

ISSN 2500-2627

Номер 1

Январь - Февраль 2025



# РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ НАУКА

*Научно-теоретический журнал*



НАУКА

— 1727 —

### *Земледелие и мелиорация*

**Л. В. Юшкевич, М. С. Чекусов, О. Н. Дидманидзе, В. С. Бойко, А. Ю. Тимохин, Д. Н. Ющенко**  
Результативность разноуровневых агротехнологий зерновых культур в Омском Прииртышье 3

**Д. В. Дубовик, Е. В. Дубовик, А. Н. Морозов, П. П. Дураков**  
Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на содержание макроэлементов в растениях 9

### *Растениеводство, защита и биотехнология растений*

**С. Н. Шевченко, Д. О. Долженко, А. А. Бишарёв, И. А. Калякулина**  
Результаты селекции многорядных сортов ячменя для засушливых условий Среднего Поволжья 14

**Е. И. Гультаева, Е. Л. Шайдаюк, М. М. Левитин**  
Характеристика современных российских сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к желтой ржавчине 21

**Л. М. Щеклеина, Т. К. Шешегова**  
Фузариозные болезни, урожайность и параметры стабильности сортов озимой ржи 27

**И. И. Новикова, Э. В. Попова, И. Л. Краснобаева, Н. М. Коваленко**  
Влияние салицилата хитозана на антагонистическую активность *Bacillus subtilis* в отношении возбудителя темно-бурой пятнистости *Bipolaris sorokiniana* 32

**О. А. Тимошкин, О. Ю. Тимошкина**  
Качество и засоренность смесей газонного типа в лесостепи Среднего Поволжья 38

### *Агрочвоведение и агроэкология*

**В. П. Шабаев, В. Е. Остроумов**  
Минеральное питание растений при внесении ростстимулирующих ризосферных бактерий в загрязненную медью почву 45

### *Зоотехния и ветеринария*

**Д. А. Силин, С. В. Лебедев, И. А. Вершинина, Т. В. Казакова, О. В. Маршинская**  
Влияние фитобиотических и пробиотических веществ, а также пищевых волокон и энтеросорбента на функциональные показатели и состав кишечного микробиома кур-несушек 49

**Г. К. Дускаев, Т. А. Климова, Ш. Г. Рахматуллин, М. Я. Курилкина, К. Н. Атландерова, Д. Г. Дерябин**  
Смеси фитохимических веществ изменяют продуктивность и общее состояние организма цыплят-бройлеров 58

**О. Б. Филиппова, А. И. Фролов**  
Биохимический статус и состав молока коров при скармливании им семян масличной культуры 63

### *Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация*

**Ю. С. Ценч, Я. П. Лобачевский, В. В. Шаров, Н. В. Алдошин**  
Деформация ребер и смятие поперечного сечения почвенного пласта при его обороте в собственной борозде 68

### *Agriculture and land reclamation*

**L. V. Yushkevich, M. S. Chekusov, O. N. Didmanidze, V. S. Boyko, A. Y. Timokhin, D. N. Yushchenko**  
Efficiency of multi-level agricultural technologies of grain crops in the Omsk Priirtysh region 3

**D. V. Dubovik, E. V. Dubovik, A. N. Morozov, P. P. Durakov**  
The influence of winter wheat cultivation technology on the content of macronutrients in plants 9

### *Crop production, protection and biotechnology of plants*

**S. N. Shevchenko, D. O. Dolzhenko, A. A. Bisharev, I. A. Kalyakulina**  
Results of breeding six-row barley cultivars for arid conditions of the Middle Volga Region 14

**E. I. Gulyaeva, E. L. Shaydayuk, M. M. Levitin**  
Characterisation of modern Russian spring soft wheat varieties for resistance to yellow rust 21

**L. M. Shchekleina, T. K. Sheshegova**  
Fusarium diseases, yield and stability parameters of winter rye varieties 27

**I. I. Novikova, E. V. Popova, I. L. Krasnobaeva, N. M. Kovalenko**  
Effect of chitosan salicylate on the antagonistic activity of *Bacillus subtilis* against the dark brown spot *Bipolaris sorokiniana* 32

**O. A. Timoshkin, O. Yu. Timoshkina**  
Quality and contamination of lawn mixtures in the forest-steppe of the middle Volga Region 38

### *Agro-soil science and agroecology*

**V. P. Shabayev, V. E. Ostroumov**  
Mineral nutrition of plants in applying growth-promoting rhizospherebacteriain copper-contaminated soil 45

### *Animal science and veterinary medicine*

**D. A. Silin, S. V. Lebedev, I. A. Vershinina, T. V. Kazakova, O. V. Marshinskaya**  
Effect of biologically active compounds on functional parameters and intestinal microbiome structure of laying hens 49

**G. K. Duskaev, T. A. Klimova, Sh. G. Rakhmatullin, M. Ya. Kurilkina, K. N. Atlanderova, D. G. Deryabin**  
Mixtures of phytochemicals change the productivity and general body condition of broiler chickens 58

**O. B. Filippova, A. I. Frolov**  
Biochemical status and composition of cow's milk when feeding them with oil seeds 63

### *Mechanization, electrification, automation and digitalization*

**Yu. S. Tsench, Ya. P. Lobachevsky, V. V. Sharov, N. V. Aldoshin**  
Deformation of the ribs and crumpling of the soil layer cross-section during its rotation in its own furrow 68

**Земледелие и мелиорация**

УДК: 631.5:633.11321(571.13)

DOI 10.31857/S2500262725010018 EDN CSFIZM

**РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ РАЗНОУРОВНЕВЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР  
В ОМСКОМ ПРИИРТЫШЬЕ**

© 2025 г. Л. В. Юшкевич<sup>1</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, М. С. Чекусов<sup>1</sup>, кандидат технических наук, О. Н. Дидманидзе<sup>2</sup>, доктор технических наук, академик РАН, В. С. Бойко<sup>1</sup>, доктор сельскохозяйственных наук, А. Ю. Тимохин<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, Д. Н. Ющенко<sup>1</sup>, старший научный сотрудник

<sup>1</sup>Омский аграрный научный центр,  
644012, Омск, просп. Королева, 26

<sup>2</sup>Государственный университет управления,  
109542, Москва, Рязанский просп., 99, стр. 8  
E-mail: yushchenko@anc55.ru

*Исследования проводили с целью определения влияния разноуровневых агротехнологий на водный и питательный режимы почвы, фитосанитарное состояние агрофитоценозов, урожайность зерновых культур и качество продукции. Работу выполняли в стационарных полевых опытах в южной лесостепной зоне Омской области в 2003–2023 гг. Схема опыта предусматривала изучение предшественников, систем обработки почвы и следующих уровней интенсивности технологий возделывания зерновых культур: экстенсивный (без удобрений и средств защиты растений), нормальный (баковая смесь гербицидов против злаковых и широколистных сорняков), полунтенсивный ( $N_{60}P_{60}$ , баковая смесь гербицидов), интенсивный ( $N_{60}P_{60}$ , баковая смесь гербицидов, фунгициды). В варианте интенсивной агротехнологии засоренность посевов снижалась в 3,3...4,7 раза, в сравнении с контролем, при этом количество сорных растений нарастало по мере удаления зерновых культур от пара и минимизации обработки почвы. Наибольшая в опыте урожайность яровой пшеницы отмечена в варианте с интенсивной агротехнологией по паровому предшественнику при отвальной и комбинированной системах обработки почвы – 4,18...4,22 т/га. Повышение урожайности от применения средств интенсификации можно расположить в порядке возрастания влияния в следующий ряд: от удобрений – 0,35 т/га, от гербицидов – 0,39, от гербицидов и удобрений – 0,74, от фунгицидов – 0,89, от комплекса средств интенсификации – 2,01 т/га. При полунтенсивной и интенсивной агротехнологиях имела преимущество комбинированная ресурсосберегающая обработка почвы в севообороте – 2,16...2,86 т зерна с 1 га пашни, что выше, чем при минимально-нулевой, на 0,28 т/га. Качество зерна при интенсивной агротехнологии достоверно улучшалось, в сравнении с экстенсивной: натурная масса – на 9...15 з/л, содержание белка – на 0,9...1,1 %, клейковины – на 1,9...2,5 %. Остаточных количеств экотоксикантов в продукции не обнаружено.*

**EFFICIENCY OF MULTI-LEVEL AGRICULTURAL TECHNOLOGIES OF GRAIN CROPS  
IN THE OMSK PRIIRTYSH REGION**

L. V. Yushkevich<sup>1</sup>, M. S. Chekusov<sup>1</sup>, O. N. Didmanidze<sup>2</sup>, V. S. Boyko<sup>1</sup>, A. Y. Timokhin<sup>1</sup>, D. N. Yushchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Omsk Agricultural Research Center,  
644012, Omsk, prosp. Koroleva, 26

<sup>2</sup>State University of Management,  
109542, Moskva, prosp. Ryazanskii, 99, str. 8  
E-mail: yushchenko@anc55.ru

*The work was carried out in stationary field experiments in the southern forest-steppe zone of the Omsk region (Omsk district) in 2003–2023. The aim of the research is to establish the influence of multi-level agricultural technologies on the water and nutrient regimes of the soil, weed infestation and the phytosanitary state of agrophytocenoses, grain yield and quality. The experimental design included predecessors, soil cultivation systems and different levels of intensity of agricultural technologies for grain crops: extensive (without the use of fertilizers and plant protection products), normal (treatment of crops with a tank mixture of herbicides), semi-intensive (application of  $N_{60}P_{60}$  and treatment with herbicides), intensive (use of  $N_{60}P_{60}$ , herbicides, fungicides). In the intensive agricultural technology variant, the weed infestation of crops decreases by 3.3...4.7 times compared to the control, while the number of weeds increases when grain crops are removed from fallow land and soil cultivation is minimized. The highest yield of spring wheat in the experiment was formed in the variant with intensive agricultural technology on a fallow predecessor on moldboard and combined soil cultivation systems and amounted to 4.18...4.22 t/ha. The increase in yield from the use of chemicals by increasing influence was: from fertilizers 0.35 t/ha, herbicides – 0.39, herbicides and fertilizers – 0.74, fungicides – 0.89, a complex of intensification agents – 2.01 t/ha. In semi-intensive and intensive agricultural technologies, combined resource-saving tillage in crop rotation has an advantage – 2.16...2.86 tons of grain from 1 ha of arable land, which is 0.28 t/ha higher than the minimum-zero. Grain quality with intensive agricultural technology improved in comparison with extensive (natural weight 750...762 g/l, protein 13.1...14.6 %, gluten 26.4...29.4 %), the content of residual quantities of ecotoxicants in the products is absent.*

**Ключевые слова:** разноуровневые технологии, пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.), ячмень яровой (*Hordeum vulgare* L.), агроландшафт, обработка почвы, водопотребление, засоренность, урожайность, качество зерна.

**Keywords:** multi-level technologies, soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.), spring barley (*Hordeum vulgare* L.), agricultural landscape, soil cultivation, water consumption, weed infestation, yield, grain quality.

В современных условиях зерновое производство в России для удовлетворения внутренних потребностей и расширения экспорта продукции (до 50...60 млн т) требует совершенствования агро-

технологий, особенно при преобладающем экстенсивном земледелии с ограниченными материально-техническими и климатическими ресурсами зернопроизводящих регионов [1, 2, 3].

В последние годы в Западной Сибири посевы яровой мягкой и твердой пшеницы занимают 5,6 млн га, в том числе в Омской области – более 1,40 млн га (24 % от общей площади посева), из них в лесостепной почвенно-климатической зоне – 522 тыс. га (38 %), в засушливой степной – 785 тыс. га (58 %). Основные площади посевов культуры сосредоточены в засушливых агроландшафтах, где преобладают черноземные почвы (до 45...70 % от площади пашни) с содержанием гумуса 4,5...5,2 %. В таких условиях за период вегетации выпадает 170...220 мм при ГТК 0,45...0,60 [4, 5].

При сложившейся в регионе структуре использования пашни пшеница по пару размещается на площади 380...400 тыс. га, или 27...29 %, второй культурой после пара – 260...280 тыс. га (19...20 %), по зернобобовым и пропашным – до 200 тыс. га (14 %). Повторные и бессеменные посевы достигают 600 тыс. га, или 43 % [2].

В Сибирском федеральном округе Омская область за последние 20 лет занимает ведущее место по среднелетнему сбору зерна после Алтайского края – 1,5...1,8 т, в благоприятном 2024 г. – 2 т (всего 4,0 млн т). По величине этого показателя регион не уступает странам с развитым зерновым производством (Австралия, Канада). В аномально засушливые годы (2020–2023 гг.) при ГТК за период вегетации 0,5...0,9 урожайность яровой пшеницы составляла в среднем по области 1,3...1,7 т/га, что недостаточно при довольно высоком бонитете пашни – 62...75 (3 место в Сибирском федеральном округе) [6, 7].

За последние 35 лет в Омской области отмечено устойчивое снижение плодородия пахотных земель по содержанию гумуса, нитратного азота, подвижного фосфора и калия. Содержание N-NO<sub>3</sub> в пахотном слое черноземных почв региона перед посевом яровой пшеницы после непаровых предшественников, особенно при повторных и бессеменных посевах яровой, уменьшилось на 30...50 %, обеспеченность низкая и очень низкая – 3...8 мг/кг почвы [8].

Сохранение плодородия зональных почв служит основой и важной предпосылкой роста продуктивности сельскохозяйственных культур, в том числе яровой мягкой пшеницы. Урожайность и высокое качество зерна зависят от потенциальной продуктивности растений и сорта, почвенно-климатических и биологических факторов, а также уровня агротехнологий [9, 10, 11].

Сейчас и в обозримом будущем земледелие и зерновое производство в регионе будут функционировать при разноуровневых агротехнологиях [12, 13, 14]. Применение средств химизации, интенсивности обработки почвы, подбор продуктивных предшественников, построение полевых севооборотов, ресурсное обеспечение агротехнологий определяются, с одной стороны, возможностями земледельцев, с другой – ограничиваются природными ресурсами, гидротермическими условиями и экологическими требованиями агроландшафтов [15, 16].

Цель исследований – установить влияние разноуровневых агротехнологий на водный и питательный режимы почвы, фитосанитарное состояние агрофитоценозов, урожайность зерновых культур и качество зерна.

**Методика.** Работу выполняли в стационарных полевых опытах в южной лесостепной зоне Омского Прииртышья (Омская область, Омский район) в 2003–2023 гг. в пятипольном зернопаровом севообороте: пар – пшеница – пшеница – пшеница – ячмень.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов:

система обработки почвы в зернопаровом севообороте (фактор А) –отвальная (вспашка на глубину 20...22 см

ежегодно); комбинированная (вспашка на 20...22 см в пару и под третью пшеницу после пара, плоскорезная на 10...12 см под вторую пшеницу после пара и ячмень); минимально-нулевая (без осенней обработки ежегодно); плоскорезная (в пару глубокое рыхление на 23...25 см, под вторую и третью пшеницу после пара и ячмень – плоскорезная обработка на 10...12 см);

уровень интенсивности технологии возделывания (фактор В) – экстенсивный (без применения удобрений и средств защиты растений), нормальный (баковая смесь гербицидов против злаковых и широколистных сорняков), полуинтенсивный (N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>, баковая смесь гербицидов), интенсивный (N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>, баковая смесь гербицидов, фунгициды).

Агротехника в опыте – общепринятая для лесостепной зоны, за исключением изучаемых агроприемов. Защиту растений осуществляли посредством применения разрешенных препаратов в соответствии с регламентами производителей. Уборка – однофазная Samro-130 с измельчением соломы и разбрасыванием мульчи по поверхности поля. Размещение вариантов в опыте систематическое, повторность – 4-кратная. Все исследования и наблюдения проводили по общепринятым методикам.

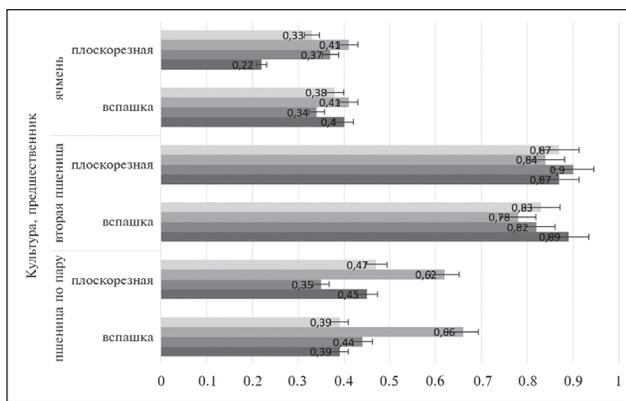
В период наблюдений (21 год) агрометеорологические условия вегетационного периода были контрастными. Количество осадков за вегетацию (май – август) в среднем было близким к норме (209 мм), температура воздуха составляла 17,1 °С (норма 16,8 °С), ГТК – 1,03 (норма 0,99). В целом засушливых лет было 9, или 43 % (ГТК 0,55...0,69), влажных – 5 лет, или 24 % (ГТК 1,31...2,06). Наиболее засушливые метеоусловия отмечали в 2004, 2008, 2010, 2020 гг.

**Результаты и обсуждение.** Монополия зерновых агроценозов, уменьшение уровня плодородия почвы, дефицит ресурсов влаги и ухудшение фитосанитарного состояния посевов, особенно с удалением их от парового предшественника, приводит к снижению продуктивности культуры (табл. 1).

