем их содержание снижалось из-за биологического связывания доступного азота микрофлорой, разрушающей солому, а также из-за потребления нитратного азота растениями люпина. Содержание аммонийного азота, напротив, было минимальным весной. Затем в процессе аммонификации происходила частичная минерализация соломы в почве под люпином, и содержание аммонийного азота заметно возрастало. В фазе налива зерна оно резко снижалось вследствие интенсивного потребления растениями. Наибольшее содержание минеральных соединений азота в течение всего периода вегетации было отмечено в варианте с весенней запашкой соломы.

При возделывании картофеля и ячменя за счет разложения соломы и корне-поживных остатков люпина содержание нитратного и аммонийного азота в вариантах с соломой было больше, но

к моменту полной спелости этих культур, из-за усиленного потребления минерального азота почвы их содержание заметно снижалось. Это свидетельствовало о более интенсивном потреблении азота растениями в указанных вариантах, их лучшим развитием, что отразилось в конечном итоге на росте урожайности. Таким образом, при внесении соломы в почву, обедненную азотом, происходила его иммобилизация. В последующие годы закрепленный микроорганизмами азот минерализовался и вновь становился доступным растениям.

Установлено, что однократное за ротацию внесение соломы обеспечивало почти бездефицитный баланс гумуса, сдерживало деградационные процессы в почве. Отмечено также, что в вариантах с соломой убыль углерода была меньше на 18–30 абс. %, азота – на 7.5–25%, чем в контроле (табл. 1).

Внесение соломы обеспечивало больший вынос фосфора и калия всеми культурами звена севооборота. Величина pH_{KCl} за ротацию севооборота при этом не изменилась, отмечена лишь тенденция к снижению гидролитической кислотности и увеличению суммы поглощенных оснований. Использование соломы было наиболее эффективным при осеннем дисковании и весенней запашке (вариант 5), при этом она подвергалась более сильной минерализации в осенний период, что улучшало условия питания узколистного люпина. В последствии эффективным был вариант с глубокой запашкой соломы без ее предварительного дискования.

Таблица 2. Влияние различных приемов заделки соломы на коэффициенты азотфиксации и размеры выноса азота надземной массой узколистного люпина (среднее за 3 года)

Вариант	Коэффициент азотфиксации	Вынос азота, кг/га		
		общий	из атмосферы	из почвы
1. Стерня: запашка осенью (контроль)	0.65 ± 0.05	80.9 ± 20.0	52.6 ± 20.1	28.3 ± 0.25
2. Стерня: дискование, запашка осенью	0.66 ± 0.05	87.5 ± 20.0	59.1 ± 20.1	28.6 ± 0.25
3. Стерня + солома: запашка осенью	0.74 ± 0.05	106 ± 20.0	78.1 ± 20.1	28.6 ± 0.25
4. Стерня + солома: дискование, запашка осенью	0.77 ± 0.05	118 ± 20.0	89.9 ± 20.1	28.7 ± 0.25
5. Стерня + солома: дискование, запашка весной	0.80 ± 0.05	137 ± 20.0	109 ± 20.1	28.0 ± 0.25

Примечание. $\pm$ — доверительный интервал, рассчитанный как $Sx t_{05}$, где Sx — ошибка выборочной средней арифметической, t_{05} — критерий Стьюдента для 5%-ного уровня значимости. То же в табл. 4.

Внесение соломы в почву резко активизировало жизнедеятельность почвенной микрофлоры и усилило связывание азота атмосферы азотфиксирующими микроорганизмами, что привело к существенному обогащению почвы соединениями азота. При изучении прямого действия соломы в вариантах с осенней запашкой количество аммонификаторов, обуславливающих минерализацию органического вещества, возросло в 1.6 раза по отношению к контролю, нитрификаторов — в 1.5 раза. В варианте с весенней запашкой численность аммонификаторов увеличилась в 2 раза, нитрификаторов — в 1.2 раза по сравнению с контролем. На фоне внесения соломы значительно возросла численность анаэробных азотфиксаторов. В этом, по-видимому, заключается одна из многих причин положительного влияния соломы на плодородие почвы. Применение соломы повысило содержание в пахотном слое почвы целлюлозоразлагающих микроорганизмов — в 1.2–1.4 раза по отношению к контролю. Рост в почве количества грибов и актиномицетов в вариантах с соломой указывал на увеличение скорости деградации органического вещества. Численность микроскопических грибов возросла в 1.6–2.4, актиномицетов — в 2.2–3.8 раза по сравнению с контролем. Отмечено положительное влияние соломы на жизнедеятельность микрофлоры при заделке ее в почву и в последствии.

Согласно данным опыта, внесение соломы усиливало процесс азотфиксации, увеличивало содержание общего азота в растениях люпина. Например, общий вынос азота на фоне соломы в зависимости от приемов ее заделки возрос на 31–69% по сравнению с контролем, вынос азота из атмосферы — на 48–107%. На размеры выноса

азота из почвы удобрение соломой влияния не оказало (табл. 2).

При применении соломы урожаи зерна люпина заметно возрастали (табл. 3). В вариантах применения соломы, задискованной рано осенью и запаханной весной, прибавки урожая зерна увеличились по сравнению с контролем на 30, при осенней запашке — на 11 и при осенней запашке с дискованием — на 16%.

При удобрении люпина соломой возросло содержание в его зерне сырого протеина, наибольший сбор которого был отмечен при весенней запашке соломы и превосходил контрольный вариант на 2.9 ц/га. Анализ химического состава зерна люпина показал, что солома способствовала повышению содержания и зольных элементов (табл. 4).

Основное влияние соломы, по мнению [13], сводится к инактивации азота и обеспечению растений калием. Калий способствует усиленному образованию клубеньков, ускорению созревания растений, повышению содержания белка в зерне [14]. В наших опытах с соломой и стерней под люпин было запахано 68 кг калия/га (в 4.5 раза больше, чем фосфора).