Содержание нитратного азота перед посевом и обеспеченность им от пшеницы по паровому предшественнику к повторному и бессеменному посеву уменьшалась в 2,5...4,0 раза, продуктивные влагозапасы – на 35...40 %. Водопотребление и засоренность агрофитоценоза повышались в 2,0...2,7 раза. При этом следует отметить, что инфицированность посевов бурой ржавчиной, напротив, из-за большой плотности стеблевой и повышения содержания в листовом аппарате азота в паровом поле после этого предшественника возрастала в 1,8...2,1 раза. Урожайность зерна из-за ком-

**Табл. 1. Изменение водного и питательного режимов почвы и фитосанитарного состояния посевов в зависимости от размещения пшеницы в севообороте (2015–2023 гг.)**

Размещение пшеницы в севообороте	Содержание нитратного азота в слое 0...40 см, мг/кг	Запасы продуктивной влаги перед посевом (0...100 см), мм	Водопотребление на 1 т зерна, мм	Биомасса сорняков, %	Развитие бурой ржавчины, %	Урожайность зерна	
						т/га	%
По пару	20	145	102	12	12,8	2,82	100
Второй культурой	12	100	120	19	9,2	2,25	80
Третьей культурой	8	97	140	27	6,9	1,73	61
Бессеменно	5	91	200	32	6,2	1,47	52



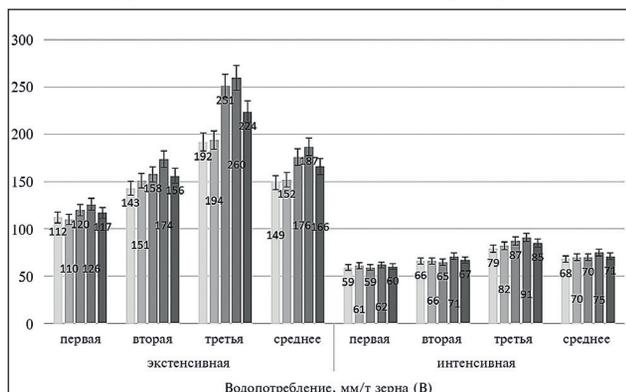
**Рис. 1. Сопряженность (r) продуктивности зерновых культур с коэффициентом сухости в зависимости от уровня агротехнологий и приемов основной обработки почвы (2009–2020 гг.):** ■ – интенсивная; ■ – полунтенсивная; ■ – нормальная; ■ – экстенсивная.

плекса негативных факторов от пшеницы по паровому предшественнику к повторному и бессменному посеву снижалась на 1,09...1,35 т/га.

При интенсивной агротехнологии возможно формирование урожайности зерна второй пшеницы после пара на уровне 2,80 т/га с вероятностью до 70 %, первой – 3,40 т/га и более с вероятностью до 65 %.

Зональные разноуровневые агротехнологии определяют эффективность использования ограниченных водных ресурсов и влияют на урожайность яровой пшеницы. В лесостепной зоне атмосферные осадки всех периодов года оказывают положительное воздействие на продуктивность зерновых. Определенное влияние на размеры урожая оказывают осенне-зимние ( $r = 0,36$ ), а также осенние влагозапасы в слое 0...100 см, которые в паровом поле составляли 106...110 мм, на второй пшенице – 58...67 мм, ячмене – 42...48 мм. Более тесная сопряженность осенних влагозапасов с урожайностью яровой пшеницы по пару отмечена после плоскорезной обработки при полунтенсивной агротехнологии –  $r = 0,78 \pm 0,12$ , на второй пшенице в варианте с плоскорезной обработкой при нормальной и полунтенсивной агротехнологиях –  $r = 0,62...0,83 \pm 0,11$ , на ячмене, как более засухоустойчивой культуре, она снижалась до слабой и средней –  $r = 0,34...0,37$ .

Более высокие сопряженность и коэффициент детерминации урожайности с величиной гидротермического



**Рис. 2. Водопотребление яровой пшеницы в зависимости от уровня агротехнологий и приемов основной обработки почвы (2004–2022 гг.):** ■ – отвальная; ■ – комбинированная; ■ – плоскорезная; ■ – минимально-нулевая; ■ – среднее (B).

коэффициента (ГТК), рассчитываемого по соотношению осадков и суммы температур, выявлены при плоскорезной обработке (41 %) и на второй пшенице при интенсивной агротехнологии (46 %). Сопряженность урожайности зерна яровой пшеницы с коэффициентом сухости (по Н. В. Бова) была очень высокой на второй пшенице после пара независимо от уровня агротехнологий (рис. 1).

В засушливых агроландшафтах актуален вопрос экономии расхода воды на формирование зерна [14, 17]. При интенсивной агротехнологии отмечены рост урожайности пшеницы и снижение водопотребления (рис. 2). Водопотребление пшеницы в среднем уменьшается, в сравнении с экстенсивной, со 166 до 71 мм на 1 т зерна, или в 2,3 раза. С удалением пшеницы от парового предшественника оно повышалось в 1,4...1,9 раза, причем после минимально-нулевой обработки водопотребление возрастало в зависимости от агротехнологии на 7...23 % относительно комбинированной.

Потери урожая от сорняков в Сибири составляют до 20...30 %, в Омской области в абсолютном выражении они достигают ежегодно 300 тыс. т и более. В зернопаровых севооборотах лесостепи при удалении пшеницы от пара к замыкающему полю (ячмень) засоренность посевов возрастает с 10 до 28 % от биомассы агрофитоценоза, в более засушливой степной зоне – с 8...10 до 24...26 %, или в 2,5...2,8 раза [15]. В нашем опыте засоренность агрофитоценоза определяли удаление культуры от парового предшественника и уровень агротехнологий (табл. 2).

**Табл. 2. Засоренность посевов зерновых культур в севообороте в зависимости от уровня агротехнологий и приемов основной обработки почвы (2010–2023 гг.), % от биомассы**

Культура (предшественник, фактор А)	Обработка почвы (фактор В)	Уровень агротехнологии (фактор С)			Среднее (АВ)
		экстенсивный	нормальный	интенсивный	
Пшеница по пару	отвальная	7,4	4,8	1,8	4,7
	комбинированная	10,5	5,3	2,6	6,1
	плоскорезная	11,8	5,4	2,4	6,5
	минимальная	14,6	6,4	3,8	8,3
	среднее	11,1	5,5	2,6	6,4
Пшеница по пшенице	отвальная	10,6	5,6	2,4	6,2
	комбинированная	13,9	7,3	3,4	8,2
	плоскорезная	17	7,8	3,8	9,5
	минимальная	16,8	10,2	4,6	10,5
	среднее	14,6	7,7	3,5	8,6
Ячмень	отвальная	10,8	5,8	4,6	7,1
	комбинированная	15	7,1	4,4	8,8
	плоскорезная	16,8	8	4,8	9,9
	минимальная	21,2	8,6	4,2	11,3
	среднее	15,9	7,4	4,5	9,3
НСР <sub>05</sub> для факторов		A = 0,8; B = 1,0; C = 0,8; AB = Ff < Ft; AC = 1,5; BC = 1,7			
Доля влияния факторов, %		A = 6,1; B = 7,8; C = 76,4; AB = Ff < Ft; AC = 1,9; BC = 5,3			

В варианте интенсивной агротехнологии засоренность посевов снижается, в сравнении с контролем, в 3,3...4,7 раза с нарастанием количества сорных растений при удалении зерновых от пара и минимизации обработки почвы. С увеличением засоренности агрофитоценоза, особенно мятликовыми видами, урожайность пшеницы уменьшается и потери зерна от сорняков достигают 14,2...24,6 %, в сравнении с незасоренным агрофоном.

Почвенные корневые инфекции на зерновых культурах в сибирских условиях наиболее вредоносны –

**Табл. 3. Урожайность зерна яровой пшеницы по пару в зависимости от уровня агротехнологий и обработки почвы (2003–2023 гг.), т/га**

Уровень агротехнологии (фактор В)	Обработка почвы (фактор А)				Средняя по фактору В (НСР <sub>05</sub> = 0,07)	Вариирование урожайности, %
	овальная	комбинированная	плоскорезная	минимально-нулевая		
Экстенсивная	2,19	2,23	1,95	1,96	2,08	26,2
Нормальная	2,75	2,53	2,23	2,30	2,47	31,7
Полуинтенсивная	2,90	2,88	2,74	2,76	2,82	33,0
Интенсивная	4,22	4,18	4,00	3,96	4,09	24,3
Средняя по фактору А (НСР <sub>05</sub> = 0,07)	3,02	2,96	2,75	2,74		26,5

ежегодно потери зерна достигают 20 %, а урон урожаю проявляется уже при 5 %-ном уровне развития инфекции на корневой системе растений [10, 11]. Применение минимальных обработок почвы в годы наблюдений повышало степень поражения корневыми гнилями на 17 % относительно отвальной обработки. Интенсивная агротехнология с использованием удобрений и средств защиты растений снижала развитие инфекции на 14 % при ее распространении до 34...42 %.

В Западной Сибири, несмотря на относительную засушливость климата в зернопроизводящих зонах, развитие листовых инфекций проявляется ежегодно вплоть до эпифитотий. Развитие вредоносных инфекций (ржавчина, септориоз) в варианте с экстенсивными агротехнологиями было выше порога вредоносности и составляло, в зависимости от обработки почвы, 8,0...11,2 %, мучнистой росы – 3,8...4,7 %.

Возделывание культур по полуинтенсивной агротехнологии, с совместным применением удобрений и гербицидов, не влияло на развитие инфекций (8,0...10,3 %). Радикальное снижение инфицированности посевов яровой пшеницы происходило при интенсивной агротехнологии с использованием системных фунгицидов. Так, развитие болезней уменьшалось с 9,0...10,8 до 4,0...4,9 %, или в 1,8...2,7 раза, по отношению к контролю, что сохранило фотосинтетическую активность верхнего яруса листьев и оказывало положительное влияние на продуктивность растений.

В посевах второй пшеницы после пара применение интенсивной агротехнологии позволило достоверно снизить поражение верхнего яруса листьев бурой ржавчиной до 1,9 % (в 6,0 раз), септориозом – до 5,1 % (в 2,4 раза), мучнистой росой – до 2,1 % (в 1,8 раза), по отношению к пшенице по пару.

В повторном посеве яровой пшеницы развитие бурой ржавчины в варианте интенсивной агротехнологии уменьшилось с 9,6 до 1,4 % (в 8,2 раза), менее вредоносной мучнистой росы – с 3,7 до 2,6 % (в 1,4 раза), что

**Табл. 4. Урожайность зерна яровой пшеницы в зависимости от предшественника и уровня агротехнологий (2003–2023 гг.), т/га**

Размещение яровой пшеницы в севообороте (фактор А)	Уровень агротехнологии (фактор В)				Среднее В (НСР <sub>05</sub> = 0,05 т/га)
	экстенсивный	нормальный	полуинтенсивный	интенсивный	
Пшеница по пару	2,08	2,47	2,82	4,09	2,87
Вторая пшеница	1,47	1,94	2,36	3,27	2,26
Третья пшеница	1,06	1,53	1,85	2,56	1,75
Среднее по А (НСР <sub>05</sub> = 0,07 т/га)	1,54	1,98	2,34	3,31	

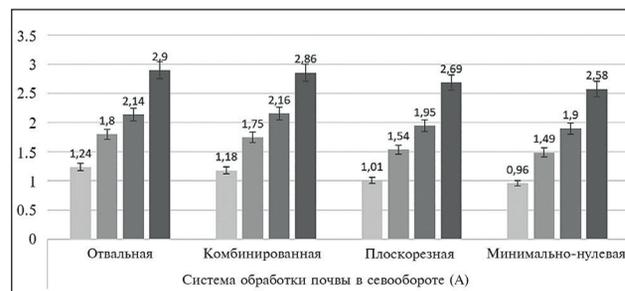
во многом предопределило эффективность агротехнологии этого уровня.

При экстенсивной и нормальной агротехнологиях урожайность зерна пшеницы по пару в варианте нулевой обработки снижалась, в сравнении с комбинированной, на 0,27 т/га (12 %). При интенсивной агротехнологии с отвальной и комбинированной обработками почвы сбор зерна достигал 4,18...4,22 т/га. На фоне минимальной обработки почвы урожайность пшеницы снижалась незначительно – на 5,3 % по отношению к комбинированной (табл. 3).

Прибавки урожайности зерна от применения средств химизации в порядке возрастания влияния компонентов можно расположить в следующий ряд: от удобрений – 0,35 т/га, от гербицидов – 0,39, от гербицидов и удобрений – 0,74, от фунгицидов – 0,89, от всего комплекса средств интенсификации – 2,01 т/га, при повышении урожайности к абиотическим факторам.

Урожайность второй пшеницы после пара при экстенсивной агротехнологии составляла 1,47 т/га, нормальной – 1,94, полуинтенсивной – 2,36, интенсивной – 3,27 т/га, или в 2,2 раза выше, чем при экстенсивной (табл. 4). Сбор зерна в посевах третьей пшеницы после пара при экстенсивной агротехнологии составлял 1,06 т/га, нормальной – 1,53 т/га, полуинтенсивной – 1,85 т/га, интенсивной – 2,56 т/га, что в 2,4 раза превышало экстенсивный уровень.

Минимизация обработки почвы снижала выход зерна с 1 га пашни. При полуинтенсивной и интенсивной агротехнологиях преимущество имела комбинированная ресурсосберегающая обработка почвы в севообороте – 2,16...2,86 т/га, что выше минимально-нулевой на 0,28 т/га (рис. 3).



**Рис. 3. Выход зерна пшеницы в севообороте в зависимости от системы обработки почвы и уровня агротехнологии (2003–2023 гг.), т/га: ■ – экстенсивная; ■ – нормальная; ■ – полуинтенсивная; ■ – интенсивная.**

Вклад средств интенсификации в рост продуктивности пшеницы можно расположить в следующем возрастном порядке: гербициды – 15 %; удобрения – 20 %, фунгициды – 29 %, удобрения и гербициды – 36 %, весь комплекс средств интенсификации – 100 %.

В последние годы в регионе отмечена тенденция к ухудшению технологических свойств зерна, хотя в 70–80-е годы Омская область была лидером в Сибири по заготовке качественного зерна [18, 19, 20]. За период 2019–2023 гг. в регионе доля пшеницы первого и второго класса в валовом сборе составила только 1...2 %, третьего – 35...40 %, четвертого и пятого – более 58 %. Главная причина – нарушение агротехнологий, сокращение площади парового поля (с 580 до 400 тыс. га), оставление почвы без обработки, повышенная засоренность и инфицированность посевов.

При удалении пшеницы от пара белковость зерна и содержание клейковины снижаются. Интенсивная агротехнология способствовала увеличению массы 1000 зерен

**Табл. 5. Технологические свойства зерна яровой пшеницы в зависимости от уровня агротехнологий и предшественника (2004–2022 гг.)**

Агротехнология	Качество зерна					Урожайность, т/га
	масса 1000 зерен, г	натурная масса, г/л	стекловидность, %	содержание, %		
				белок	клейковина	
<b>яровая пшеница по пару</b>						
Экстенсивная	32,2	740	50	13,6	27,5	2,08
Интенсивная	35,6	750	54	14,6	29,4	3,98
НСР <sub>05</sub>	0,6	4	1	0,9	0,7	0,10
<b>вторая пшеница</b>						
Экстенсивная	32,4	752	45	12,6	25,1	1,49
Интенсивная	36,1	761	48	13,5	27,0	3,23
НСР <sub>05</sub>	0,9	4	2	0,2	0,4	0,12
<b>третья пшеница</b>						
Экстенсивная	30,6	747	41	12,0	23,9	1,08
Интенсивная	35,1	762	49	13,1	26,4	2,08
НСР <sub>05</sub>	0,6	4	2	0,3	0,6	0,14

с 30,6 до 36,1 г, натурной массы – с 740 до 762 г/л., стекловидности – с 41 до 54 % (табл. 5). Содержание белка возросло с 12,0...13,6 до 13,1...14,6 %, клейковины – с 23,9...27,5 до 26,4...29,4 %.

В зерне яровой пшеницы по паровому предшественнику при интенсивной агротехнологии содержание тяжелых металлов было ниже ПДК в 1,6...4,2 раза, радионуклидов – в 10...36 раз, остаточных количеств пестицидов не обнаружено.

**Выводы.** Разноуровневые агротехнологии в лесостепных агроландшафтах Омского Прииртышья оказывают существенное влияние на плодородие почвы, водный и питательный режимы, фитосанитарное состояние посевов, продуктивность и качество зерна яровой пшеницы. Наибольшая продуктивность культуры отмечена на фоне интенсивной агротехнологии при возделывании пшеницы по пару на отвальной и комбинированной обработках почвы – 4,18...4,22 т/га. В зависимости от применения средств химизации урожайность пшеницы возрастала следующим образом: от удобрений – на 0,35 т/га, от гербицидов – на 0,39, от гербицидов и удобрений – на 0,74, от фунгицидов – на 0,89, от комплекса средств интенсификации – на 2,01 т/га при большей устойчивости к внешним биотическим факторам.

Интенсивная агротехнология, в зависимости от предшественника, обеспечивает увеличение в урожае массы 1000 зерен, по отношению к экстенсивной, на 3,4...4,5 г, натурной массы – на 9...15 г/л, стекловидности – на 3...8 %, содержания белка – на 0,9...1,1 %, клейковины – на 1,9...3,5 % при экологической безопасности продукции.