При удобрении люпина соломой возросло содержание в его зерне белка и сырого протеина. Сбор сырого протеина зависел от срока и способа заделки соломы в почву. Показано, что весенняя запашка соломы была наиболее благоприятной для увеличения сбора сырого протеина. В этом случае сбор сырого протеина увеличился на 2.9 ц/га по сравнению с контролем.

При разложении стерни и соломы кроме азота высвобождаются фосфор, калий, кальций, маг-

Таблица 3. Эффективность соломы как удобрения в звене севооборота (узколистный люпин—картофель—ячмень), т/га

Вариант	Прямое действие соломы		Последействие соломы и люпина				Продуктивность, т з.е./га	
	узколистый люпин		картофель		ячмень			
	1	2	1	2	1	2	всего	прибавка
1	2.10	—	16.2	—	0.99	—	8.0	—
2	2.19	0.09	17.2	1.0	1.02	0.03	8.4	0.4
3	2.33	0.23	20.3	4.1	1.48	0.49	9.8	1.8
4	2.48	0.38	19.6	3.4	1.08	0.09	9.4	1.5
5	2.76	0.66	189	2.7	1.07	0.08	9.7	1.7
<i>НСР</i> ₀₅		0.23		2.1		0.11		1.1

Примечание. В графе 1 — урожайность, 2 — прибавка урожайности.

Таблица 4. Влияние приемов заделки соломы на химический состав зерна люпина (среднее за 3 года)

Вариант	% на абсолютно сухое вещество					
	азот общий	зола	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1	3.27 ± 0.32	3.19 ± 0.13	1.05 ± 0.05	0.86 ± 0.078	0.29 ± 0.046	0.27 ± 0.07
2	3.34 ± 0.32	3.12 ± 0.13	1.06 ± 0.05	0.90 ± 0.078	0.30 ± 0.046	0.29 ± 0.07
3	3.87 ± 0.32	3.22 ± 0.13	1.15 ± 0.05	0.96 ± 0.078	0.39 ± 0.046	0.43 ± 0.07
4	3.85 ± 0.32	3.27 ± 0.13	1.14 ± 0.05	1.04 ± 0.078	0.40 ± 0.046	0.38 ± 0.07
5	4.11 ± 0.32	3.52 ± 0.13	1.18 ± 0.05	1.07 ± 0.078	0.38 ± 0.046	0.45 ± 0.07

ний, сера, микроэлементы [15]. Солома и стерня при заделке в почву являются важнейшим средством микробиологической мобилизации в почве труднодоступных и дефицитных элементов питания за счет энергии органического вещества [15, 16]. Этот факт нашел подтверждение в наших опытах. Под влиянием соломы повышалась доступность растениям люпина фосфора, калия и других элементов.

Последействие соломы положительно сказалось на качестве клубней картофеля. Применение соломы способствовало увеличению содержания сухого вещества (на 0.5—1.3%) и золы (на 0.25—0.43%) в клубнях картофеля. Содержание общего азота в картофеле было больше на 0.15—0.2%, а нитратного, наоборот, меньше, что свидетельствовало о большем количестве восстановленных форм азотных соединений в клубнях, выращенных при применении соломы. В этом случае в картофеле также возросло содержание витамина С на 38—47% по сравнению с контролем, увеличилась товарность клубней на 8.1—14.1%. Содержание крахмала в клубнях было больше в варианте с осенней заправкой незадискованной соломы — на 0.8% по сравнению с контролем.

Наибольшая прибавка зерна ячменя была получена в варианте 3 при осенней заправке соломы, которая превысила контроль на 59.3% (табл. 3). Отмечено положительное влияние соломы и люпина на химический состав зерна ячменя. Сбор белка в зерне при применении соломы возрос по отношению к контролю на 20—71%, содержание зольных элементов — на 1.16—1.23%, общего азота — на 0.09—0.16%.

Таким образом, применение соломы в звене севооборота повышало его продуктивность в зависимости от способов и сроков ее заделки в почву под узколистный люпин. Наиболее эффективной была осенняя заправка незадискованной соломы под узколистный люпин, продуктивность звена севооборота в этом варианте увеличилась на 23.1% по сравнению с контролем. При осенней заправке задискованной соломы продуктивность культур севооборота возросла на 18.7%, при весенней — на 21.1%.

С учетом достоверности прибавок урожая лучшим способом использования соломы под узколистный люпин было дискование измельченной соломы в начале осени с последующей заправкой весной (вариант 5). При этом достигалась макси-

Таблица 5. Баланс азота, фосфора, калия и коэффициенты использования элементов питания

Вариант	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	1	2	1	2	1	2
1. Стерня: запашка осенью (контроль)	–35.8	–	–62.4	–	–130	–
2. Стерня: дискование, запашка осенью	–38.9	14.2	–62.4	0	–132	0
3. Стерня + солома: запашка осенью	–25.9	33.2	–72.7	136	–136	54.1
4. Стерня + солома: дискование, запашка осенью	+2.2	16.1	–66.9	98.7	–114	56.1
5. Стерня + солома: дискование, запашка весной	+46.4	4.0	–73.7	144	–120	55.9

Примечание. В графе 1 – баланс, кг/га, 2 – коэффициент использования, %.

мальная прибавка урожая зерна люпина – 6.6 ц/га. Однако в этом случае положительное действие соломы на картофель и ячмень достоверно не было подтверждено. Сохранение измельченной соломы после комбайна на поверхности почвы с запашкой ее осенью оказалась наименее желательным вариантом для люпина. Вместе с тем этот прием обеспечивал максимальную прибавку урожая картофеля (41 ц/га) и достоверную прибавку урожая зерна ячменя (4.9 ц/га) и наибольший выход зерновых единиц за 3 года.

Суммарный вынос NPK для 3-х культур в вариантах с соломой оказался больше на 17.5–36.2%, чем в контроле (табл. 5). Сопоставляя суммарное содержание элементов питания в урожае люпина и картофеля с учетом фиксированного люпином азота воздуха, получили довольно близкие результаты. Однако источники азота для этих культур были разными: большая его часть была получена люпином из воздуха, пропашной культурой – картофелем – из почвы, корне-познанных остатков и экссудатов люпина. Как компонент севооборота люпин – ресурсосберегающая культура, картофель же – потребляющая. Преимущество люпина перед картофелем и ячменем заключалось в его способности положительно реагировать на внесение соломы без применения минерального азота.

Сочетание соломы и узколистного люпина в севообороте положительно влияло на формирование урожайности культур, баланс азота за ротацию за счет увеличения доли симбиотического азота при сбережении ресурсов почвы, повышало коэффициенты использования фосфора и калия из почвы и солоmistых остатков всеми культурами. Вместе с тем при таком сочетании приемов биологизации почти не возмещались затраты фосфора и калия, баланс этих элементов был дефицитным, особенно фосфора. Поэтому при использовании соломы под люпин в севообороте снижалась потребность культур в минеральном

азоте, но требовалось интенсивное возмещение фосфора и калия с удобрениями.

ВЫВОДЫ

1. В результате 5-летнего исследования на дерново-подзолистой супесчаной почве Центрального Нечерноземья (Владимирская обл.) установлена высокая хозяйственно-экологическая эффективность узколистного люпина в зернопропашном севообороте в качестве зернобобовой культуры.

2. Выявлена высокая агроэкономическая, агрохимическая, энергосберегающая и ресурсостанавливающая роль узколистного люпина при выращивании на зерно в севообороте с картофелем и ячменем при внесении под люпин соломы озимой пшеницы без компенсирующих добавок азота. Обеспечена устойчивая урожайность зерна люпина на уровне 23.2–27.6 ц/га, что было на 20% в среднем больше неудобренного контроля. Дискование измельченной соломы ранней осенью при ее весенней запашке под люпин обеспечило максимальную прибавку урожайности зерна люпина (6.6 ц/га) и позволило увеличить площадь зяби под другие культуры. Урожайность люпина при применении соломы на удобрение возрастала в технологических вариантах на 2.3–6.6, картофеля – на 27–41, ячменя – на 0.8–4.9 ц/га при увеличении продуктивности звена севооборота на 15.8–20.8 ц з.е./га или на 17.7–23.3%.

3. Солома способствовала увеличению коэффициента симбиотической азотфиксации растениями люпина на 9–15% по сравнению с неудобренными вариантами, при росте урожайности потребление азота возросло на 31–69%, использование азота из атмосферы увеличилось на 48–107%. Накопление переваримого протеина в зерне люпина возросло до 551 кг/га, что позволило сократить расход кормов из-за дефицита белка в рационах и увеличить производство молока и мяса в зоне сеяния люпина.

4. За ротацию севооборота с люпином на зерно, картофелем и ячменем без внесения соломы убыль гумуса составляла 3.0 т/га. При участии соломы баланс гумуса приближался к бездефицитному. При разложении соломы улучшалось питание люпина калием и фосфором, что способствовало накоплению азота в урожае. Люпин отличался от зерновой культуры — ячменя втрое меньшим расходом почвенного азота и в 1.6 раза — калия на единицу продукции, что подчеркнуло ресурсосберегающую роль люпина в севообороте.

5. Баланс азота в севообороте с люпином, удобренным соломой, был положительным только при ее предварительном дисковании перед паашкой (от 2.2 до 46.4 кг N/га). При этом снижался коэффициент использования азота из почвы и соломы за счет увеличения доли и преобладания симбиотического азота в урожае люпина. Вместе с тем люпин и солома не возмещали затрат фосфора и калия на формирование урожая. Баланс этих элементов был отрицательным, что требовало интенсивного использования минеральных и органических удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Чекмарев П.А., Лукин С.В.* Система удобрения в условиях биологизации земледелия // Достиж. науки и техн. АПК. 2012. № 12. С. 10–12.
2. *Милащенко Н.З.* Методология применения удобрений в период выхода земледелия России из кризисной ситуации // Современные проблемы опытного дела. СПб., 2000. Т. 2. С. 59–63.
3. *Соловьев П.П.* Культура люпина в повышении плодородия почв НЗ СССР (Метод. рекоменд.). М.: Наука, 1971. 31 с.
4. *Довбан К.И.* Зеленое удобрение М.: Агропромиздат, 1990. 208 с.
5. *Алиева Е.И.* Итоги 12-летнего использования соломы на удобрение // Бюл. ВИУА им. Д.Н. Прянишникова. 1985. № 72. С. 44–48.
6. *Лошаков В.Г.* Эффективность раздельного и совместного использования севооборота и удобрений // Достиж. науки и техн. АПК. 2016. Т. 30. № 1. С. 9–13.
7. *Романенко Г.А., Тютюнников А.И.* Книга земледельца. М.: РАСХН, 1998. 318 с.
8. *Лошаков В.Г., Сычев В.Г.* Севооборот и плодородие почвы. М.: ВНИИА, 2012. 512 с.
9. *Доспехов Б.А.* Методика опытного дела. М.: Агропромиздат, 1985. 315 с.
10. *Минеев В.Г.* Практикум по агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2001. 686 с.
11. *Посыпанов Г.С.* Методы изучения биологической фиксации воздуха. М.: Агропромиздат, 1991. 300 с.
12. *Трепачев Е.П.* Агрохимический аспект биологического азота в современном земледелии. М., 1999. 498 с.
13. *Кук Дж.* Системы удобрения для получения максимальных урожаев М.: Колос, 1975. 416 с.
14. *Такунов И.П.* Агробиологические основы увеличения производства люпина в Нечерноземной зоне России: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Брянск, 1998. 76 с.
15. *Князев Д.А., Фокин А.Д., Князев В.Д.* Роль гумусовых веществ в формировании ионопроводящих структур почвы // Почвоведение. 2002. № 2. С. 152–157.
16. *Пищик В.Н., Проворов Н.А., Воробьев Н.И., Чижевская Е.П., Сафронова В.И., Туев А.Н., Кожемяков А.П.* Взаимодействие растений с ассоциативными бактериями при загрязнении почвы тяжелыми металлами // Микробиология. 2009. Т. 78. № 6. С. 826–835.