Наибольший в опыте выход зерна с 1 га пашни в зернопаровом севообороте отмечен при полуинтенсивной и интенсивной агротехнологиях на фоне ресурсосберегающей комбинированной системы обработки почвы – 2,16...2,86 т.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.**

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2024-542. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

**СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.**

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.**

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

**Литература.**

1. Кумратова А. М., Алещенко В. В. Продуктивность зернового производства в России: тенденции и перспективы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3(63). С. 142–146.
2. Система адаптивного земледелия Омской области / И. Ф. Храмцов, В. С. Бойко, Л. В. Юшкевич и др. Омск: ИП Махшеевой Е. А., 2020. 522 с.
3. Кирюшин В. И. Задачи и программа научно-инновационного обеспечения земледелия и землепользования: Методические рекомендации. М.: Почвенный институт имени В. В. Докучаева, 2023. 96 с.
4. Содержание лабильного органического вещества в луговочерноземной почве при длительном применении удобрений / Н. Ф. Балабанова, Н. А. Воронкова, В. Д. Дороненко и др. // Земледелие. 2020. № 2. С. 7–9.
5. Особенности проведения весенних полевых работ в хозяйствах Омской области в 2024 г.: практические рекомендации. Омск: ФГБНУ «Омский АНЦ», 2024. 68 с.
6. Кирюшин В. И. Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель // Почвоведение. 2020. № 7. С. 871–879.
7. Кирюшин В. И., Дубачинская Н. Н., Юрова А. Ю. Комплексная оценка сельскохозяйственных земель на примере Южного Урала // Почвоведение. 2021. № 11. С. 1363–1375.
8. Красницкий В. М., Шмидт А. Г. Оценка плодородия почв в Омской области // Агробиологический вестник. 2024. № S3. С. 22–26. doi: 10.24412/1029-2551-2024-3-003s.
9. Тойгильдин А.Л., Морозов В. И., Подсевалов М. И. Биологизация севооборотов и качество зерна яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии 2019. № 2 (46) С. 58–64.
10. Завалин А. А. Проблемы и пути решения технологического развития земледелия // Земледелие. 2024. № 2. С. 25–29.
11. Гамзиков Г. П. Система No-till в сибирском земледелии: проблемы, реальности и перспективы // Земледелие. 2024. № 3. С. 10–17.
12. Шафрин С. А. Научное обоснование определения потребности Российской Федерации в минеральных удобрениях // Агробиология. 2024. № 6. С. 3–12.
13. Сычев В. Г. Использование минеральных удобрений // Плодородие. 2024. № 4. С. 3–5.
14. Юшкевич Л. В., Тимохин А. Ю. Управление ресурсами влаги в агроландшафтах Омского Прииртышья: монография. Омск: ФГБНУ «Омский АНЦ», 2024. 322 с.
15. Синещиков В. Е. Фитосанитарная ситуация в зерновых агроценозах при минимизации обработки почвы: монография. Новосибирск: СибНИИРС ФГБНУ СибНИИЗиХ, 2015. 138 с.
16. Кекало А. Ю., Немченко В. В., Заргарян Н. Ю., Филиппов А. С. Фитосанитарные проблемы пшеничного поля и эффективность средств защиты от болезней // Агробиология. 2020. № 10. С. 45–50.
17. Резервы увеличения урожайности полевых культур на каштановых почвах сухой степи Западной Сибири / К. Н. Кулик, А. А. Гаркуша, В. И. Усенко и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2024. № 5. С. 3–7.

18. Улучшение качества клейковины сортов яровой твердой пшеницы в Омском АНЦ / В. С. Юсов, М. Г. Евдокимов, И. В. Пахотина и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 9. С. 55–59.
19. Колмаков Ю. В., Ледовский Е. Н., Пахотина И. В. Качество зерна пшеницы при защите посевов от болезней // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2016. № 3 (23). С. 9–12.
20. Качество зерна пшеницы в зависимости от предшественника, обработки почвы, удобрений и средств защиты растений в лесостепи юга Западной Сибири / С. В. Усенко, В. И. Усенко, А. А. Гаркуша и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 7. С. 32–37. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10705.

**Поступила в редакцию 19.12.2024**

**После доработки 14.01.2025**

**Принята к публикации 11.02.2025**

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА СОДЕРЖАНИЕ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ

© 2025 г. Д. В. Дубовик, доктор сельскохозяйственных наук, Е. В. Дубовик, доктор биологических наук, А. Н. Морозов, кандидат сельскохозяйственных наук, П. П. Дураков, аспирант

Курский федеральный аграрный научный центр,  
305021, Курск, ул. К. Маркса, 70б  
E-mail: dubovikdm@yandex.ru

*Исследования проводили с целью определения особенностей накопления растениями озимой пшеницы азота, фосфора и калия при различных технологиях возделывания. Работу выполняли в 2021–2024 гг. на черноземе типичном Курской области. Изучали следующие технологии возделывания культуры: традиционная, дифференцированная, минимальная, прямого посева. При использовании традиционной технологии содержание азота в корнях было выше, чем в других вариантах, на 0,03...0,12 %, в соломе – на 0,03...0,04 %, в зерне – на 0,04...0,13 %, накопление – соответственно на 3,9...14,1 кг/га, 3,1...10,9 кг/га и 0,8...11,2 кг/га. В изучаемых технологиях не выявлено существенных различий по содержанию фосфора в корнях и соломе озимой пшеницы. В зерне, выращенном с использованием традиционной технологии, концентрация этого элемента была больше, чем в других вариантах, на 0,06...0,10 %. Количество калия в корнях при минимальной технологии снижалось относительно остальных технологий на 0,03...0,05 %. При прямом посеве содержание этого минерального элемента в соломе было выше, чем при других технологиях, на 0,04...0,05 %. Наибольшее в опыте количество калия в зерне отмечено при традиционной технологии, наименьшее – при минимальной. По уровню накопления фосфора и калия в растениях озимой пшеницы традиционная и дифференцированная технологии были равнозначны. По отношению к ним при минимальной технологии и прямом посеве накопление растениями фосфора было ниже на 4,8...13,2 %, калия – на 5,1...13,9 %. Вынос азота, фосфора и калия с зерном превышает уровень возврата с корнями и соломой. Баланс азота и фосфора был отрицательным. Наибольший дефицит азота складывается при минимальной технологии, фосфора – при традиционной. Положительный баланс калия достигается только благодаря внесению минеральных удобрений.*

## THE INFLUENCE OF WINTER WHEAT CULTIVATION TECHNOLOGY ON THE CONTENT OF MACRONUTRIENTS IN PLANTS

D. V. Dubovik, E. V. Dubovik, A. N. Morozov, P. P. Durakov

Federal Agricultural Kursk Research Center,  
305021, Kursk, ul. Karla Marksa, 70b  
E-mail: dubovikdm@yandex.ru

*The research was carried out to determine the characteristics of the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium by winter wheat plants using various cultivation technologies. The work was carried out in 2021–2024 on typical chernozem of the Kursk region. The following technologies of winter wheat cultivation were studied: traditional, differentiated, minimal, direct sowing. When using traditional technology, the nitrogen content was higher than for other studied technologies – in roots by 0.03...0.12 %, in straw by 0.03...0.04 %, in grain by 0.04...0.13 %. It also contributed to a higher accumulation of nitrogen in the roots by 3.9...14.1 kg/ha, in straw – by 3.1...10.9 kg/ha, in grain – by 0.8...11.2 kg/ha. In the studied technologies, no significant differences were found in the phosphorus content in the roots and straw of winter wheat. Grain obtained using traditional technology contained 0.06...0.10 % more phosphorus than with other technologies. The amount of potassium in the roots decreased by 0.03...0.05 % with minimal technology, compared to other technologies, which did not differ significantly in terms of this indicator. The amount of potassium in the straw during direct sowing was 0.04...0.05 % higher than with other technologies. The highest potassium content in the grain in the experiment was provided by traditional technology, and the lowest by minimal technology. According to the level of phosphorus and potassium accumulation in winter wheat plants, traditional and differentiated technologies were equivalent. In relation to them, minimal technology and direct sowing were inferior in the accumulation of phosphorus by plants by 4.8...13.2 %, potassium by 5.1...13.9 %. The removal of nitrogen, phosphorus, and potassium from grain exceeds the level of return from roots and straw. The balance of nitrogen and phosphorus was deficient. The greatest shortage of nitrogen occurs with minimal technology, and phosphorus with traditional technology. A positive potassium balance is achieved only through the application of mineral fertilizers.*

**Ключевые слова:** озимая пшеница (*Triticum aestivum*), азот, фосфор, калий, технология возделывания, накопление, баланс.

**Keywords:** winter wheat (*Triticum aestivum*), nitrogen, phosphorus, potassium, cultivation technology, accumulation, balance.

В процессе роста и развития растения озимой пшеницы формируют достаточно большое количество биомассы, в которой происходит накопление таких макроэлементов, как азот, фосфор и калий [1]. Часть ее, представленная зерном, безвозвратно удаляется с поля, что исключает из биогеохимического круговорота накопленные минеральные элементы [2]. Оставшаяся часть – растительные остатки – включает в себя корни и солому, которые составляют до 60 % сухой биомассы растений и содержат значительное количество питательных

веществ [3]. Корни практически всегда остаются в почве, постепенно трансформируясь в гумусовые вещества и органо-минеральные комплексы [4]. Скорость и степень разложения соломы зависит от многих факторов (микробиологической активности, влажности и температуры почвы и др.), на которые можно воздействовать отдельными агроприемами [5, 6, 7].

В технологиях возделывания озимой пшеницы таким агроприемом выступает основная обработка почвы. Она влияет на характер распределения растительных остатков в пахотном

слое почвы [8]. Глубокая отвальная обработка способствует заделке пожнивно-корневых остатков на дно борозды, безотвальные и мелкие приемы обработки обуславливают их накопление в верхнем слое почвы [9]. В последние годы достаточно широко внедряется технология прямого посева, при которой солома распределяется по поверхности почвы, создавая мульчирующий слой [10, 11, 12].

Кроме воздействия на характер распределения растительных остатков в почве, приемы обработки, используемые в технологиях возделывания озимой пшеницы, влияют на водно-воздушный режим почвы [13], а через его изменение – на интенсивность микробиологических и физико-химических процессов [14], что определяет уровень поступления биогенных макроэлементов в растения [15]. Их накопление в отчуждаемом с поля зерне и уменьшение в остающихся пожнивно-корневых остатках может привести к отрицательному балансу элементов минерального питания, что повлечет снижение уровня плодородия почвы, потребует дополнительных затрат на восполнение дефицита [16].

Цель исследований – определить особенности накопления растениями озимой пшеницы азота, фосфора и калия при различных агротехнологиях для оценки баланса биогенных элементов.

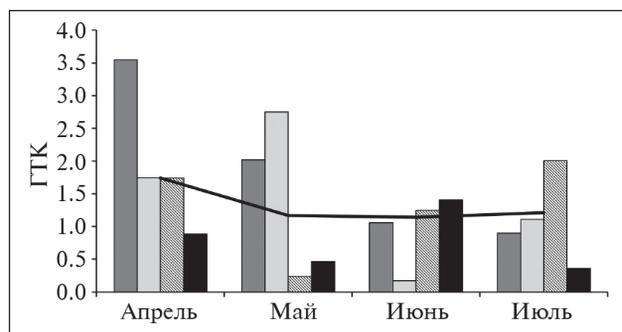
**Методика.** Работу выполняли на опытном поле Курского федерального аграрного научного центра (Курская область, Курский район, пос. Черемушки) в 2021–2024 гг. в четырехпольном зерновом севообороте (горох – озимая пшеница – соя – яровой ячмень), развернутом в пространстве и времени. Изучали четыре технологии возделывания озимой пшеницы, различающиеся по способу основной обработки почвы, системе защиты растений, способу внесения минеральных удобрений (табл. 1).

Варианты в полевом опыте размещали систематически в один ярус. Площадь посевной делянки – 6000 м<sup>2</sup> (60 м × 100 м), повторность трехкратная. Сорт озимой пшеницы – Безостая 100.

Почва опытного участка представлена черноземом типичным мощным тяжелосуглинистым. Среднее по опыту содержание гумуса в пахотном слое составляло 5,23 %, подвижного фосфора и калия (по Чирикову) – соответственно

**Табл. 1. Содержание элементов технологий возделывания озимой пшеницы**

Элемент технологии	Технология			
	традиционная	дифференцированная	минимальная	прямой посев
Основная обработка почвы	отвальная (вспашка на 20...22 см)	безотвальная (чизелевание на 20...22 см + дискование на 8...10 см)	поверхностная (диско-вание на 6...8 см)	без обработки
Минеральные удобрения	основное внесение N <sub>17</sub> , P <sub>45</sub> , K <sub>45</sub> ; подкормка N <sub>51</sub> в фазе весеннего кущения			основное N <sub>7</sub> , P <sub>19</sub> , K <sub>19</sub> ; припосевное N <sub>10</sub> , P <sub>26</sub> , K <sub>26</sub> ; подкормка N <sub>51</sub>
Способ и норма посева	рядовой посев (междурядья 15 см) с нормой высева 4,0 млн шт/га		рядовой посев (междурядья 21 см) с нормой высева 3,5 млн шт/га	рядовой посев (междурядья 21 см) с нормой высева 3,5 млн шт/га
Защита растений	интегрированная, сочетающая систему обработки почвы с применением химической схемы защиты озимой пшеницы			химическая (обработка гербицидами сплошного действия перед посевом с применением схемы защиты озимой пшеницы)



**Рис. 1. Гидротермический коэффициент за период активной вегетации озимой пшеницы: ■ – 2021 г.; ■ – 2022 г.; ■ – 2023 г.; ■ – 2024 г.; — – среднегодовое.**

202,3 мг/кг и 137,6 мг/кг, азота щелочногидролизуемого (по Корнфилду) – 156,3 мг/кг, рН<sub>ксл</sub> – 5,3 ед.

Урожайность зерна озимой пшеницы учитывали с использованием комбайна Сампо-500 с последующим взвешиванием и пересчетом на 14 %-ную влажность и 100 %-ную чистоту. После уборки определяли запасы корневых остатков в пахотном слое, а также количество соломы [17]. В зерне, соломе и корнях озимой пшеницы определяли содержание общего азота, фосфора и калия по методу К. Е. Гинзбург [18].

Статистическую обработку полученных данных проводили методами дисперсионного анализа с использованием программ Microsoft Excel и Statistica.

Баланс макроэлементов рассчитывали по следующей формуле:

$$B_i = (C_{кi} + C_{сi}) \times 0,60 \times D_i + M_u \times K_i - C_{зi}, \quad (1)$$

где B<sub>i</sub> – баланс i-го макроэлемента (±), кг/га; C<sub>кi</sub> – содержание i-го макроэлемента в корнях, кг/га; C<sub>сi</sub> – содержание i-го макроэлемента в соломе, кг/га; 0,60 – коэффициент разложения пожнивно-корневых остатков озимой пшеницы; D<sub>i</sub> – доступность растениям i-го макроэлемента из пожнивно-корневых остатков (N – 0,20; P<sub>2O5</sub> – 0,20; K<sub>2O</sub> – 0,40); M<sub>u</sub> – доза минеральных удобрений, кг/га действующего вещества; K<sub>i</sub> – коэффициенты использования элементов питания из минеральных удобрений (N – 0,50; P<sub>2O5</sub> – 0,20; K<sub>2O</sub> – 0,40); C<sub>зi</sub> – содержание i-го макроэлемента в зерне, кг/га.

В годы проведения исследований, в период активной вегетации озимой пшеницы, условия увлажнения территории, оцениваемые по гидротермическому коэффициенту (ГТК), складывались следующим образом (рис. 1): в апреле 2021, 2022 и 2023 гг. отмечено избыточное увлажнение (ГТК > 1,6), что характерно для среднегодовое значений, а в 2024 г. – недостаточное (ГТК 0,5...1,0). Май в 2021 и 2022 гг. характеризовался избыточным, а в 2023 и 2024 гг. – слабым увлажнением (ГТК < 0,5). В июне 2021, 2023 и 2024 гг. формировался оптимальный режим увлажнения (ГТК 1,0...1,6), что соответствует среднегодовым значениям, в 2022 г. – слабым. Июль в 2021 г. отличался недостаточным (ГТК 0,5...1,0), в 2022 г. – оптимальным, в 2023 г. – избыточным, в 2024 г. – слабым увлажнением. В целом вегетационный период 2021, 2022 и 2023 гг. характеризовался оптимальными условиями увлажнения, 2024 г. – недостаточными.

**Результаты и обсуждение.** Биомасса растений озимой пшеницы состоит из товарной (зерно) и нетоварной (солома, корни) частей. При традиционной технологии возделывания озимой пшеницы формировалась наиболее высокая масса корней (3,99 т/га), что больше, чем при дифференцированной, на 3,5 %, минимальной – на 18,5 %, прямом посева – на 14,5 % (табл. 2). Количество соломы также было максимальным в опыте при традиционной технологии (5,74 т/га), что больше,

**Табл. 2. Продуктивность озимой пшеницы в зависимости от технологии возделывания (среднее за 4 года)**

Технология	Масса, т/га		
	корни	солома	зерно
Традиционная	3,99	5,74	6,13
Дифференцированная	3,85	5,67	6,31
Минимальная	3,25	4,92	6,21
Прямого посева	3,41	5,35	5,97
НСР <sub>05</sub>	0,11	0,29	0,14

чем при дифференцированной и минимальной, а также прямом посеве, соответственно на 1,2, 14,3 и 6,8 %.

Такое изменение как товарной, так и нетоварной частей озимой пшеницы обусловлено, по-видимому, тем, что традиционная технология возделывания озимой пшеницы предусматривает более глубокую обработку почвы, что оказывает непосредственное влияние на плотность и порозность почвы. Так, при традиционной технологии плотность почвы в слое 0...10 см составляла 1,09 г/см<sup>3</sup>, в слое 10...20 см – 1,10 г/см<sup>3</sup>, в то время как при технологиях, ориентированных на минимизацию обработки почвы, в слое 0...10 см она была равна 1,04...1,06 г/см<sup>3</sup>, в нижележащем слое 10...20 см – 1,16...1,17 г/см<sup>3</sup>. Изменения общей порозности относительно плотности носили диаметрально противоположный характер. В слое 10...20 см это отразилось на развитии вторичной корневой системы и, как следствие, на росте биомассы растений. Масса нетоварной части озимой пшеницы (корни + солома) при минимальной технологии была на 4,5...19,1 % ниже, чем в других вариантах.