Influence of Straw on the Production Capacity of Narrow-Leaved Lupine on Sod-Podzolic Sandy Loam Soils

T. Yu. Anisimova

*All-Russian Research Institute of Organic Fertilizers and Peat –
Branch of the Upper Volga Federal Agricultural Research Center
ul. Pryanishnikova 2, Vladimir region, Sudogodsky district, p. Vyatkino 601390, Russia*

E-mail: anistan2009@mail.ru

The use of narrow-leaved harkaloid lupine as a leguminous crop in crop rotations allows solving the problem of grain and protein in the Central non-black earth region, especially in combination with straw as a fertilizer. The average yield of lupine grain for 3 years without the use of mineral fertilizers was 2.5 t/ha, the nitrogen fixation coefficient of lupine increased by 9–15%, the productivity of crop rotation increased by 17–23%, and an almost deficit-free balance of humus in the soil was achieved.

Key words: narrow-leaved lupine, sod-podzolic sandy loam soil, grain crop rotation, straw for fertilizer, nitrogen-fixing capacity, NPK balance.

УДК 502.2:581.133:581.14

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ И РОСТА РАСТЕНИЙ

© 2020 г. В. А. Четырбоцкий^{1,*}, А. Н. Четырбоцкий², Б. В. Левин¹

¹ Акционерное общество “Апатит”, Центр инновации
119333 Москва, Ленинский просп., 55/1 стр. 1, Россия

² Дальневосточный геологический институт ДВО РАН
690022 Владивосток, просп 100 лет Владивостоку, 159, Россия

*E-mail: Chetyrbotsky@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.03.2019 г.

После доработки 20.04.2019 г.

Принята к публикации 10.04.2020 г.

Рассмотрены проблемы применения системных принципов, информационных технологий и методов математического моделирования для представления динамики системы почва—минеральное питание—растение. Выполнен анализ положений, которые принимаются при построении уравнений модели. Определены направления исследований, которые позволяют учитывать неоднородность ризосферы.

Ключевые слова: питание растений, модель Ферхюльста, модель Михаэлиса—Ментена, агроценоз.

DOI: 10.31857/S0002188120070054

ВВЕДЕНИЕ

Динамику составляющих агроценоз процессов ранее изучали в рамках комплекса агрономических наук (почвоведение, агрохимия, растениеводство, защита растений) [1–3]. Соответствующие представления оставались на качественном (описательном) уровне, что частично тогда объясняли сложностью изучаемых процессов, недостатком экспериментальных сведений о распределениях элементов питания растений, недостатком сведений о физике почв, физиологии и биохимии растений, в том числе и ограниченностью математических моделей, которые были бы способны к решению подобного рода задач. В результате этого наукоемкие технологические рекомендации, позволяющие воссоздать цикл процессов, также в большинстве случаев носили качественный характер. Отдельные количественные указания (например, применение рекомендуемых доз внесения удобрений или оросительных норм) часто приводили даже к отрицательным или к непрогнозируемым результатам.

Доступность высокопроизводительной компьютерной техники и экспериментального репрезентативного выборочного материала, новые сведения о процессах в ризосфере и развитие информационных технологий создали базу для ка-

чественного перехода к использованию методов математического моделирования,

Цель создания таких моделей состоит в создании аппарата для расчета пространственно-временной динамики биомассы растений и элементов их питания как минерального, так и органического происхождения. При его построении следует учитывать влияние почвенных и метеорологических условий на продукционный процесс, рост растений, их развитие и формирование конечного урожая. В большей степени отмеченные качества реализованы в работах [4–6].

Наличие репрезентативной выборки данных только отдельных характеристик (температуры, влажности, содержания питательных веществ и др.) обусловлено трудоемкостью проведения опытов в полевых условиях. Поэтому для задачи моделирования было важно синтезировать имеющийся экспериментальный материал, найти взаимосвязи между разрозненными фактами, выявить основные факторы, наиболее важные для самого процесса моделирования [7].

Для оценки целесообразности применения того или иного математического аппарата следует выполнить классификацию/типизацию математических моделей, которая определяется уровнем детализации рассматриваемых явлений, способами их формального представления [8]. Разделе-

ние моделей развития растений на решения теоретических и практических задач предложено в работе [9]. Отсутствие грани между ними обуславливает неуместность такой классификации. Разделение моделей на основании различий процессов метаболизма растений и процессов их регуляции выполнено в работе [10]. Поскольку оба разделения используют однотипные уравнения, то такая классификация видится не вполне приемлемой. Естественной видится типизация на основе различий сущностей соответствующих математических аппаратов, в данном случае — статистических и динамических моделей [11–15].

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Статистические модели применяют при допущении, что рассматриваемые процессы определяются преобладающей регулярной и существенно в меньшей степени — случайной составляющей. Совокупность этих моделей охватывает такие области, как эмпирические модели, корреляционный и факторный анализы, анализ временных рядов и др. [2, 16, 17]. Запись уравнения множественной регрессии имеет вид

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \varepsilon, \quad (1)$$

где Y — зависимая переменная, которая определяется линейной комбинацией независимых переменных (так называемых предикторов) $\{X_i, i = 1-n\}$; $\{\beta_i, i = 0-n\}$ регрессионные коэффициенты (оцениваются на основании выборочных данных); ε характеризует случайную ошибку модели (1) (как правило, принимается ее нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием определенной дисперсией).

Модели (1) широко применяют во всех областях изучения агроэкосистем. В работе [18] их использовали для изучения влияния радиации на растительный покров, в [19] — динамики органического углерода пахотных почв Нечерноземной зоны России, в [20] — выделения углерода из материнской луковицы тюльпана в его развивающуюся надземную часть и в луковицу-детку в период от появления всходов до отмирания листьев. Воздействия метеорологических условий среды южного чернозема на урожай зеленой массы кукурузы также изучали при помощи модели (1) [21].

Область применения регрессионных моделей ограничена случаем их функционального представления (1). При этом в качестве предикторов

могут выступать некоторыми функциями наблюдаемых независимых переменных.

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ

Динамические модели характеризуют процесс, где изменение времени полагается непрерывным. В их основе лежат детальные представления о механизмах рассматриваемых явлений.

Модели локальной динамики биомассы растений. Указанный тип моделей следует допущению о гомотогенном пространственном распределении растений, и биомасса (показатель роста, длина и т.д.) растений — непрерывно дифференцируемая функция. При их построении полагают, что относительная/удельная динамика такого показателя пропорциональна определенной функции:

$$\frac{1}{Y} \frac{dY}{dt} = F(t, Y, A),$$

где левая часть — это удельная скорость изменения Y в единицу времени, а правая часть — удельная или относительная скорость изменения в пересчете на единицу биомассы. Аргументами этой функции может выступать некоторая совокупность показателей для других видов растений, что отражает межвидовые отношения растений.

Уместно заметить, что размерность правой части обратна размерности времени. Поэтому показателем динамики системы может выступать не только биомасса растения, но и его длина, площадь сечения и т.п. Но в каждом отдельном случае правая часть имеет соответствующую динамику этого показателя характерную для него структуру. Тогда балансовое уравнение для локальной динамики принимает вид

$$\frac{dY_i}{dt} = (G_i - H_i) Y_i, \quad (2)$$

где i указывает вид растения, G_i и H_i — функции рождаемости и смертности. Если в агроценозе участвуют несколько видов растений, то при наличии между ними межвидовых отношений (конкуренции, кооперации и т.п.) эти функции, кроме различных Y_i , могут зависеть от показателей для других видов. При этом они могут также зависеть от ряда показателей, которые определяют состояние среды (например, температурный и водный режим ризосферы). Поскольку при росте биомассы растет конкуренция растений за ограниченный ресурс и, стало быть, смертность/деградация растений, то H_i — монотонно возрастающая функция Y_i . Во многих случаях G_i определяется физиологическими пределами рождаемости [22] и не зависит от текущего Y_i , так что $G_i \sim Y_{\max,i}$.

Суммируя перечисленное, уравнение для локальной динамики растений принимает вид

$$\frac{dY_i}{dt} = \mu_i(T, W)[Y_{\max,i} - \beta_i(T, W)Y_i]Y_i, \quad (3)$$

где μ_i и β_i — некоторые динамические функции параметров состояния среды (в этом случае — температуры T и влажности W). Характер изменения этой функции хорошо известен [22]: в естественных условиях среды кривая $Y_i(t)$ в начальный период своего изменения линейна, далее следует ее перегиб, за которым идет нелинейный участок с выходом на ее максимальную величину. Модификации этого уравнения относятся к типу так называемого уравнения Ферхюльста [11], а сама кривая именуется логистической кривой.

Для представления динамики линейного разрастания нескольких типов культур (гречихи, просо, тюльпана) в работе [23] использовано подобное (3) уравнение (для простоты изложения нижний индекс опущен):

$$\frac{dl}{dt} = \begin{cases} \mu l \left[F(T) - \frac{l}{l_{\max}} \right], & \text{если } T_{\min} \leq T \leq T_{\max} \\ 0 & \text{в ином случае,} \end{cases}$$

где l — текущая высота растения (см), $l_{\max}$ — теоретическая максимальная высота (см), которую может достигнуть растение по окончании роста, μ — константа, $T = T(t)$ — текущая температура, $T_{\min} = 10^\circ\text{C}$ и $T_{\max} = 30^\circ\text{C}$ (согласно наблюдениям). В модели принимается, что вне рамок этого диапазона температур растение прекращает свой рост, а не погибает. В этот период температура хорошо аппроксимируется выражением

$$T(t) = T_{\min} + (T_{\max} - T_{\min})(1 - \cos \omega t)/2,$$

где ω — частота колебаний. В модели полагается, что

$$F(T) = \begin{cases} \frac{(T - T_{\min})(T_{\max} - T)}{(T_{\text{mid}} - T_{\min})(T_{\max} - T_{\text{mid}})}, & \text{если } T_{\min} \leq T \leq T_{\max} \\ 0 & \text{в ином случае,} \end{cases}$$

где $T_{\text{mid}} = (T_{\min} + T_{\max})/2$. Параметры μ и $l_{\max}$ оценивали на основании 13-летней выборки экспериментальных наблюдений. Сопоставление выборочных и модельных распределений показывало их высокое согласие (коэффициент корреляции между ними >0.9).

Модель скорости поглощения растением элементов минерального питания обычно строится на основании уравнения Михаэлиса—Ментена,

которое характеризует динамику потребления субстрата. При его использовании принимается допущение, что образование продукта реакции идет быстро и необратимо. Его запись принимает вид

$$v_N(k) = V_{\max} \frac{C_N(k)}{K_N + C_N(k)}, \quad (4)$$

где $v_N(k)$ — скорость поглощения питательного минерального субстрата единичной поглощающей поверхностью корней растения из слоя k , $V_{\max}$ — максимальная скорость поглощения ($\text{мг/см}^2/\text{сут}$). В этом случае K_N — видоспецифическая константа, численно равная концентрации субстрата, при которой скорость роста равна половине максимальной (константа полунасыщения или константа Михаэлиса—Ментена) [24]; $C_N(k)$ — концентрация субстрата в k -слое почвы. В работе (4) полагают пропорциональность поглощения элементов минерального питания их содержанию в ризосфере. Для оценки суммарной скорости применяют сумму скоростей по всей поглощающей поверхности корней по слоям почвы:

$$v_{\text{SUM}} = \sum_{k=1}^N K_R B_R(k) v_N(k),$$

где $B_R(k)$ — биомасса корней в k -м слое почвы, K_R — поглощающая поверхность единицы биомассы корней, v_{SUM} — суммарное количество элементов питания, поглощенного всей корневой системой растений за 1 сут (кг/га/сут), N — число слоев почвы, занятых корнями.