Максимальная в опыте масса зерна озимой пшеницы отмечена при использовании дифференцированной технологии (6,31 т/га). По сравнению с ней при традиционной и минимальной технологиях величина этого показателя уменьшалась на 0,18 и 0,10 т/га соответственно. При использовании прямого посева масса зерна снижалась относительно других изучаемых технологий на 0,16...0,34 т/га.

Доля корней, соломы и зерна при традиционной технологии составляла соответственно 25,2, 36,2, 38,6 %, при дифференцированной – 24,3, 35,8, 39,9 %, при минимальной – 22,6, 34,2, 43,2 %, при прямом посеве – 23,2, 36,3, 40,5 %.

Содержание азота в корнях, соломе и зерне озимой пшеницы было наиболее высоким при возделывании по традиционной технологии (табл. 3). По сравнению с ней отмечена тенденция к снижению величины этого показателя при дифференцированной технологии в корнях на 0,05 %, в соломе – на 0,04 %, в зерне – на 0,08 %; при минимальной – соответственно на 0,12, 0,03 и 0,04 %; при прямом посеве – на 0,03, 0,03 и 0,13 %.

Количество фосфора в корнях и соломе озимой пшеницы в зависимости от изучаемой технологии существенно не изменялось и варьировало в пределах 0,34...0,36 % для корней и 0,25...0,27 % для соломы. В зерне максимальное в опыте количество фосфора отмечали при традиционной технологии. При дифференцированной технологии величина этого показателя снижалась на 0,07 %, при минимальной – на 0,10 %, при прямом посеве – на 0,06 %.

**Табл. 3. Содержание макроэлементов в растениях озимой пшеницы (среднее за 4 года)**

Технология	Содержание макроэлементов, %								
	корни			солома			зерно		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Традиционная	1,37	0,34	0,40	1,15	0,26	0,89	2,14	0,72	0,46
Дифференцированная	1,32	0,35	0,42	1,11	0,25	0,88	2,06	0,65	0,44
Минимальная	1,25	0,36	0,37	1,12	0,26	0,88	2,10	0,62	0,43
Прямого посева	1,34	0,34	0,42	1,12	0,27	0,93	2,01	0,66	0,44
НСР <sub>05</sub>	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02

Содержание калия в корнях озимой пшеницы при традиционной, дифференцированной технологиях и прямом посеве существенно не различалось и варьировало в пределах 0,40...0,42 %. При минимальной технологии оно снижалось относительно других изучаемых технологий на 0,03...0,05 %. По уровню содержания калия в соломе озимой пшеницы традиционная, дифференцированная и минимальная технологии были равнозначны. Прямой посев способствовал повышению величины этого показателя на 0,04...0,05 %. В зерне озимой пшеницы количество калия было наибольшим при традиционной, а наименьшим при минимальной технологии.

Высокая масса корней и соломы и наибольшее содержание в них азота обеспечили максимальное в опыте накопление в них этого элемента при традиционной технологии (54,7 кг/га). При дифференцированной технологии накопление азота в корнях снижалось на 3,9 кг/га, при минимальной – на 14,1 кг/га, при прямом посеве – на 9,0 кг/га, в соломе – на 3,1, 10,9 и 6,1 кг/га соответственно (табл. 4). Более высокая масса зерна при дифференцированной и минимальной технологиях обеспечила сопоставимый с традиционной технологией уровень накопления азота в зерне (~130 кг/га). При прямом посеве отмечено его снижение на 10,0...11,2 кг/га.

Накопление фосфора в корнях при традиционной и дифференцированной технологиях было на одном уровне. Минимальная технология и прямой посев между собой по накоплению этого минерального элемента в корнях значимо не различались, но способствовали его снижению, относительно традиционной и дифференцированной технологий, на 1,8...2,0 кг/га. По уровню накопления фосфора в соломе озимой пшеницы между традиционной, дифференцированной технологиями и прямым посевом значимых различий не выявлено. При использовании минимальной технологии он уменьшался на 1,4...2,0 кг/га. Накопление фосфора в зерне озимой пшеницы было наибольшим при традиционной технологии. По сравнению с ней накопление этого элемента в зерне при дифференцированной технологии уменьшалось на 3,1 кг/га, при минимальной – на 5,6 кг/га, при прямом посеве – на 4,7 кг/га.

**Табл. 4. Запасы макроэлементов в различных частях растений озимой пшеницы (среднее за 4 года)**

Технология	Содержание макроэлементов, кг/га								
	корни			солома			зерно		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Традиционная	54,7	13,6	16,0	66,0	14,9	51,1	131,2	44,1	28,2
Дифференцированная	50,8	13,5	16,2	62,9	14,2	49,9	130,0	41,0	27,8
Минимальная	40,6	11,7	12,0	55,1	12,8	43,3	130,4	38,5	26,7
Прямого посева	45,7	11,6	14,3	59,9	14,4	49,8	120,0	39,4	26,3
НСР <sub>05</sub>	2,2	0,8	0,6	2,9	0,9	2,7	3,5	1,7	1,4

Накопление калия в корнях при традиционной и дифференцированной технологиях было практически одинаковым. По сравнению с ними переход на минимальную технологию способствовал его снижению на 25,0...26,0 %, на прямой посев – на 10,6...11,7 %. Накопление калия в соломе озимой пшеницы при традиционной, дифференцированной технологиях и прямом посеве значимо не различалось, а при минимальной уменьшилось на 6,5...7,8 кг/га. Накопление калия в зерне имело тенденцию к снижению по мере минимизации технологии возделывания озимой пшеницы.

Преобладание макроэлементов в различных частях растений озимой пшеницы при традиционной технологии, на наш взгляд, обусловлено оптимальными агрофизическими свойствами, которые способствовали более интенсивному развитию корневой системы и, соответственно, поглощению как воды, так и питательных элементов из почвы.

Расчет баланса азота, фосфора и калия (без учета содержания доступных форм элементов питания в почве) показал,

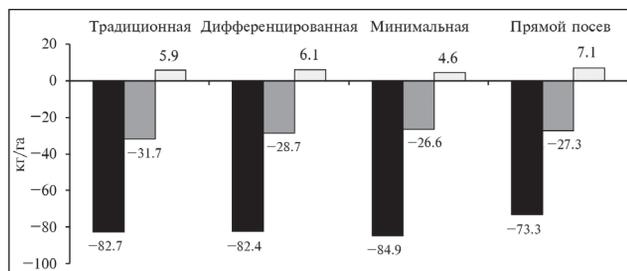


Рис. 2. Баланс макроэлементов в зависимости от технологии возделывания озимой пшеницы:

■ – N; ■ – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; ■ – K<sub>2</sub>O.

что вынос азота и фосфора с зерном превышает уровень их возврата с корнями, соломой и минеральными удобрениями. При этом следует учитывать, что пожнивно-корневые остатки соломы разлагаются в течение первого года примерно на 60 %, а уровень доступности макроэлементов из них (см. формулу 1) невысок и составляет для азота примерно 20 %, фосфора – 20 %, калия – 40 %. Положительный баланс калия достигается только при внесении минеральных удобрений.

Меньший дефицит азота отмечен при прямом посеве, что связано с самой низкой урожайностью зерна (рис. 2). Традиционная и дифференцированная технологии по дефициту азота находятся на одном уровне, а при минимальной технологии он увеличивается на 2,2...2,5 кг/га.

Самый дефицитный баланс фосфора (–31,7 кг/га) складывается при традиционной технологии, что связано с наиболее высоким в опыте его содержанием в зерне в этом варианте. Использование других изучаемых технологий снижает дефицит фосфора на 3,0...5,1 кг/га. Баланс калия был самым высоким при прямом посеве – на 1,0...2,5 кг/га больше, чем в других вариантах.

**Выводы.** Технология возделывания неоднозначно влияет на содержание азота, фосфора и калия в растениях озимой пшеницы. Содержание азота при ее выращивании по традиционной технологии было выше, чем в других вариантах: в корнях – на 0,03...0,12 %, в соломе – на 0,03...0,04 %, в зерне – на 0,04...0,13 %. Количество фосфора в корнях и соломе озимой пшеницы в зависимости от изучаемой технологии существенно не изменялось, а в зерне при традиционной технологии оно было выше на 0,06...0,10 % относительно других вариантов. Содержание калия в корнях озимой пшеницы при традиционной, дифференцированной технологиях и прямом посеве существенно не различалось, а при минимальной снижалось на 0,03...0,05 %. Прямой посев способствовал повышению количества калия в соломе на 0,04...0,05 %, относительно других изучаемых технологий, которые между собой существенно не различались. В зерне озимой пшеницы более высокое содержание калия обеспечивала традиционная технология, а наименьшее – минимальная.

Максимальное в опыте накопление азота в растениях отмечали при традиционной технологии: в корнях выше, чем в других вариантах, на 3,9...14,1 кг/га, в соломе – на 3,1...10,9 кг/га, в зерне – на 0,8...11,2 кг/га. Традиционная и дифференцированная технологии по уровню накопления фосфора и калия в растениях озимой пшеницы были практически равнозначны. При минимальной технологии и прямом посеве величины этих показателей снижались соответственно на 4,8...13,2 % и 5,1...13,9 %.

Вынос азота и фосфора с зерном превышает уровень их возврата с корнями и соломой даже с учетом внесения минеральных удобрений. Наиболее дефицитный баланс азота складывается при минимальной технологии, фосфора – при традиционной. Положительный баланс калия достигается только благодаря внесению минеральных удобрений.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета Курского федерального аграрного научного центра в рамках государственного задания по теме № FGZU-2024-0001. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство этим конкретным исследованием получено не было.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### Литература.

1. Ожереева А. Ю., Есаулко А. Н. Влияние минеральных удобрений на содержание элементов питания в растениях и урожайность зерна озимой пшеницы // *Плодородие*. 2019. № 4. С. 6–8.
2. Шафран С. А., Виноградова С. Б. Влияние орта на потребление и вынос питательных веществ зерновыми культурами // *Агрохимия*. 2024. № 7. С. 36–47.
3. Разложение растительных остатков и формирование активного органического вещества в почве инкубационных экспериментов / В. М. Семенов, Н. Б. Паутова, Т. Н. Лебедева и др. // *Почвоведение*. 2019. № 10. С. 1172–1184.
4. Суховеева О. Э. Поступление органического вещества в почву с послуборочными остатками сельскохозяйственных культур // *Почвоведение*. 2022. № 6. С. 737–746.
5. Хрюкин Н. Н., Дедов А. В., Несмеянова М. А. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном // *Агрохимический вестник*. 2018. № 1. С. 2–4.
6. Дедов А. А., Дедов А. В., Несмеянова М. А. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном и продуктивность культур севооборота // *Агрохимия*. 2016. № 6. С. 3–8.
7. Микробиологический препарат для ускорения деградации соломы и повышения плодородия почвы / Е. В. Кузина, Г. Ф. Рафикова, С. Р. Мухаматдьярова и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 9. С. 32–36.
8. Динамика растительных остатков в зависимости от технологии возделывания культур на черноземе обыкновенном / В. М. Передериева, О. И. Власова, Г. Р. Дорожко и др. // *Агрохимический вестник*. 2018. № 4. С. 37–41.
9. Пегова Н. А. Влияние вида пара, соломы и систем обработки дерново-подзолистой почвы на ее агрохимические свойства // *Агрохимия*. 2020. № 3. С. 3–12.
10. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева / В. К. Дриггер, А. Л. Иванов, В. П. Белобров // *Почвоведение*. 2020. № 9. С. 1111–1120.
11. Soil carbon and nitrogen dynamics in a Vertisol following 50 years of no-tillage, crop stubble retention and nitrogen fertilization / P. Jha, K. M. Hati, R. C. Dalal, et al. // *Geoderma*. 2020. Vol. 358. Art. 113996. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706119303246?via%3Dihub> (дата обращения: 24.12.2024). doi: 10.1016/j.geoderma.2019.113996.
12. Бакиров Ф. Г., Поляков Д. Г., Васильев И. В. Накопление и сохранение влаги почвенной и соломенной мульчей в Оренбургской области // *Земледелие*. 2022. № 3. С. 3–7.
13. Богданов Н. А., Тойгильдин А. Л., Тойгильдина И. А. Динамика плотности почвы и урожайность яровой пшеницы в зависимости от приемов воз-

- дельвания в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3 (67). С. 36–42.
14. Изменение биологических свойств чернозема обыкновенного при разной длительности применения нулевой технологии в условиях Ростовской области / Г. В. Мокриков, А. Н. Федоренко, А. С. Собина и др. // Земледелие. 2024. № 7. С. 3–8.
15. Бильдиева Е. А., Ерошенко Ф. В., Дридигер В. К. Фотосинтез и азотное питание озимой пшеницы, возделываемой по технологии прямого посева // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 5. С. 44–49.
16. Золкина Е. И. Влияние минеральных удобрений на урожайность сортов озимой пшеницы и показатели баланса элементов питания на дерново-подзолистой супесчаной почве Нечерноземной зоны // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 3 (15). С. 34–46.
17. Практикум по земледелию / И. П. Васильев, А. М. Туликов, Г. И. Баздырев и др. М.: КолосС, 2004. 424 с.
18. Практикум по агрохимии: учеб. пособие. 2-е изд. / под ред. В. Г. Минеева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 689 с.

**Поступила в редакцию 09.12.2024**

**После доработки 13.01.2025**

**Принята к публикации 04.02.2025**

**Растениеводство, защита и биотехнология растений**

УДК 633.16:631.527

DOI 10.31857/S2500262725010038 EDN CSHJCE

**РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЛЕКЦИИ МНОГОРЯДНЫХ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ  
ДЛЯ ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЙ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

© 2025 г. С. Н. Шевченко, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, Д. О. Долженко, А. А. Бишарёв, кандидаты сельскохозяйственных наук, И. А. Калякулина

*Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н. М. Тулайкова – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, 446254, Самарская обл., Безенчукский р-н, пос. Безенчук, ул. К. Маркса, 41  
E-mail: samniish@mail.ru*

Исследования проводили в 1995–2024 гг. в Самарской области с целью создания сортов ярового ячменя многорядного типа, адаптированных к засушливым условиям Среднего Поволжья. Материалом для селекционной работы служили коллекционные и селекционные образцы ячменя. Основные методы селекции – внутривидовая парная гибридизация, метод пересева и индивидуальный отбор. Многорядный морфотип ярового ячменя характеризуется более высокими показателями количества зерен и массы зерна с главного колоса, по сравнению с двурядными, в среднем на 72,7 % и 28,0 % соответственно, а также более высоким  $K_{\text{хоз}}$  растения (на 7,8 %), но уступает по массе 1000 зерен на 13,8 %, продуктивной кустистости – на 17,0 %, урожайности зерна – на 4,5 %. Выделены 59 источников ценных для селекции многорядного ячменя признаков, в том числе комплекса признаков, включающего высокую зерновую продуктивность – к-30035, к-30719, к-30720, к-30883, к-30983 (пленчатые) и к-30173 (голозерный). С участием выделенных сортообразцов создан новый исходный материал, с использованием которого выведены сорта интенсивного типа с урожайностью зерна на уровне двурядных стандартов в типичные и засушливые годы, а также отзывчивостью на улучшение условий влагообеспеченности Сарыч (Вакула × Орлан) и ПосейДон (Вакула × Тимофей). Урожайность сорта Сарыч в 2019–2021 гг. составила 1,81...4,10 т/га, в среднем 2,71 т/га, натура зерна – 637...684 г/л, масса 1000 зерен – 36,8...42,0 г, содержание белка в зерне – 12,5 %. Сорт ПосейДон (создан в сотрудничестве с Аграрным научным центром «Донской») характеризуется средней урожайностью зерна 2,97 т/га (0,96...4,35 т/га за 2020–2022 гг.), натурой зерна – 624...686 г/л, массой 1000 зерен – 33,0...47,8 г, содержанием белка в зерне – 12,0...14,0 %. По массе 1000 зерен новые сорта сопоставимы с двурядным стандартом Беркут, уступая ему всего на 1,5...2,5 %.

**RESULTS OF BREEDING SIX-ROW BARLEY CULTIVARS FOR ARID CONDITIONS  
OF THE MIDDLE VOLGA REGION**

S. N. Shevchenko, D. O. Dolzhenko, A. A. Bisharev, I. A. Kalyakulina

*Tulajkov Samara Research Agricultural Institute,  
Samara Federal Research Center, Russian Academy of Sciences,  
446254, Samarskaya obl., Bezenchukskii r-n, pos. Bezenchuk, ul. K. Marksa, 41  
E-mail: samniish@mail.ru*

The research was carried out in 1995–2024 in Samara region to develop six-row spring barley cultivars adapted to the arid conditions of the Middle Volga region. Collection and selection barley accessions were used as material for breeding work. The main methods of breeding were intraspecific pair hybridization, bulk method and single plant selection. The six-row morphotype of spring barley is characterized by higher indices of number of grains and grain weight from the main ear in comparison with the two-row ones, on average by 72.7 % and 28.0 %, respectively, and higher harvest index (by 7.8 %), but inferior in weight of 1000 kernels by 13.8 %, tillering capacity by 17.0 %, grain yield by 4.5 %. Fifty-nine sources of traits valuable for breeding of six-row barley were identified, of which the complex of traits, including high grain productivity, was characterized by samples: k-30035, k-30719, k-30720, k-30883, k-30983 (hulled barley) and k-30173 (hulless barley). With the involvement of selected accessions, a new source material for breeding was developed. Barley cultivars 'Sarych' (Vakula × Orlan) and 'PoseiDon' (Vakula × Timofey) of intensive type with grain yield at the level of two-row checks in typical and drought years and responsiveness to improved moisture conditions were breeding. The grain yield of 'Sarych' cultivar in 2019–2021 was 1.81...4.10 t/ha, on average 2.71 t/ha, test weight 637...684 g/l, weight of 1000 kernels 36.8...42.0 g, protein content in grain 12.5 %. The cultivar 'PoseiDon' (created in co-operation with Agrarian Research Centre 'Donskoy') was characterized by an average grain yield of 2.97 t/ha (0.96...4.35 t/ha for 2020–2022), test weight 624...686 g/l, weight of 1000 kernels 33.0...47.8 g, grain protein content 12.0...14.0 %. By the weight of 1000 grains new cultivars are comparable to the two-row check 'Berkut', inferior to it only by 1.5...2.5 %.