Модели сообщества микроорганизмов. Присутствие в ризосфере сообществ микроорганизмов обусловлено выделениями корневой системы растений питательных для них субстанций. Например, стебли и листья выделяют углеводы и органические кислоты. Микроорганизмы также поселяются на поверхности различных органов растений, образуя эпифитные сообщества, внедряясь в ткани растений [25]. Примером такой системы выступает модель динамики биомассы микроорганизмов-аммонификаторов, которые выполняют основную роль в минерализации органического вещества почвы [26]:

$$\begin{cases} \frac{dM_b}{dt} = V_g - V_d \\ \frac{dC_a}{dt} = (1 - \rho)V_\Gamma + V_d \\ \frac{dN_{\min}}{dt} = \frac{1}{R_\Gamma} V_\Gamma - \frac{1}{R_{mb}} V_g + \frac{1}{R_{mb}} V_d, \end{cases}$$

где V_g — скорость роста микробной массы M_b и V_d — скорости выделения C в почву; C_a — баланс C , выделенного в воздушное пространство; ρ — коэффициент утилизации; V_r — скорость минерализации гумуса в углеродных единицах; $N_{\min}$ — общий баланс азота; R_r — соотношение $C : N$ в гумусе; R_{mb} — отношение $C : N$ в клетках бактерии. Первые 2 уравнения определяют баланс C при минерализации органического вещества в почве: первое из них описывает изменение биомассы микроорганизмов через их рост и отмирание, а второе — баланс C , выделенного в воздушное пространство через минерализацию гумуса и отмирание органики. Третье уравнение определяет баланс N при разложении органики, которое пропорционально скорости минерализации гумуса, скорости роста микробной массы и отмирания бактерий.

Поскольку скорость V_r возрастает с ростом M_b , то естественно полагать их пропорциональность, т.е. $V_r = \alpha M_b$. Смертность бактерий определяются емкостью жизненного цикла популяции. Тогда уравнение динамики биомассы в углеродных единицах M_b принимает вид

$$\frac{dM_b}{dt} = \alpha M_b \left(1 - \beta \frac{M_b}{C_r} \right),$$

где β — константа, а C_r — баланс органического C . Согласно этому уравнению, в начальный период следует плавный рост M_b , затем нелинейный участок перегиба и далее ее рост до своей предельной величины C_r/β .

В представлении этой модели питательным субстратом выступает преимущественно гумус, хотя это справедливо для любого попадающего в почву органического субстрата, в том числе растительным остаткам и органическим удобрениям. В момент внесения их в почву равновесие нарушается, и начинается переходный процесс. Повышенная концентрация C приводит к росту биомассы бактерий. Как правило, рост сопровождается иммобилизацией (созданием определенной неподвижности) N из минерального пула (сообщества). Но этот процесс кратковременный: согласно уравнению Ферхюльста, вскоре следует новое равновесное состояние, где биомасса бактерий стабилизируется на более высоком уровне, и соответственно увеличивается содержание в ней C и N .

Модели агроценозов. Для построения модели агроценоза суммируют представленные выше сведения и допущения. В частности, динамика биомас-

сы следует модификации уравнения Ферхюльста, где функция рождаемости G_i из уравнения (2) — возрастающая функция субстрата. Его динамика определяется содержанием в ризосфере соответствующих минеральных элементов. В случае включения в рассмотрение микроорганизмов, как звена трансформации минералов в элементы питания растений, в систему следует добавить соответствующее уравнение их динамики.

Модель динамики биомассы растения на примере динамики проточной системы приведена в работе [27]:

$$\begin{cases} \frac{dY_i}{dt} = (\mu_i(q_i) - D)Y_i \\ \frac{dZ_j}{dt} = D(Z_{j0} - Z) - \sum_{i=1}^m v_{ij}(Z_j, q_{ij})Y_i \\ \frac{dq_{ij}}{dt} = v_{ij}(Z_j, q_{ij}) - \mu_i(q_i)q_{ij} \\ i = 1-m; \quad j = 1-n, \end{cases}$$

где Y_i — биомасса i -го вида из общего сообщества m -видов; n — группы сходных элементов минерального питания (азота, фосфора, калия, кремния и т.п.), j — элемент этой группы; Z_j — содержание минеральных веществ в среде; $v_{ij}(Z_j, q_{ij})$ — удельная скорость потребления микроорганизмами питательных элементов; $\mu_i(q_i)$ — удельная скорость роста биомассы в зависимости от содержания питательных элементов в этих клетках q_{ij} ; $\mu_i(Q_i)$ определяется по принципу “узкого места” Либиха по формуле $\mu_i(Q_i) = \min \mu_{ij}(Q_{ij})$; D — скорость протока вещества в системе через z_0 — содержание минеральных веществ во входящем потоке.

Первое уравнение определяет динамику биомассы проточной системы, которая пропорциональна содержанию в клетках питательных элементов. Эти элементы выступают основным фактором роста популяции микроорганизмов, тогда как уменьшение биомассы происходит за счет ее естественной убыли D . Второе уравнение определяет динамику содержания в среде минеральных веществ, которая зависит от разницы их начального содержания и естественной убыли, а также их потребления микроорганизмами из этой среды. Последнее уравнение определяет динамику содержания в клетках питательных веществ. Согласно этим уравнениям, изменение стратегии поведения изучаемого объекта определяется не только окружающей средой, но и состоянием самого объекта. Важную роль играет скорость протока вещества. Недостаток этого подхода заключается в том, что в качестве одного из основных

факторов исключен блок отмершей органики. Решение подобной задачи было выполнено в работе [1], где была построена замкнутая модель динамики массы фитопланктона, минеральных веществ и отмершей органики.

Концептуальная модель системы, динамическими компонентами которой выступают растения, сообщества микроорганизмов, элементы минерального питания подвижной и неподвижной форм, органическое вещество почвы приведена в работе [29]. Поскольку в настоящее время отсутствует соответствующий экспериментальный материал, то в этом случае далее рассмотрен ее отдельный блок кинетики минерального питания и роста растения. Соответствующий экспериментальный материал с разрешения автора заимствован из работы [30].