**Ключевые слова:** ячмень яровой (*Hordeum vulgare* L.), многорядный ячмень, двурядный ячмень, селекция, сорт, исходный материал, урожайность, масса 1000 зерен.

**Keywords:** spring barley (*Hordeum vulgare* L.), six-row barley, two-row barley selection, variety, source material, grain yield, weight of 1000 kernels.

Вид ячмень посевной (*Hordeum vulgare* L.) характеризуется большим разнообразием морфологических признаков растений. При этом среди коммерческих сортов ярового ячменя, создаваемых в России, доминируют две разновидности, *medicum* и *nutans*, относящиеся к двурядному подвиду *Hordeum vulgare* subsp. *distichon*. Многорядные формы *Hordeum vulgare*

subsp. *vulgare* встречаются гораздо реже. Если среди 15 районированных в России в середине 1930-х гг. сортов ярового ячменя многорядными были 6 (или 40 %) [1], то из 297 сортов, включенных в Государственный реестр селекционных достижений на 2024 г. [2], к многорядным разновидностям отнесено 22, доля которых составляет всего 9,2 %. Больше всего многорядных со-

ртов в сортименте ячменей Восточной Сибири (18,5 %), традиционном регионе возделывания этого морфотипа.

В Поволжье в начале XX в. многорядные разновидности ячменя встречались, но большого распространения не получили. Однако в работах основоположника научной селекции ячменя в этом регионе академика П. Н. Константинова показана возможность подбора для Поволжья наряду с двурядными и шестирядных ячменей [3], что было подкреплено созданием на Краснокутской опытной станции скороспелых засухоустойчивых сортов Паллидум 45 и Паллидум 43, которые получили широкое распространение в регионе в 1930-х гг. [1, 4]. В дальнейшем появление многорядных сортов было эпизодическим. Так, в 1979 г. в Куйбышевской области районировали ячмень Безенчукский, высокопродуктивный в условиях орошения, выведенный на Безенчукском государственном сортоучастке отбором примеси в посевах американской пшеницы [5].

Малую распространенность многорядных сортов можно объяснить рядом объективных причин. Во многих исследованиях отмечали их меньшую продуктивность, по сравнению с двурядными, особенно в экстремальных условиях [6, 7, 8], пониженную продуктивную кустистость [8, 9, 10], мелкое зерно [6, 10, 11], низкую выровненность зерна по крупности и сравнительно низкую натуру [12], меньшую засухоустойчивость [6, 13, 14], слабую устойчивость к полеганию [9, 15, 16]. Мелкозерность многорядного ячменя – особенно нежелательный признак в засушливых условиях, где необходимо обеспечить цепь причинно-следственных связей: крупная зерновка → крупные листья, начиная с первого, → более продолжительный период миксотрофного питания → раннее кущение → высокие суточные приросты биомассы → высокий урожай зерна [17], которая более выражена при использовании двурядных сортов.

В то же время известны высокая потенциальная продуктивность многорядных форм благодаря, в первую очередь, хорошо озерненному колосу [7], а также реальное преимущество по урожайности зерна, которое многорядные сорта имеют в ряде регионов, например, в Западной и Восточной Сибири [18], на Южном Урале [15], в Среднем Поволжье [19], Волго-Вятском регионе [20]. Среди многорядных сортов обнаружены образцы с повышенной продуктивной кустистостью [21] и устойчивостью к полеганию [15, 16, 22].

Поэтому неудивительно, что с середины 1990-х гг. в ряде селекционных европейских части России интенсифицируются работы по созданию новых многорядных сортов ярового ячменя. В 2000-х гг. были допущены к использованию сорта Лель и Тандем (Зональный НИИ сельского хозяйства Северо-Востока), Зевс (Научно-производственная фирма «Белселект»), Вакула и Гелиос УА (Селекционно-генетический институт, Одесса) [2]. В новых сортах частично удалось преодолеть недостатки многорядного ячменя – они отличаются повышенной продуктивной кустистостью, устойчивостью к полеганию, высокой потенциальной урожайностью. В это же время в регионах отмечали случаи завоза и возделывания многорядных сортов, не допущенных к использованию в местных условиях, но реализующих высокий уровень продуктивности в благоприятные годы на полях с хорошим агрофоном [15]; наиболее популярными среди них были сорта Зевс, Вакула, Гелиос УА, Лель и AC Lacombe.

Позднее в реестр сортов, допущенных к возделыванию в европейских регионах России, были включены сорта ячменя Новик (2012; Аграрный научный центр

«Донской»), Богатырь (2015; Национальный центр зерна им. П. П. Лукьяненко), Ергенинский голозерный (2020; Волгоградский государственный аграрный университет), Космос (2020; ООО «Агростандарт»), Нургуш (2020; Челябинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства), Благодар (2022; Белгородский государственный аграрный университет), Тевкеч (2022; Казанский научный центр РАН), Сарыч (2024; Самарский научный центр РАН). Одновременно разрабатывали модели многорядного сорта для различных условий – Волго-Вятского региона [10], Южного Урала [15].

При этом наряду с положительными оценками перспектив возделывания многорядных сортов [15, 21] встречаются и скептические оценки. Так, И. Н. Щенникова и Л. П. Кокина в своем обзоре [23] приводят данные о сокращении площадей под многорядными сортами селекции Зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства Северо-Востока и объясняют это, во-первых, сложностью ведения семеноводства, во-вторых, необходимостью создавать для них условия лучшей влагообеспеченности с применением интенсивных технологий для реализации потенциала продуктивности.

Тем не менее многорядные формы ячменя продолжают привлекать внимание и селекционеров, и производителей своей высокой потенциальной урожайностью, которая может быть реализована в том числе благодаря интенсификации технологии возделывания [6]. Повышенное содержание белка [12], мелкозерность [6, 10, 11] и невыровненность зерна [12] делают многорядные сорта непривлекательными для пивоварения, но не препятствуют использованию в фуражных целях, в том числе в виде зерносеяжа [24] и плющенного зерна [25].

Цель исследования – на основе традиционных методов селекции создать сорта многорядного типа, скороспелые или среднеранние по срокам колошения, устойчивые к жаре и засухе, полеганию и основным заболеваниям.

**Методика.** Основные исследования проведены в 1995–2024 гг. в Самарском НИИ сельского хозяйства – филиале Самарского научного центра РАН (Самарский НИИСХ), расположенном в степной зоне Среднего Поволжья.

Выполненные эксперименты можно разделить на три этапа.

Первый – модельный опыт по сравнительному изучению двурядного и многорядного ячменя по урожайности и элементам ее структуры (2007–2009 гг.). В качестве объекта исследования использовали две выборки из мировой коллекции ярового ячменя Всероссийского института растениеводства им. Н. И. Вавилова (ВИР) – 84 сортообразца многорядных ячменей (разновидностей *glabripallidum*, *ricotense*, *pallidum*, *parallellum*, *tonsum*) и 77 сортообразцов двурядных ячменей (разновидности *deficiens*, *medicum*, *nudum*, *nutans*, *submedicum*, *subzeocriton*). Посев осуществляли по предшественнику чистый пар, закладку и учеты проводили согласно методике ВИР [26]. Годы исследования различались по гидротермическому режиму: гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову (ГТК) за период вегетации ячменя в 2007 г. был равен 1,20, в 2008 г. – 1,00, в 2009 г. – 0,45.

Второй этап – изучение коллекции (1995–2015 гг.). Материалом для исследования служили 160 многорядных сортообразцов ярового ячменя мировой коллекции. Исследования проводили по методике ВИР [26].

Третий – селекционный процесс, основанный на внутривидовой парной гибридизации, методе пересева

и индивидуальном отборе. Материалом служили 146 гибридных популяций, созданных с участием выделенных при изучении коллекции сортов, и отобранные из них селекционные линии, а также гибридные популяции и линии, полученные из Сибирского НИИ сельского хозяйства (СибНИИСХоз), Пензенского НИИ сельского хозяйства (ПензНИИСХ) и Аграрного научного центра «Донской» (АНЦ «Донской»).

Питомники заключительного этапа селекции, конкурсного сортоиспытания, закладывали по методике государственного сортоиспытания [27] в четырехкратной повторности. Предшественник в опытах – горох на зерно, норма высева – 4 млн всхожих зерен на 1 га. В качестве стандартов служили сорта ячменя, принятые за стандарты на государственных сортоучастках Самарской области – Прерия (до 2009 г.) и Беркут (с 2010 г.). Полевые оценки и учеты, лабораторные исследования проводили в соответствии с общепринятыми методиками [27, 28]. Полученные экспериментальные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа [29] в MS Excel.

Почва экспериментального участка – чернозем обыкновенный, среднеслойный, среднесуглинистый, с содержанием в пахотном слое почвы (0...30 см) гумуса – 3,8...4,1 % (ГОСТ 26213-91), легкогидролизуемого азота – 41...45 мг/кг почвы (ГОСТ 26951-86), подвижного фосфора и калия – соответственно 200...270 мг/кг почвы и 150...170 мг/кг почвы (ГОСТ 26205-91), pH солевой вытяжки – 6,8...7,2.

Климат региона исследований резко континентальный. Холодную малоснежную зиму сменяет короткая весна, затем наступает сухое, жаркое лето. Сумма активных температур за вегетационный период культуры составляет 2700...2900 °С, среднегодовое количество осадков – 455 мм с варьированием по годам от 188 мм до 705 мм. В отдельные годы осадков не бывает в течение месяца и больше. Средняя сумма осадков за период вегетации ярового ячменя – 120 мм, ГТК – в среднем 0,8, с изменениями от 0,3 до 1,2. Максимальная температура летом в отдельные годы повышается до +43 °С. С 1904 по 2023 гг. в Безенчуке отмечен ряд изменений климатических условий, в том числе увеличение температуры воздуха за май–август на 0,7 °С (или 3,7 %), а за май–июнь – на 0,5 °С (3,1 %) в течение последних 30 лет, по сравнению предыдущим 90-летним периодом, при одновременном снижении количества осадков соответственно на 21,1 мм (12,2 %) и 2,3 мм (2,8 %) [30]. Таким образом, условия роста и развития яровых зерновых культур, в том числе ярового ячменя, в месте проведения исследований отличаются засушливостью и продолжают ухудшаться, вероятность засух различной интенсивности составляет 40...45 %.

**Результаты и обсуждение.** Многорядные формы ярового ячменя в Самарском НИИСХ начали изучать с самого начала селекционной работы с культурой (1995 г.). Одновременно с изучением коллекции и гибридизацией проводили изучение селекционного материала, полученного из других научно-исследовательских учреждений. Поэтому первый практический результат был достигнут в сотрудничестве с СибНИИСХоз, предоставившим гибридную популяцию Омский 85/Оренбургский 16, и ПензНИИСХ, в котором из этой популяции в 1995 г. были проведены индивидуальные отборы. Совместная селекционная проработка полученных линий в ПензНИИСХ и Самарском НИИСХ привела к передаче на Государственное сортоиспытание в 2006 г. сорта Вариант разновидности *pallidum*.

К его достоинствам следует отнести устойчивость к полеганию от средней до высокой, хорошо озерненный колос (до 45 зерен, в среднем 38 шт.), массу 1000 зерен, близкую к двурядному стандарту (41...46 г), содержание белка в зерне до 13,5 % (в среднем 12,4 %). В конкурсном сортоиспытании Самарского НИИСХ (2003–2005 гг.) новый сорт формировал урожай зерна 1,89...3,85 т/га, на уровне двурядного стандарта (сорт Прерия), причем в условиях сильной засухи 2006 г. величина этого показателя достигала 2,80 т/га. В государственном сортоиспытании (2007–2009 гг.) сорт Вариант не показал стабильного преимущества перед местными стандартами и районирован не был. Тем не менее он подтвердил принципиальную возможность создания многорядного сорта для изменчивых условий Среднего Поволжья и позволил уточнить критерии отбора. С этого времени весь селекционный материал многорядного ячменя в Самарском НИИСХ подвергали скринингу по четырем основным критериям: высоте растений не более 75...80 см в благоприятный год, массе 1000 зерен не менее 38 г, крупность зерна при ситовом анализе не менее 80 %, а также способность формировать густой продуктивный стеблестой.

Собственную селекционную работу с многорядным ячменем в Самарском НИИСХ начали с изучения коллекционного материала для поиска подходящих источников, а также уточнения задач и направлений селекции. В модельном опыте по сопоставлению продуктивности двурядного и многорядного ячменя было выявлено отсутствие значимых различий по высоте растений (преимущество на 1,3...4,8 см у двурядных форм). Показано стабильное преимущество двурядных сортообразцов по массе 1000 зерен (в среднем 39,1 г против 47,5 г), коэффициенту продуктивного кущения (1,6 против 1,9), урожайности зерна (190 г/м<sup>2</sup> против 199 г/м<sup>2</sup>). Многорядная группа имела преимущество по количеству зерен в главном колосе (24,7 шт. против 14,3 шт. у двурядных), массе зерна с колоса (0,64 против 0,50 г) и величине  $K_{\text{хоз}}$  растения (41,7 % против 39,6 %).

Согласно результатам анализа коэффициентов корреляции элементов зерновой продуктивности с урожайностью зерна, установлены различия в ее формировании у двурядных и многорядных форм: у последних отмечена тенденция к возрастанию роли массы 1000 зерен ( $r = 0,16...0,38$ ), в отдельные годы проявляется связь урожайности с числом зерен и массой зерна с колоса ( $r = 0,60$  и  $0,50$ ), в относительно благоприятные годы – с продуктивной кустистостью ( $r = 0,49$ ). Два года из трех как у двурядной группы, так и у многорядной наблюдали связь средней силы с  $K_{\text{хоз}}$  растения ( $r = 0,37...0,39$ ).

Проведенные исследования позволили сделать вывод о возможности улучшения форм многорядного ячменя по крупности зерна и формированию более плотного продуктивного стеблестоя. Для этого, наряду с созданием разнообразного генетического пула исходного материала, необходимо подобрать фоны для отбора и оценки интенсивных генотипов.

В результате изучения мировой коллекции были выделены источники:

раннего и среднераннего колошения (30...37 сут. от всходов до колошения) – к-30883 Тандем (Кировская область); к-27927 Омский 85 (Омская область); к-29102 Неван (Иркутская область); к-27649 Агул 2 (Красноярский край); к-30926 Казьминский (Приморский край); к-5210 Makbo (Австралия); к-27490 Кэкори 3 (КНДР); к-28958 Karan 4 (Индия); к-28076 S-303 (Мексика); к-26808 Melvin (Канада); к-29993 Verner, к-30575 Karin (Швеция); к-28005 Jo 1252 (Финляндия);

оптимальной высоты растений (70...90 см в благоприятный по увлажнению год, 45...55 см в засушливый) – к-30983 Вакула (Ставропольский край); к-30843 Зевс (Белгородская область); к-29409 Выбор (Московская область); к-30804 Лель, к-30883 Тандем (Кировская область); к-30425 Кузнецкий (Кемеровская область); к-5096 (Узбекистан); к-14915 (Таджикистан); к-15830 (Китай); к-28936 Гелиос (Украина); к-30456 Нја 87061 (Финляндия); к-30035 Excel (США); к-30169 Duke, к-30173 Buck CDC (Канада); Tocte//DC-B/Sen (SIMMYT);

устойчивости к полеганию (7...9 баллов в годы с максимальным проявлением) – к-30983 Вакула (Ставропольский край); к-30843 Зевс (Белгородская область); к-29993 Verner, к-30575 Karin (Швеция); к-25153 Rondo (Италия); к-28958 Karan 4 (Индия); к-30413 Lacombe, к-30169 Duke, к-30173 Buck CDC, Falcon (Канада); Tocte//DC-B/Sen (SIMMYT);

устойчивости к гельминтоспориозу (поражение не более 5%) – к-30169 Duke, к-30173 Buck CDC (Канада); к мучнистой росе – к-29630 Л 6823 (Украина); к карликовой ржавчине – к-22089 Белогорский (Ленинградская область); к-30245 Соболек, к-30720 Омский 89, к-30150 Тарский 1 (Омская область); к-30926 Казьминский (Приморский край); к-11586, к-15815, к-15829 (Китай); к-8962, к-9022 (Турция); к-14922 (Таджикистан); к-6955 (Узбекистан); к-3093 (Иран); к-22984 DZ02-545 (Эфиопия);

высокой урожайности зерна (на уровне двурядного стандарта или выше до 25%) – к-30983 Вакула (Ставропольский край); к-30303 Пластун (Краснодарский край), к-30883 Тандем (Кировская область); Вариант (Пензенская область); к-30719 Тарский 3, к-30720 Омский 89 (Омская область); к-30035 Excel, к-30409 Colter (США), к-30413 Lacombe, к-29189 Tupper, к-30173 Buck CDC (Канада); в острозасушливые годы выделялись к-26154 (Узбекистан), к-5973 (Афганистан); к-8962, к-18006, к-22795 N387, к-27751 TR32062 (Турция); к-22984 DZ02-545 (Эфиопия);

высокой продуктивной кустистости (2,5...4,0) – к-30883 Тандем (Кировская область); к-21644 Rita (Эквадор); в благоприятных условиях по увлажнению выделяются также к-19858 Brier (США) и к-30926 Казьминский (Приморский край), практически одностебельные в острозасушливые годы.