При построении модели принимали такие допущения:

1 — динамика биомассы определяется ее естественной скоростью роста и влиянием элементов минерального питания, а также действием подобного в модели Ферхюльста фактора ее самолимитирования;

2 — относительная скорость изменения содержания элементов минерального питания в растении на единицу его биомассы пропорциональна содержанию этого элемента в ризосфере, которое растение в дальнейшем может утилизировать;

3 — ограниченность объема тела растения обуславливает его определенную “емкость” элементов питания, которое растение может утилизировать из ризосферы (больше, чем некоторое количество элементов питания растение не может содержать в своем теле);

4 — в самом растении учитывают также взаимодействия между элементами как объектами химического происхождения (конкуренция, симбиоз и т.п.).

Следуя этим допущениям, модель динамики системы почва—удобрение—растение в этом случае можно записать уравнениями

$$\begin{cases} \dot{B} = (p_0 + p_1 C_1 + p_2 C_2 + p_3 C_3 - p_4 B) B \\ \dot{C}_i = \left(q_{i,0} C_{0,i} - q_{i,i} C_i + \sum_{j \neq i}^3 q_{i,j} C_j \right) B \\ i = 1-3, \end{cases} \quad (5)$$

где $B = B(t, k)$ — биомасса растения в момент времени t для почв с k -м содержанием K_2O ; p_0 характеризует естественный прирост биомассы; p_1, p_2, p_3 — коэффициенты при слагаемых, которые характеризуют прирост биомассы вследствие влия-

ния элементов минерального питания; p_4 — коэффициент при члене, который характеризует самолимитирование роста биомассы; C_i — содержание i -го элемента в надземной части растения, $i = 1-3$ (последовательно: калий, фосфор и азот, единицами измерения которых выступают весовые доли K_2O, P_2O_5 и N); $C_{0,i}$ — начальное содержание i -го элемента в ризосфере; $q_{i,0}$ — коэффициент пропорциональности (пункт 2 допущений), он определяет ту долю содержания элементов питания в ризосфере, которая может быть утилизирована растением; $q_{i,i}$ характеризует предельную “емкость” содержания элементов питания в теле растения; $q_{i,j}, j \neq i$ — коэффициенты пропорциональности при членах, посредством которых в самом растении учитывают взаимодействия между собой элементов минерального питания.

Первое уравнение системы соответствует модификации уравнения Ферхюльста: в рамках этого уравнения сумма первых 4-х членов характеризует прирост биомассы вследствие естественного прироста и воздействия на динамику растения элементов его питания.

Оценка предельного содержания в растении i -го вида элементов минерального питания следует из приравнивания к нулю правой части 2-го уравнения. В первом приближении допускается, что предельные содержания определяются системой линейно алгебраических уравнений, определяющей стационарное состояние системы. Тогда, следуя методике нелинейного оценивания параметров [31], на основе статистических данных [30], были подсчитаны коэффициенты модели и построены соответствующие распределения.

На рис. 1 представлены модельные распределения биомассы растений и содержания в ней элементов минерального питания. Анализ распределений показывает существенное превышение среди остальных соответствующего азоту C_3 коэффициента p_3 , что указывает на его ведущую роль в процессе обеспечения роста биомассы растения, что тем самым согласуется с установившейся закономерностью накопления питательных веществ в процесса роста растения [2]. Тот факт, что растение выносит в пересчете на сухую массу от 0.5 до 2% почвенного азота, около 0.2% фосфора и 0.9% калия, подтверждается взаимным соотношением коэффициентов друг с другом $p_1/p_2/p_3$ [1]. Повышение содержания K_2O также способствует росту содержания рассмотренных в данной работе остальных элементов минерального питания.