числа зерен в главном колосе (36...45 шт.) – к-30883 Тандем (Кировская область); Вариант (Пензенская область); к-30719 Тарский 3, к-30720 Омский 89 (Омская область), к-29993 Verner, к-30575 Karin (Швеция); к-19858 Brier, к-30035 Excel, к-30407 Seco (США); к-29189 Tupper, к-30173 Buck CDC, к-30600 AC Stacey, к-30704 Bv P2D-1, Falcon (Канада); к-28076 S-303 (Мексика);

массы зерна с главного колоса (1,5...1,9 г в благоприятных условиях, 0,7...1,4 г в засушливых) – Вариант (Пензенская область); к-30719 Тарский 3, к-30720 Омский 89 (Омская область), к-19858 Brier, к-30035 Excel (США), к-30600 AC Stacey, к-30704 Bv P2D-1, к-29189 Tupper (Канада); в засушливых условиях выделяются также к-30983 Вакула (Ставропольский край); к-26808 Melvin (Канада);

повышенной массы 1000 зерен (38...42 г) – к-30983 Вакула (Ставропольский край); к-30843 Зевс (Белгородская область); к-28936 Гелиос (Украина); к-30035 Excel (США); к-29189 Tupper, к-30173 Buck CDC (Канада); к-28076 S-303 (Мексика).

высокого  $K_{\text{хоз}}$  главного побега ( $>0,50$ ) и  $K_{\text{хоз}}$  растения ( $>0,44$ ) – к-22089 Белогорский (Ленинградская

область); к-30883 Тандем (Кировская область); к-30245 Соболек, к-30720 Омский 89, к-30150 Тарский 1, к-30719 Тарский 3 (Омская область); к-30983 Вакула (Ставропольский край); к-30843 Зевс (Белгородская область); к-19858 Brier, к-30035 Excel (США); к-30600 AC Stacey (Канада); к-28017 S-257 (Мексика).

Всего выделено 59 источников отдельных признаков, из которых комплексом ценных характеристик, включая высокую урожайность, обладали плечатые сорта Тандем, Вакула, Омский 89, Тарский 3, Excel и голозерный Buck CDC.

Выделенные образцы включали в скрещивания по схеме «многорядный × многорядный» и «двурядный × многорядный». Для создания генетического разнообразия на основе многорядных форм использовали 51 образец, в основном разновидностей *pallidum* и *ricotense*. Всего с их участием было создано 146 гибридных популяций от простых и сложных скрещиваний. Наиболее интенсивно в создании нового гибридного материала использовали генотипы к-29993 Verner, к-30425 Кузнецкий, к-27927 Омский 85, к-30983 Вакула, к-27649 Агул 2, жаростойкие сортообразцы к-18006, к-22795, к-27751 из Турции и к-26154 из Узбекистана. Гибридные популяции F1...F4 размножали и выращивали по чистому пару. В результате был создан разнообразный перспективный селекционный материал, из которого отбирали главным образом плечатые многорядные формы.

В условиях резко континентального климата зоны исследований многорядные генотипы ячменя, созданные в процессе селекции, в целом были менее адаптивны. Часто двурядные линии, отобранные из гибридных популяций «двурядный × многорядный», имели несомненное преимущество перед многорядными и доходили до этапа конкурсного сортоиспытания. Так, с участием многорядного образца коллекции к-27751 (Турция) был создан двурядный сорт Холзан с высокой засухоустойчивостью [31].

Главнейшей задачей при создании сортов многорядного ячменя был отбор генотипов, обладающих зерновой продуктивностью на уровне двурядных стандартов в типичные и засушливые годы и способных формировать высокий урожай в благоприятных по влагообеспеченности условиях. При этом крупность зерна – признак, которым должны были обладать многорядные сорта в любой год выращивания [32]. Результатом интенсивной проработки селекционного материала, созданного с использованием выделенных источников ценных признаков, в таких направлениях стал сорт Сарыч разновидности *ricotense*.

Он создан методом гибридизации сортов Вакула (♀) и Орлан (♂). Скрещивание выполнено в 2010 г. в Самарском НИИСХ, индивидуальный отбор из гибридной популяции поколения F4 проведен в 2014 г. В 2019–2021 гг. линию под названием Рикотензе 1107/18 испытывали в питомнике конкурсного сортоиспытания Самарского НИИСХ, где она формировала зерновую продуктивность на уровне лучших сортов двурядного ячменя – 1,81...4,10 т/га (табл. 1). В 2021 г. сорт Сарыч передали на Государственное сортоиспытание. По данным ФГБУ «Госсорткомиссия», средняя урожайность зерна нового сорта по Средневолжскому региону в 2022–2023 гг. составила 46,6 ц/га, максимальный – 65,0 ц/га (зафиксирована в Республике Мордовия в 2022 г.) [33].

Сорт Сарыч относится к волжской лесостепной агроэкологической группе, среднеранний (71...82 сут.). Среднерослый, высота растений 42...70 см, в условиях достаточного увлажнения – до 80 см. Показатели

**Табл. 1. Характеристика сорта ярового ячменя Сарыч на момент передачи его на государственное сортоиспытание (Самарский НИИСХ, 2019–2021 гг.)**

Показатель	Сарыч		Беркут (стандарт)		НСР <sub>05</sub>
	min...max	среднее	min...max	среднее	
Урожайность зерна, т/га	2019 г. 2,23 2020 г. 4,10 2021 г. 1,81 средняя за 2019–2021 гг. 2,71	2,23	2,45	2,45	0,26 0,38 0,35
Натурная масса зерна, г/л	637...684	653	657...708	677	11,8
Масса 1000 зерен, г	36,8...42,0	39,2	34,0...45,8	39,8	NS***
Пленчатость, %	11,8...12,6	12,2	11,6...11,8	11,7	0,6
Содержание сырого протеина, %	12,5	12,5	12,6...13,6	13,1	1,46
Содержание крахмала, %	57,9...59,6	58,7	59,3...60,0	59,6	NS***
Высота растений, см	42,1...52,8	48,8	47,5...57,0	53,7	3,1
Продуктивная кустистость, шт/раст	1,2...1,6	1,4	1,9...2,2	2,0	0,52
Устойчивость к полеганию, балл (1...5)	5,0	5,0	4,4...5,0	4,6	
Число зерен в колосе, шт.	22,4...24,0	23,3	11,4...14,0	12,8	3,1
Вегетационный период, дней	71...82	77	70...82	76	NS***
Период «всходы–колошение», дней	27...42	40	27...42	40	NS***
Степень засухоустойчивости, балл	7,0...8,0	7,7	8,0	8,0	
Поражение пыльной головней*, %	1,5		1,0		
Поражение твердой головней*, %	1,5		1,0		
Поражение мучнистой росой**, %	40,0		80,0		

\*Максимальное за годы изучения; \*\*провокационный фон (максимальное за годы изучения); \*\*\*различия в опыте не доказаны при P = 0,95.

качества зерна сопоставимы с двурядным стандартом Беркут: натура – 637...684 г/л, содержание белка – 12,5 %, выход крупы – 45...48 %. Важное достоинство сорта Сарыч – высокие показатели массы 1000 зерен (36,8...42,0 г, в среднем 39,2 г, у стандарта Беркут – 39,8 г) и выровненности зерновой массы (85 % и более). Жаро- и засухоустойчивость нового сорта очень высокие, на уровне лучших по этому признаку сортов Беркут и Финист. Устойчив к полеганию и пыльной головне.

Сорт Сарыч допущен к использованию по Средневолжскому региону с 2024 г. Защищен патентом РФ на селекционное достижение № 13484 от 17.04.2024 г. Предназначен для возделывания на зернофураж по зерновым и пропашным предшественникам. Рекомендуемая норма высева 4,5...5,0 млн всхожих семян на 1 га. Отзывчив на факторы интенсификации.

В рамках сотрудничества Самарского НИИСХ и АНЦ «Донской» в 2023 г. передан на государственное сортоиспытание новый сорт многорядного ячменя ПосейДон (зарегистрированы заявки на патент и на допуск к использованию, дата приоритета – 07.08.2023 г.). Он выведен методом гибридизации сортов Вакула (♀) и Тимофей (♂) с последующим индивидуальным отбором из поколения F3. Гибридизация и отбор проведены в АНЦ «Донской» в 2012 г. и 2015 г. соответственно. В 2020–2023 гг. сорт под селекционным номером Зерноградский 1724 проходил конкурсное испытание в Самарском НИИСХ.

ПосейДон – интенсивный сорт многорядного типа разновидности *ricotense*. Стебель средней высоты (53...58 см). Устойчивость к полеганию на уровне стандарта Беркут. Среднеспелый сорт, созревает за 79...88 дней. Отличается продуктивным, хорошо озерненным колосом с числом зерен выше, чем у сорта Беркут, на 11,7 шт. (табл. 2).

Урожайность сорта ПосейДон за 2020–2022 гг. в КСИ в Самарском НИИСХ составила в среднем 2,97 т/га, что на 0,16 т/га выше, чем у двурядного стандарта Беркут. Максимальной она была в АНЦ «Донской» в 2022 г. – 6,60 т/га. Натура зерна в среднем 657 г/л, содержание белка в зерне – 13,1 %, зерно крупное, выполненное. Масса 1000 зерен нового сорта 33...48 г. Как и у сорта Сарыч, величина этого показателя приближена к таковой у двурядных сортов. ПосейДон высоко засухоустойчив. В меньшей степени, чем стандарт Беркут, поражается мучнистой росой. Рекомендуется для возделывания на зернофуражные цели в Средневолжском регионе.

Создание сортов Сарыч и ПосейДон доказало практическую возможность создания интенсивных сортов многорядного типа для засушливых условий Среднего Поволжья. Кроме того, это расширило сортимент ярового ячменя, предлагаемый сельхозтоваропроизводителям региона. Новые сорта также используются в качестве ценного исходного материала для дальнейшей селекции.

**Табл. 2. Характеристика сорта ярового ячменя ПосейДон на момент передачи его на государственное сортоиспытание (Самарский НИИСХ, 2020–2022 гг.)**

Показатель	ПосейДон		Беркут (стандарт)		НСР <sub>05</sub>
	min...max	среднее	min...max	среднее	
Урожайность зерна, т/га	2020 г. 3,61 2021 г. 0,96 2022 г. 4,35 средняя за 2020–2022 гг. 2,97	3,61	3,30	3,30	0,51 0,28 0,55
Натура зерна, г/л	624...686	657	642...703	675	19,5
Масса 1000 зерен, г	33,0...47,8	42,1	36,0...47,9	43,2	NS**
Пленчатость, %	10,6...13,0	11,6	9,4...11,8	10,5	NS**
Содержание сырого протеина, %	12,0...14,0	13,1	11,9...13,8	12,9	NS**
Содержание крахмала, %	51,3...61,3	56,9	51,3...58,0	54,3	NS**
Высота растения, см	52,6...57,9	55,0	53,5...61,8	56,9	NS**
Продуктивная кустистость, шт/раст	1,39...2,13	1,78	1,51...2,55	2,02	0,50
Число зерен в колосе, шт.	23,2...27,7	25,1	12,7...14,2	13,4	1,9
Устойчивость к полеганию, балл (1...5)	5,0...2,8	4,3	5,0...2,6	4,2	
Вегетационный период, дней	79...88	85	75...87	82,7	2,9
Период «всходы–колошение», дней	39...43	41	35...41	39	NS**
Степень засухоустойчивости, балл	7...8	7,7	8	8,0	
Поражение мучнистой росой*, %	60		80		

\*Максимальное за годы изучения; \*\*различия в опыте не доказаны при P = 0,95.

**Выводы.** В засушливых условиях Среднего Поволжья сортообразцы многорядного морфотипа характеризуются в среднем более высокими, по сравнению с двурядными, показателями количества зерен

на 72,7 %, массы зерна с главного колоса – на 28,0 % и  $K_{\text{хоз}}$  растения – на 7,8 %. В то же время многорядные сорта уступают двурядным по массе 1000 зерен на 3,8 %, коэффициенту продуктивного кущения – на 17,0 %, урожайности зерна – на 4,5 %.

Из мировой коллекции ярового ячменя выделены многорядные сортообразцы – источники скороспелости, оптимальной высоты растений, высокой урожайности и отдельных элементов структуры урожая, перспективные для использования в селекционном процессе как в Среднем Поволжье, так и в других регионах. С их использованием создан новый селекционный материал в виде гибридных популяций и линий.

Созданы и переданы на государственное сортоиспытание сорта ячменя многорядного типа Сарыч и ПосейДон с урожайностью зерна в типичные и засушливые годы на уровне двурядных стандартов и отзывчивые на улучшение условий влагообеспеченности.

Сорт Сарыч характеризуется среднеспелостью (71...82 сут.), высотой растений 42...70 см (в условиях достаточного увлажнения – до 80 см), урожайностью 1,81...4,10 т/га. Содержание белка в зерне 12,5 %, натура зерна 637...684 г/л, масса 1000 зерен 36,8...42,0 г. С 2024 г. он допущен к использованию по Средневолжскому региону.

Сорт ПосейДон создан совместно с ФГБНУ «АНЦ «Донской», передан на ГСИ в 2023 г. Среднерослый (53...58 см), среднеспелый (79...88 дней), с урожайностью зерна 0,96...4,35 т/га, натурой зерна 624...686 г/л, массой 1000 зерен 33,0...47,8 г, содержанием белка в зерне 12,0...14,0 %.

Показатели массы 1000 зерен у новых сортов сопоставимы с аналогичным у двурядного стандарта Беркут и уступают им всего на 1,5...2,5 %. Новые сорта рекомендуются для возделывания на зернофураж в Среднем Поволжье.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального государственного учреждения науки Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (до 2019 г.), Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук (с 2020 г.). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### Литература.

1. Орлов А. А. Ячмени: монография. М.-Л.: Гос. изд-во колхозной и совхозной лит-ры, 1935. 119 с.
2. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. 620 с. URL: <https://gossortrf.ru/upload/iblock/00a/clriobohudueqxbt1fbawcrspbvtbprsk.pdf> (дата обращения: 15.12.2024).
3. Константинов П. Н. О необходимости усиления культуры ячменя в Заволжье. Покровск: Немгосиздат, 1926. 56 с.
4. Бахтеев Ф. Х., Леонтьев В. М. Сорта ячменя Советского Союза // Селекция и семеноводство. 1938. № 1. С. 22–24.

5. Романова Л. М. Сорта ярового ячменя и овса, районированные с 1980 года // Селекция и семеноводство. 1980. № 4. С. 25–26.
6. Козубовская Г. В., Балакишина В. И. Урожайность многорядного ярового ячменя разновидностей *pallidum* в сухостепной зоне // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179. № 4. С. 67–73. doi: 10.30901/2227-8834-2018-4-67-73.
7. Тетяников Н. В., Боме Н. А. Генетические ресурсы ячменя и их использование в селекции: монография. М.: Т. 8. Издательские Технологии, 2022. 215 с.
8. Необходимые признаки сортов ячменя для адаптации к неблагоприятным погодным условиям / Б. А. Баташева, Р. А. Абдуллаев, Е. Е. Радченко и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 41–45. doi: 10.30850/vrsn/2018/5/41-45.
9. Особенности роста и развития сортов двурядного (*v. nutans*) и шестирядного (*v. rikutense*) ячменя в условиях светокультуры / А. А. Тихомиров, С. А. Ушакова, В. В. Величко и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2022. № 2. С. 19–24. doi: 10.31857/S2500262722020041.
10. Щенникова И. Н., Зайцева И. Ю., Носкова Е. Н. Современные подходы к моделированию сортов ячменя для Волго-Вятского региона // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 2. С. 20–24. doi: 10.31857/S2500262721020046
11. Spring Barley Hybrids Assessment for Biological and Economic Features Under Drought Conditions Of Northern And Central Kazakhstan / R. Kushanova, A. Baidyussen, G. Sereda, et al. // Sabrao Journal of Breeding and Genetics. 2023. Т. 55. № 3. С. 850–863. doi: 10.54910/sabrao2023.55.3.20.
12. Левакова О. В. Оценка сортов и линий многорядного ярового ячменя разновидности *pallidum* // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 4. С. 13–16. doi: 10.30850/vrsn/2021/4/13-16.
13. Responses of two-row and six-row barley genotypes to elevated carbon dioxide concentration and water stress / S. Bardehji, S. Soltan, H. R. Eshghizadeh, et al. // Agronomy. 2023. Vol. 13. No. 9. Article 2373. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/9/2373> (дата обращения: 15.12.2024). doi: 10.3390/agronomy13092373.
14. Grain filling parameters of two- and six-rowed barley genotypes in terminal drought conditions / V. Kandic, D. Dodig, A. Nikolic, et al. // Italian Journal of Agrometeorology. 2018. No. 2. С. 5–14. doi: 10.19199/2018.2.2038-5625.005.
15. Прядун Ю. П. Селекция многорядного ячменя в условиях Южного Урала // АПК России. 2018. Т. 25. № 1. С. 50–56.
16. Зайцева И. Ю., Щенникова И. Н. Сопряженность морфологических признаков с устойчивостью к полеганию ярового ячменя в условиях Волго-Вятского региона // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 3. С. 32–40. doi: 10.30901/2227-8834-2020-3-32-40.
17. Долженко Д. О., Косенко С. В., Бобаченко В. И. Генетический анализ массы 1000 зерен у ячменя // Нива Поволжья. 2018. № 4 (49). С. 26–33.
18. Реализация идей Н. И. Вавилова в селекции ячменя в Сибири / Н. А. Сурин, Н. Е. Ляхова, С. А. Герасимов и др. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2018. Т. 179. № 1. С. 78–88. doi: 10.30901/2227-8834-2018-1-78-88.
19. Оценка адаптивного потенциала сортов и линий ярового ячменя селекции Татарского НИИСХ /

- В. И. Блохин, И. Ю. Никифорова, И. С. Ганиева и др. // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021. № 4 (40). С. 82–92. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-82-92.
20. Адаптивность сортов ярового ячменя селекции ФАНЦ Северо-Востока / Т. К. Шешегова, И. Н. Щенникова, Л. М. Щеклеина и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 2. С. 25–29. doi: 10.31857/S2500262722020053.
  21. Высокопродуктивный сорт многорядного ячменя Тевкеч для возделывания на кормовые цели / В. И. Блохин, И. Ю. Никифорова, И. С. Ганиева и др. // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 4 (72). С. 12–20. doi: 10.48012/1817-5457\_2022\_4\_12-20.
  22. Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н. Генетические источники селекции ячменя (*Hordeum vulgare*) в Волго-Вятском регионе // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019. Т. 180. № 1. С. 82–88. doi: 10.30901/2227-8834-2019-1-82-88.
  23. Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Перспективы селекции ячменя для условий Волго-Вятского региона (аналитический обзор) // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. Т. 22. № 1. С. 21–31. doi: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.21-31.
  24. Гладкоостые ячмени и их использование в кормопроизводстве Восточной Сибири / Н. А. Сурин, Н. Е. Ляхова, С. А. Герасимов и др. // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 9(174). С. 45–53. doi: 10.36718/1819-4036-2021-9-45-53.
  25. Родина Н. А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 488 с.
  26. Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб: ВИР, 2012. 63 с.
  27. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Под редакцией М. А. Федина. М.: «Колос», 1985. 267 с.
  28. Беркутова Н. С. Методы оценки и формирование качества зерна. М.: Росагропромиздат, 1991. 206 с.
  29. Основы научных исследований в агрономии / М. Ф. Трифонова, А. Х. Заверюха, В. Е. Ещенко и др. М.: «Альянс», 2016. 328 с.
  30. Горянин О. И. Влияние климата и погодных условий на урожайность зерновых культур в засушливых условиях Поволжья // *Земледелие*. 2024. № 4. С. 19–24. doi: 10.24412/0044-3913-2024-4-19-24.
  31. Новый сорт ярового ячменя Холзан для засушливых условий среднего Поволжья / С. Н. Шевченко, И. А. Калякулина, Д. О. Долженко и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 11. С. 43–48. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_11\_43.
  32. Долженко Д. О., Шевченко С. Н. Поиск критериев отбора в селекционном процессе ярового ячменя в различные по влагообеспеченности годы // *Нива Поволжья*. 2020. № 4 (57). С. 16–24. doi: 10.36461/NP.2020.57.4.008
  33. Характеристики сортов растений, впервые включенных в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2024. 417 с. URL: <https://gossortrf.ru/upload/iblock/b47/my4uo2v004pijt0cuksoglr4jp665d7.pdf> (дата обращения: 15.12.2024).

Поступила в редакцию 28.12.2024  
 После доработки 19.01.2025  
 Принята к публикации 11.02.2025

## ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ РОССИЙСКИХ СОРТОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ЖЕЛТОЙ РЖАВЧИНЕ

© 2025 г. **Е. И. Гультяева**, доктор биологических наук, **Е. Л. Шайдаюк**, кандидат биологических наук, **М. М. Левитин**, доктор биологических наук, академик РАН

*Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,  
196608, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3  
E-mail: eigulyaeva@gmail.com*

*Исследования проводили с целью оценки генетического разнообразия районированных сортов яровой мягкой пшеницы по устойчивости к желтой ржавчине для выявления их потенциала в генетической защите от *Puccinia striiformis* West. Материалом исследования послужили 86 сортов, впервые включенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ в 2019–2023 гг. Для оценки ювенильной устойчивости использовали четыре популяции *P. striiformis*. Они отличались между собой по географическому происхождению (ленинградская, дагестанская, краснодарская, новосибирская) и вирулентности к дифференциаторам с генами *Yr1*, *Yr2*, *Yr4*, *Yr7*, *Yr27*, *Yr32*, *YrSD* и *YrN D*. Только шесть сортов, или 7 % выборки (*Одета*, *КВС Джетстрим*, *Надира*, *Пекезо*, *Свияга*, *Хазинэ*), проявили реакцию устойчивости в фазе проростков ко всем популяциям. Молекулярные маркеры использовали для постулирования десяти *Yr*-генов – *Yr5*, *Yr7*, *Yr9*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr17*, *Yr18*, *Yr24*, *Yr40* и *Yr60* и пшенично-ржаной транслокации *1AL.1RS* с неизвестным *Yr*-геном. Положительными контролями служили изогенные линии *Avocet* и сорта с идентифицируемыми генами. У изученных сортов не обнаружено эффективных генов *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, *Yr40* и генов *Yr7*, *Yr60* с варьирующей эффективностью. Высокую представленность в выборке сортов имели гены *Yr9*, *Yr17*, *Yr18* и умеренная пшенично-ржаная транслокация *1AL.1RS* с неизвестным *Yr*-геном. Проведенный анализ указывает на низкое генетическое разнообразие российских районированных сортов яровой пшеницы по устойчивости к желтой ржавчине и необходимость проведения опережающей селекции на устойчивость к *P. striiformis*.*

## CHARACTERISATION OF MODERN RUSSIAN SPRING SOFT WHEAT VARIETIES FOR RESISTANCE TO YELLOW RUST

**E. I. Gulyaeva, E. L. Shaydayuk, M. M. Levitin**

*All-Russian Research Institute of Plant Protection,  
196608, Sankt-Peterburg, Pushkin, sh. Podbel'skogo, 3  
E-mail: eigulyaeva@gmail.com*

*The study was conducted to study the genetic diversity of released varieties of spring soft wheat for resistance to yellow rust to assess their potential in genetic protection against *Puccinia striiformis* West. The material consisted 86 varieties included for the first time in the State Register of Breeding Achievements of the Russian Federation in 2019–2023. Four populations of *P. striiformis* were used to evaluate seedling resistance. They differed among themselves by geographical origin (Leningrad, Dagestan, Krasnodar, Novosibirsk) and by virulence to differentiators with genes *Yr1*, *Yr2*, *Yr4*, *Yr7*, *Yr27*, *Yr32*, *YrSD* and *YrN D*. Only six cultivars *Odeta*, *KVS Jetstream*, *Nadira*, *Pequeso*, *Sviyaga*, *Hazineh* (7 %) showed resistance response to all populations. Molecular markers were used to postulate ten *Yr* genes *Yr5*, *Yr7*, *Yr9*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr17*, *Yr18*, *Yr24*, *Yr40* and *Yr60* and wheat-rye translocation *1AL.1RS* with unknown *Yr*-gene. Isogenic *Avocet* lines and varieties with identifiable genes were used as positive controls. No highly efficient genes *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* and *Yr40* and genes *Yr7* and *Yr60* with varying efficiency were found in the studied varieties. Genes *Yr9*, *Yr17*, *Yr18* had high representation in the studied and moderate the wheat-rye translocation *1AL.1RS* with unidentified *Yr* gene. The analysis indicates low genetic diversity of Russian spring wheat varieties in terms of resistance to yellow rust and the need for advanced breeding for resistance to *P. striiformis*.*

**Ключевые слова:** молекулярные маркеры, *Puccinia striiformis*, *Triticum aestivum*, *Yr*-гены.

**Keywords:** molecular markers, *Puccinia striiformis*, *Triticum aestivum*, *Yr* genes.

Желтая ржавчина (возбудитель – *Puccinia striiformis* West.) – высоко вредоносное заболевание мягкой пшеницы. До недавнего времени оно имело региональное значение. В России его преимущественно отмечали в посевах озимой пшеницы на Северном Кавказе [1]. В 2020 г. ареал вредоносности патогена увеличился. Вспышки заболевания отмечают на Северо-Западе [2], в Западной Сибири [3], Центральном Черноземье [4] и других регионах. Изучение устойчивости возделываемых в регионах сортов актуально для оптимизации генетической защиты и стабилизации фитосанитарной ситуации с желтой ржавчиной.

В России селекцию на устойчивость к желтой ржавчине традиционно проводят в научно-исследовательских учреждениях Северо-Кавказского региона [3, 4, 5].

При создании новых сортов используют генетически разнообразные доноры устойчивости. За многолетний период достигнуты определенные успехи. В 2016–2018 гг. при изучении сортов озимой пшеницы селекции Национального центра зерна им. П. П. Лукьяненко (НЦЗ) в условиях искусственного инфекционного фона около 70 % характеризовались высоким и умеренным уровнем полевой устойчивости к *P. striiformis* [1]. Сходные результаты в этот же период времени получены для озимых сортов, созданных в Аграрном научном центре «Донской» [5]. Во Всероссийском научно-исследовательском институте защиты растений была изучена ювенильная устойчивость к желтой ржавчине озимых сортов, впервые включенных в Государственный реестр селекционных

достижений РФ в 2019–2023 гг. (72 сорта) [6]. Высокий уровень ювенильной устойчивости определен для 17 % сортов, большинство из которых рекомендованы для возделывания в Северо-Кавказском регионе. С использованием молекулярных маркеров показано умеренное разнообразие озимых районированных сортов по *Yr*-генам. У них не выявлено высокоэффективных генов *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24* и *Yr26* и генов *Yr2*, *Yr7*, *Yr25*, *Yr35*, *Yr51* и *Yr60* с варьирующей эффективностью. У них постулированы гены *Yr9*, *Yr17*, *Yr18* и транслокация 1AL.1RS с неизвестным *Yr*-геном [6].

Для яровых сортов, допущенных к использованию на территории РФ, информация об устойчивости к желтой ржавчине отсутствует. В Государственном реестре только три яровых сорта (Гранова, Далира и Кулич) охарактеризованы как устойчивые к *P. striiformis* (по данным заявителей) [7]. В условиях нарастания распространённости и вредности возбудителя желтой ржавчины иммуногенетические исследования возделываемых и новых образцов пшеницы представляют особую актуальность.

Цель исследований – оценить потенциал современных российских сортов яровой мягкой пшеницы для генетической защиты от желтой ржавчины.

Для ее достижения решали следующие задачи: провести фитопатологическое тестирование ювенильной устойчивости у изучаемого материала пшеницы, выполнить молекулярно-генетический скрининг его разнообразия по *Yr*-генам.

**Методика.** Материалом для исследований служили 86 сортов яровой мягкой пшеницы, включенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ в 2019–2023 гг. [7] (табл. 1). Семена были предоставлены региональными селекционными учреждениями и оценены одновременно в 2024 г.

Ювенильную устойчивость растений изучали в контролируемых условиях. Для инокуляции использовали четыре географические популяции *P. striiformis*: северо-западную (NW), западносибирскую (WS), две северокавказских – дагестанскую (NC\_D) и краснодарскую (NC\_Kr).

Споровый материал используемых популяций *P. striiformis* был собран на производственных и селекционных посевах в 2022–2023 гг. Предварительно он был охарактеризован по вирулентности с использованием международного набора линий и сортов дифференциаторов. Все популяции были авирулентными на дифференциаторах с высокоэффективными в России и за рубежом генами *Yr5*, *Yr10*, *Yr15* и *YrSp*. Между собой популяции различались вирулентностью/авирулентностью к изогенным линиям Avocet с генами *Yr1*, *Yr7*, *Yr17*, *Yr27* (табл. 1) и сортам-дифференциаторам Chinese 166 (*Yr1*), Strubes Dickkopf (*YrSD*), Hybrid 46 (*Yr4*), Reichersberg 42 (*Yr7*), Nord Desprez (*YrND*), Carstens V (*Yr32*), Heines VII (*Yr2*). Реакция тестеров вирулентности при инокуляции краснодарской популяцией (NcKr) показана на рисунке.

Оценку ювенильной устойчивости проводили по ранее описанным методикам [8]. Семена высевали в сосуды с почвой (по 3...5 зерен). Заражение осуществляли в фазе появления второго листа (11...14 суточные проростки). Использовали споровую суспензию популяций в иммерсионной жидкости 3M™ Novec™ 7100. Инкубацию зараженных растений проводили в климатической камере Versatile Environmental Test Chamber MLR-352H. После заражения растения выдерживали в темноте при температуре 10 °C и влажности 100 %. Спустя сутки устанавливали следующие параметры: 16 ч – день, освещение 15000...20000 люкс, температура

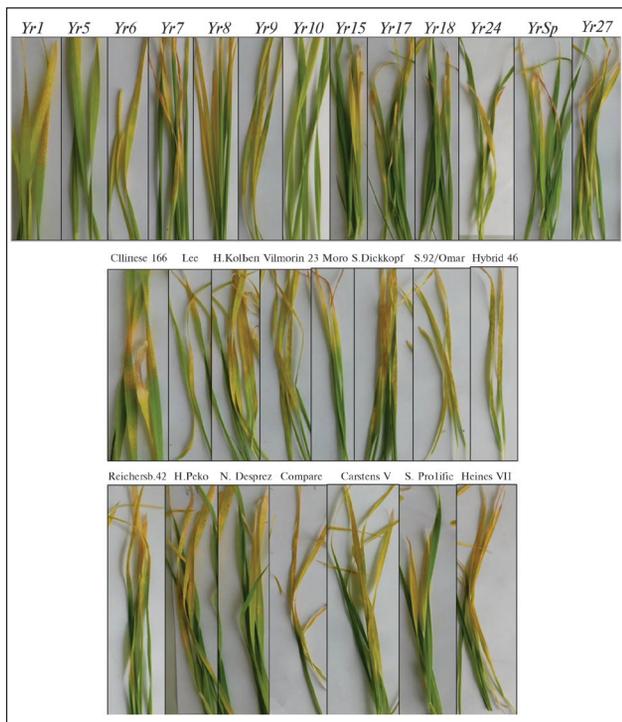
**Табл. 1. Характеристика вирулентности популяций *Puccinia striiformis***

Линия / сорт	<i>Yr</i> -ген	Тип реакции при инокуляции популяциями <i>P. striiformis</i> , балл			
		NW	NC D	NC Kr	WS
<i>Yr1/6*Avocet S</i>	<i>Yr1</i>	0*	0	3...4	3...4
<i>Yr5/6*Avocet S</i>	<i>Yr5</i>	0	0	0	0
<i>Yr6/6*Avocet S</i>	<i>Yr6</i>	3	3	3	3...4
<i>Yr7/6*Avocet S</i>	<i>Yr7</i>	2;	2...3	2...3;	2;
<i>Yr8/6*Avocet S</i>	<i>Yr8</i>	2...3;	3...4	3	3...4
<i>Yr9/6*Avocet S</i>	<i>Yr9</i>	3...4	3...4	3...4	3...4
<i>Yr10/6*Avocet S</i>	<i>Yr10</i>	0	0	0	0
<i>Yr15/6*Avocet S</i>	<i>Yr15</i>	0	0	0	0
<i>Yr17/6*Avocet S</i>	<i>Yr17</i>	2;3	3...4	0...1	1...2
<i>Yr18/6*Avocet S</i>	<i>Yr18</i>	3...4	3...4	3...4	3...4
<i>Yr24/6*Avocet S</i>	<i>Yr24</i>	2;	0...1;	0...1;	2;
<i>YrSP/6*Avocet S</i>	<i>YrSp</i>	0	0	0	0
<i>Yr27/6*Avocet S</i>	<i>Yr27</i>	2...3;	0...1;	0;	3...4
Chinese 166	<i>Yr1</i>	0	0	3...4	3...4
Lee	<i>Yr7</i> , <i>Yr+</i>	3...4	3...4	3...4	2...3
Heines Kolben	<i>Yr6</i> , <i>Yr2</i>	3...4	3...4	3...4	3...4
Vilmorin 23	<i>Yr3</i> , <i>Yr+</i>	2...3	3	3...4	3
Moro	<i>Yr10</i> , <i>YrMor</i>	0	0	0	0
Strubes Dickkopf	<i>YrSD</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>	2	0	2	3
Suwon 92/Omar	<i>YrSu</i> , <i>Yr+</i>	3...4	3...4	3...4	3...4
Hybrid 46	<i>Yr4</i> , <i>Yr+</i>	2	3	3...4	2;
Reichersberg 42	<i>Yr7</i> , <i>Yr+</i>	2	3...4	3...4	2;
Heines Peko	<i>Yr2</i> , <i>Yr6</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>	3	3...4	3...4	3...4
Nord Desprez	<i>Yr3</i> , <i>YrND</i> , <i>Yr+</i>	0...1;	3...4	0...1	3
Compair	<i>Yr8</i> , <i>Yr19</i>	3	3...4	3	3
Carstens V	<i>Yr32</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>	0...1	0	3...4	2;
Spaldings Prolific	<i>YrSP</i> , <i>Yr+</i>	0	0	0	0
Heines VII	<i>Yr2</i> , <i>Yr25</i> , <i>Yr+</i>	2...3	3...4	2;	2...3

\*Здесь и в табл. 2: тип реакции 0, 0; 1, 2 – устойчивость; 2...3 – умеренная восприимчивость; 3, 4, 3...4 – восприимчивость; «;» – наличие некрозов и хлорозов.

16 °C; 8 ч – ночь, температура 10 °C. Учет после заражения выполняли через 16...18 суток по шкале G. Gassner и W. Straib [9]. Растения с оценками 0, 1, 2 балла относили к устойчивым, 3, 4 балла – к восприимчивым.