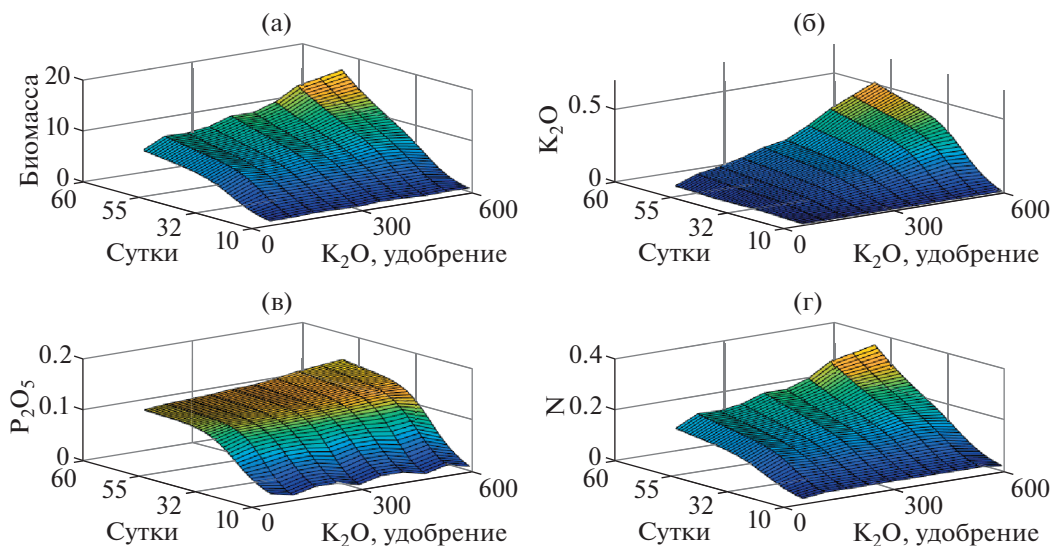


Рис. 1. Распределения динамических переменных модели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен анализ моделей динамики биомассы растений, где элементами их питания могут выступать продукты трансформации ризосферными микроорганизмами соответствующих минералов. Выбор объектов для обзора обусловлен их характерной направленностью. В этих моделях не учитывают свойственную практически ситуациям пространственную неоднородность, что является типичным для рассмотренной области исследований. В частности, не учитывают факт направленности следования микроорганизмов ризосферы по градиенту распределения биомасс. Кроме того, не учитывают разделения минерального питания на элементы растворимых и нерастворимых форм, взаимные переходы этих элементов из одной формы в другую. Отмеченные вопросы составляют предмет последующих исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кидин В.В., Торшин С.П. Агрохимия. М.: Проспект, 2015. 591 с.
2. Минеев В.Г. Агрохимия. М.: Изд-во МГУ, 2006. 714 с.
3. Сафонов А.Ф. Системы земледелия. М.: Колос, 200. 447 с.
4. Полуэктов Р.А., Терлеев В.В. Имитационно-моделирующий комплекс AGROTOOL, v. 3 // Динамическая модель продукционного процесса сельскохозяйственных растений. СПб.: АФИ, 2007. 43 с.
5. van Diepen C.A., Rappold C., Wolf J., van Keulen H. Crop growth simulation model WOFOST. Documentation version 4.1. Wageningen, The Netherlands: Centre for World Food Studies, 1988. 299 p.
6. Hanks J., Ritchie J.T. Modelling plant and soil systems. Agronomy (A Series of Monographs). Madison, Wisconsin USA: SSSAI Publishers, 1991. 544 p.
7. Хворова Л.А. Моделирование влияния азотного питания на продукционный процесс посева люцерны: Дис. ... канд. техн. наук. СПб., 1992. 202 с.
8. Четырбоцкий А.Н. Крупномасштабное математическое моделирование пространственно-временной динамики морского ледяного покрова (на примере Японского моря). Владивосток: Дальнаука, 2009. 197 с.
9. Добрачев Ю.П., Соколов Л.А. Модели роста и развития растений и задача повышения урожайности // Природообустройство. 2016. № 3. С. 90–96.
10. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. СПб.: Изд-во СПбГУ. 2006. С. 1–20.
11. Багоцкий С.В., Базыкин А.Д., Монастырская Н.П. Математические модели в экологии. Библиографический указатель отечественных работ. М.: ВИНТИ, 1981. 226 с.
12. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. М.: Мир, 1981. 256 с.
13. Москвин В.В. Типизация моделей агроэкосистем // Вестн. ВГУ. Сер. химия, биология, фармация. 2011. № 1. С. 85–90.
14. Франс Дж., Торнли Дж.Х.М. Математические модели в сельском хозяйстве. М.: Агропромиздат, 1987. 400 с.
15. Хомяков В.Н., Искандеров И.Р. Информационные технологии и математическое моделирование в задачах природопользования. <http://www.fadr.msu.ru/rin/ecol/model.htm>
16. Рао С.Р. Линейные статистические методы и их применение. М.: Наука, 1968. 547 с.

17. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 207 с.
18. Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 342 с.
19. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Романенков В.А. Моделирование влияния изменений климата на динамику органического углерода в пахотных почвах, эмиссию С и продуктивность агроэкосистем // Метеорол. и гидрол. № 8. 2005. С. 83–95.
20. Rees A.R., Thornley J.H.M. A Simulation of tulip growth in the field // *Annal. Bot.* 1973. V. 37. Iss. 1, January. P. 121–131.
21. Хомяков Д.М., Хомяков П.М. Моделирование влияния антропогенных и метеорологических факторов на агроценозы. М.: Изд-во МГУ, 1995. 80 с.
22. Свирежев Ю.М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М.: Наука, 1987. 368 с.
23. Колпак Е.П., Столбовая М.В. Математическая модель кинетики роста растений. <http://jurnal.org/articles/2013/mat7.html>
24. Фурсова П.В., Левич А.П. Дифференциальные уравнения в моделировании сообществ микроорганизмов // Успехи. совр. биол. 2006. Т. 126. № 2. С. 149–179.
25. Феоктистова Н.В., Марданова А.М., Хадиева Г.Ф., Шарипова М.Р. Ризосферные бактерии // Уч. зап. КазанГУ. Сер. естеств. науки. 2016. Т. 158. С. 207–224.
26. Полуэктов Р.А. Описание процесса аммонификации в рамках модели трансформации углерода и азота в почве // Пробл. агрохим. и экол. 2011. № 4. С. 25–28.
27. Силкин В.А., Хайлов К.М. Биоэкологические механизмы управления в аквакультуре. Л.: Наука, 1988. 230 с.
28. Абакумов А.И. Динамика биомасс видов фитопланктона в зависимости от минерального питания // Математическое моделирование в экологии “ЭкоМатМод-2011”. Пушкино, 2011. С. 18–19.
29. Четырбоцкий В.А. Математическая модель распределения фосфора в ризосфере // ЛОМОНОСОВ-2019: Тез. докл. XXVI Междунар. научн. конф. студентов, аспирантов и молод. ученых: секция “Почвоведение” (Москва, 8–12 апреля 2019). М., 2019. С. 212–214.
30. Сладкова Н.А. Распределение цинка и кадмия в системе торфяная почва — растение под влиянием фосфорных и калийных удобрений: Дис. ... канд. биол. наук. СПб.—Пушкин: СПбГАУ, 2016. 187 с.
31. Болч Б., Хуань К.Дж. Многомерные статистические методы для экономики. М.: Финансы и статистика, 1979. 317 с.

Mathematical Modeling of the Kinetics of Mineral Nutrition and Plant Growth

V. A. Chetyrbotsky^{a,*}, A. N. Chetyrbotsky^b, and B. V. Levin^a

^a Joint Stock Company “Apatit”, Innovation Center
Leninsky prosp. 55/1, bld.1, Moscow 119333, Russia

^b Far-Eastern Geological Institute, Far East Branch, RAS
prosp. 100 years Vladivostok 159, Vladivostok 690022, Russia

^{*}E-mail: Chetyrbotsky@yandex.ru

The problems of applying system principles, information technologies and mathematical modeling methods to represent the dynamics of the soil—mineral nutrition—plant system are considered. The analysis of the positions that are taken when constructing the model equations is performed. The research directions that allow us to take into account the heterogeneity of the rhizosphere are defined.

Key words: nutrition model, model of Ferhulst, model of Michaelis—Menten, agroecosystem.