Молекулярные маркеры использовали для идентификации десяти *Yr*-генов: *Yr5* (STS7/8, STS9/10), *Yr7* (CFD77), *Yr9* (iag 95, SCM9), *Yr10* (Xpsp3000), *Yr15* (Xbarc8), *Yr17* (Ventriup/LN2), *Yr18* (csLV34), *Yr24* (Barcl81), *Yr40* (*XLr57/Yr40-MAS-CAPS16*), *Yr60* (wmc776, wmc313) и пшенично-ржаной транслокации 1AL.1RS с неизвестным *Yr*-геном (SCM9) [10, 11, 12]. Синтез праймеров выполнен фирмой BioBeagle (Санкт-Петербург). ДНК экстрагировали согласно D. B. Dorokhov и E. A. Cloquet [13]. ПЦР осуществляли по рекомендованным разработчиками праймеров протоколам. Использовали термоциклер C1000, BioRad, Hercules, CA, USA. ПЦР смесь (20 mL) включала 100...150 ng ДНК, 2 единицы Taq-полимеразы, 1 × PCR буфер (10 mM Tris HCL), 2,5 mM – MgCl<sub>2</sub>, 100 mM каждого dNTP и 10 mM каждого праймера. При приготовлении реакционной смеси для ПЦР использовали реактивы фирмы «Диалат ЛТД». Положительными контролями служили линии Avocet и сорта-дифференциаторы с идентифицируемыми генами. Результаты электрофореза фиксировали в системе гель-документирования GelDocGo, BioRad,



**Реакция линий и сортов-дифференциаторов при инокуляции краснодарской популяцией *Puccinia striiformis*.**

Hercules, CA, USA. Размер продуктов амплификации оценивали с использованием маркера молекулярного веса ДНК 100bp («Диалат ЛТД»).

**Результаты и обсуждение.** Только шесть сортов (7 %) продемонстрировали устойчивость ко всем четырем географическим популяциям (Одета, КВС Джестрим, Надира, Пекесо, Свияга, Хазинэ). Три сорта (4 %) были устойчивы к трем из используемых популяций *P. striiformis*: Экада 214 и Токката – к дагестанской, краснодарской и западносибирской; Уралосибирская 2 – к северо-западной, краснодарской и западносибирской. Семь сортов (8 %) были устойчивы к двум популяциям: Корнетто, Гаренда, Флоренс, Гонец – к краснодарской и западносибирской, Радмира и Анфея – к дагестанской и западносибирской, Сенсей – к дагестанской и краснодарской. Одиннадцать сортов (13 %) были устойчивы только к одной из популяций: Александрит, Арсея, Гренада, Зауральский янтарь, ОмГАУ 100, Старт – к западносибирской; Ирень 2, Спикер, Челябинка – к краснодарской; Юнион, Лента – к дагестанской. Всего устойчивость к северо-западной популяции показали 7 сортов, к дагестанской – 13, к краснодарской – 16, к западносибирской – 21.

Отсутствием симптомов поражения (балл «0») при заражении всеми географическими популяциями характеризовались линии Avocet (AvNIL) с генами *Yr5*, *Yr10*, *Yr15* и *YrSP*. Линия AvNIL\_ *Yr24* имела балл реакции «0...1;» к дагестанской и краснодарской популяциям и балл «2;» к северо-западной и западносибирской. Яровых сортов с подобными реакциями не обнаружено. Различия в баллах реакции устойчивых сортов («0...1...2;») и линий Avocet (AvNIL) с эффективными генами («0») указывает на отличие *Yr*-генов у сортов от *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *YrSP* и *Yr24*. Наиболее высоким уровнем ювенильной устойчивости характеризовался сорт Хазинэ (балл «0») – северо-западная, дагестанская, краснодарская популяции; балл «1» – западносибирская). Сорт КВС Джестрим был иммунным (балл «0»)

к дагестанской и новосибирской популяциям и умеренно устойчивым (баллы «1...2») к северо-западной и краснодарской; сорт Надира – соответственно к краснодарской, новосибирской и дагестанской, северо-западной популяциям. Сорта Одета и Свияга продемонстрировали иммунную реакцию при инокуляции западносибирской и дагестанской популяциями соответственно, и умеренную устойчивость (баллы «1...2») к другим использованным популяциям. Сорт Пекесо имел реакцию 2 балла ко всем используемым популяциям (табл. 2).

Использованные географические популяции характеризовались высокой вариабельностью по вирулентности к линиям-дифференциаторам. Каждая из них была маркирована определенной вирулентностью. Северо-западная и дагестанская популяции отличались авирулентностью к линии Avocet и сорту-дифференциатору Chinese 166 с геном *Yr1* (см. табл. 1). Яровых сортов устойчивых к обеим этим популяциям не обнаружено, что предполагает отсутствие у них гена *Yr1*. Аналогичное заключение можно сделать по генам *Yr4* (Hybrid 46), *Yr7*, *Yr27*, *Yr32* (Carstens V), *YrSD* (Strubes Dickkopf) и *YrND* (Nord Desprez). Устойчивой реакцией на линии Avocet с геном *Yr7* и сортах Reichersberg 42 (*Yr7*) и Hybrid 46 (*Yr4*) характеризовались северо-западная и западносибирская популяции, на линии с *Yr27* – обе северокавказские, на сорте Strubes Dickkopf – северо-западная и северокавказские, на сорте Nord Desprez – северо-западная и краснодарская, на сорте Carstens V – северо-западная дагестанская и западносибирская. У изученных сортов подобных комбинаций в реакциях к используемым популяциям *P. striiformis* не отмечено (см. табл. 2). Сорта Гаренда, Флоренс и Гонец продемонстрировали устойчивость к краснодарской и западносибирской популяциям, авирулентным к *Yr17*, и восприимчивость к дагестанской и северо-западной к вирулентностью к этому гену, что позволяет предположить у них наличие гена *Yr17*.

Сорта Гранова, Далира и Кулич, охарактеризованные в реестре как устойчивые к желтой ржавчине в полевых условиях, характеризовались умеренной восприимчивостью в фазе проростков, что указывает на отсутствие у них высокоэффективных ювенильных *Yr*-генов. Известно, что гены устойчивости, проявляющиеся в фазе всходов (ювенильные гены), действуют на протяжении всей жизни растений; гены устойчивости взрослых растений проявляются только на поздних фазах онтогенеза [9].

В ходе идентификации генов с использованием молекулярных маркеров у изученных сортов не обнаружено эффективных генов *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, *Yr40* и генов *Yr7* и *Yr60* с варьирующей эффективностью. Продукт амплификации с их маркерами наблюдали только в пробах с положительными контролями. Полученные результаты для этих генов согласуются с данными фитопатологического тестирования. Таким образом, устойчивые сорта, выделенные в наших исследованиях, могут нести другие каталогизированные эффективные или новые *Yr*-гены.

В результате молекулярного анализа у яровых сортов выявлены гены *Yr9* (25 сортов), *Yr17* (6 сортов), *Yr18* (11 сортов) и пшенично-ржаная транслокация 1AL.1RS (2 сорта). Умеренно эффективный ген *Yr17* постулирован у сортов Одета, Гаренда, Флоренс, Гонец, Пекесо и Свияга. Для сортов Гонец, Флоренс и Гаренда результаты молекулярного тестирования согласуются с фитопатологическим тестом. Сорта Пекесо и Свияга устойчивы ко всем используемым популяциям, что указывает на наличие у них других *Yr*-генов. Ген *Yr17* более эффективен во взрослых фазах развития пшеницы. На экспрессию его в фазе проростков значительную роль играет температура и освещенность. При более низких

их величинах реакция смещается в сторону восприимчивости [9]. Ген *Yr17* широко используют в селекции пшеницы в странах Западной Европы с 90-х годов прошлого столетия. Он перенесен в мягкую пшеницу от *Triticum ventricosum* (Tausch) Ces., Pass. & Gibelli и тесно сцеплен с генами устойчивости к бурой *Lr37* и стеблевой *Sr38* ржавчины [9]. Сорта Одетта и Пекесо созданы в Чехии (SELGEN, a.s.) и заявлены оригинаторами как умеренно устойчивые к желтой ржавчине в полевых условиях. Сорт Флоренс создан во Франции (SECOBRA RECHERCHES S.A.S). Их рекомендуют для возделывания центрально-европейской части России. Российские сорта Гонец и Свияга получили допуск к возделыванию в западно-азиатских регионах, сорт Гаренда – в Центральном регионе. Ранее [6] было показано, что ген *Yr17* встречается и у районированных озимых сортов (Арена, Гомер, Маркиз, Междуреченка, Морозко, Немчиновская 85, Раздолье и Сварог). Они рекомендованы для возделывания на Северном Кавказе и центральных регионах. Ген *Yr17* пока сохраняет эффективность в защите от желтой ржавчины в большинстве российских регионах. Однако в последние годы при анализе популяций *P. striiformis* отмечают нарастание вирулентных к нему изолятов на Северо-Западе и Северном Кавказе, что указывает на возможную потерю эффективности *Yr17* в ближайшем будущем [1, 6].

Ген устойчивости взрослых растений *Yr18*, локализованный в одном кластере с генами устойчивости к бурой *Lr34* и стеблевой *Sr38* ржавчинам, постулирован у 11 сортов: Бейская, Изера, КС Форвард, Омская 42, Омская юбилейная, Омская крепость, Оренбургская 32, Старт, Столыпинская 2, Экада 253 и Экада 282. Устойчивость сортов с геном *Yr18* варьирует по годам и регионам. В современной селекции рекомендуют его пирамидирование с другими *Yr*-генами, аддитивный эффект которых обеспечивает основу длительной устойчивости. В российских сортах ген *Yr18* у озимых сортов представлен больше, чем у яровых [6].

В изученном материале широко встречалась пшенично-ржаная транслокация 1BL.1RS с тесно сцепленными генами *Yr9*, *Lr26*, и *Sr31*. Она определена у 25 сортов (см. табл. 2). Наряду с генами устойчивости транслокация 1BL.1RS несет гены, повышающие урожайность и засухоустойчивость, обеспечиваемую благодаря увеличению массы корней [12, 14], что предопределяет ее широкое использование в селекции пшеницы во всем мире. Транслокация 1BL.1RS перенесена в мягкую пшеницу от сорта ржи *Petkus*. Российским сортам Аврора, Кавказ и Скороспелка она была передана от немецкой линии *Neuzucht*. Вторая пшенично-ржаная транслокация 1AL.1RS интрогрессирована в мягкую пшеницу (сорт *Amigo*) от линии ржи *Insave*. В ней также находится комплекс генов устойчивости к ржавчинам: *SrR* – к стеблевой и не идентифицированные к желтой и бурой. Эта транслокация широко распространена среди северо-американских сортов. Сорта, несущие транслокацию 1AL.1RS, характеризуются умеренной полевой устойчивостью к ржавчинам. Для определения обеих транслокаций использовали универсальный молекулярный маркер *SCM9* [12]. Продукт амплификации 207 п. о. указывает на наличие 1BL.1RS-транслокации, а 228 п. о. – на 1AL.1RS-транслокацию. В изученном наборе яровых сортов транслокация 1AL.1RS определена у сортов Нива и Экада 265.

У сортов Экада 253, КС Форвард, Омская крепость и Экада 282 постулированы гены *Yr9* и *Yr18*. Сочетание этих генов предполагает повышение уровня полевой устойчивости к желтой ржавчине у несущих их сортов.

Табл. 2. Устойчивость яровых сортов мягкой пшеницы, включенных в Государственный реестр селекционных достижений РФ в 2019–2023 гг., к желтой ржавчине и идентифицированные у них *Yr*-гены

Сорт	Регион допуска*	Тип реакции при инокуляции популяциями <i>Puccinia striiformis</i> (балл)				<i>Yr</i> -гены
		NW	NC_D	NC_Kr	WS	
<b>2019 г.</b>						
Аль Варис	СВ	3	3	2...3	3	<i>Yr9</i>
Бурлак	Ц	3	3	3...4	3	-
Гренада	У	3	3	3	2	<i>Yr9</i>
Корнетто	ЦЧР	3	3	0;	2	-
Нерда	У	3	3	3...4	3...4	<i>Yr9</i>
Новосибирская 16	ВС	3	3	3...4	3...4	-
Одетта	Ц, ЦЧР	1...2;	1...2;	1...2;	0	<i>Yr17</i>
Омская 42	ЗС	2...3	3	3	3	<i>Yr18</i>
Омская юбилейная	ЗС	3	3	3...4	3...4	<i>Yr18</i>
Старт	ВС	2...3	2...3	3...4	2	<i>Yr18</i>
Столыпинская 2	У, ЗС	2...3	3	3	3	<i>Yr18</i>
Уралосибирская 2	У, ЗС	2	2...3	2;	2	<i>Yr9</i>
Экада 214	СВ	2...3	2	0;	0;	-
<b>2020 г.</b>						
Александрит	СВ, НВ, У	3	3	3	2	-
Арсея	Ц	3	3	3	0...1	-
Гаренда	Ц	3	3	0...1	2	<i>Yr17</i>
Зауральская волна	У, ЗС	3	3	3	3...4	-
Зауральская жемчужина	У	3	3	3	3	<i>Yr9</i>
Зауральский янтарь	У	3	3	3	0...1	<i>Yr9</i>
Изера	Ц	2...3	3	3	2...3	<i>Yr18</i>
Ирень 2	ВВ, ЗС	3	2...3	1...2	2...3	-
Калинка	У	3	3	3...4	3	-
Краснозёрка	У	3	3...4	3...4	3...4	<i>Yr9</i>
Лидер 80	ЗС, ВС	3	2...3	3	3	-
Лютеция	У	3...4	3...4	3	3	<i>Yr9</i>
ОмГАУ 100	ЗС	3...4	3...4	3	0...1	-
Оренбургская юбилейная	У	3	3	3	3	-
Радмира	ВВ	3	2;	3	0...1	<i>Yr9</i>
Силач	У	3	3	3	3	-
Тарская 12	ЗС	3	3	3	3	-
Токката	Ц, 5	3	0;	0;	0;	-
Флоренс	Ц	3	2...3	0...1	2	<i>Yr17</i>
Экстра	ВВ, У, ЗС	3	3...4	3	3	-
<b>2021 г.</b>						
Альбидум 2030	У	3	3	3...4	3...4	-
Анфея	ДВ	3	2	3	0...1;	-
Балкыш	СВ	3...4	3...4	3	3...4	<i>Yr9</i>
Гречанка	НВ	3	3	3	3...4	-
КВС Джетстрим	ЗС	1...2;	0;	1...2;	0;	-
Маэстро	Ц	3	3...4	3...4	3...4	-
Омская 44	ЗС, ВС	3...4	3...4	3	3...4	<i>Yr9</i>
Саратовская 76	НВ, У	3...4	3	3...4	3...4	-
Юбилейная 60	СЗ	3	2...3;	3...4	3	-
<b>2022 г.</b>						
Аист 45	ВВ, У	3...4	3	3...4	3	<i>Yr9</i>
Байкальская	ВС	3	3	3	3	-
Виталия	СЗ	3	3	3	3	-
Ворожея	ВВ, У, ЗС	3...4	3	3...4	3	-
Гонец	ЗС, ВС, ДВ	2...3	2...3	2	1...2	<i>Yr17</i>
Гранова	Ц	3	2;-3	3	3	-
Далира	ДВ	3	3	3	3	-
Награда	ВВ	3	3	3	3	-
Надира	ВВ, СВ, У	2	1...2	0...1	0	-
Нива 55	У, ЗС	3...4	3	3...4	3	1AL.1RS
Никон	ВВ, СВ, У, ЗС	3...4	3	3...4	3	-
Новосибирская 49	ВВ, ВС	3...4	3	3...4	3	-
Одичовская	ВВ, У, ЗС	3...4	3	3...4	3	-
Оренбургская 30	У	3...4	3	3...4	3	-
Пекесо	ЦЧР	2	2	2	1...2	<i>Yr17</i>
Свияга	ЗС	2	0	2	2	<i>Yr17</i>
Силантий	У, ЗС	3...4	3	3...4	3	-

продолжение табл. 2

Сорт	Регион допуска*	Тип реакции при инокуляции популяциями <i>Puccinia striiformis</i> (балл)				Yr-гены
		NW	NC_D	NC_Kr	WS	
Су ахаб	ЦЧР	3	3	3	3	-
Тая	Ц, ВВ	3...4	3	3	3	Yr9
Экада 253	Ц, У	3...4	3	3...4	3	Yr9 Yr18
Экада 258	ВВ, У	3...4	3	3...4	3	Yr9
Юнион	ЗС, ВС, ДВ	3	2;	3	2...3	-
<b>2023 г.</b>						
100 лет ТАСС	СВ, У	3	3	3	3	Yr9
Баганочка	У	3	3	3...4	3...4	-
Бейская	ЗС, ВС	3	3	3...4	3...4	Yr18
Даганская	ВС	3	3	3	3	-
Данко	СК, НВ, ЗС	3	3	3	3	Yr9
Ишимская 12	ЗС, ВС	3	3	3	2;-3	Yr9
КС Гарант	У	3	3...4	3	3	Yr9
КС Форвард	У	3	3...4	2;-3	3	Yr9 Yr18
Кулич	СЗ, Ц, СК, НВ, У, ЗС	2...3	2...3	2...3	2...3	-
Лента 45	У, ЗС	2;-3	2	3...4	2;-3	-
Новосибирская 75	ЗС	3	3...4	3	3...4	-
Омская крепость	ВС	3	3...4	3	3...4	Yr9 Yr18
Оренбургская 32	У	3	3...4	3...4	3...4	Yr18
Памяти Коновалова	Ц	3	3	3	3	-
Памяти Сулякова	ЗС	3	3	3...4	3	Yr9
Сенсей	СВ	3	2	2;	3...4	-
Спикер	ЗС	3	3	2;	3	Yr9
Ульгения	ЗС, ВС	3	3	3...4	3	-
Хазинэ	У	0	0	0;	1;	Yr9
Челябинка	У	3	3	1...2;	3	-
Экада 265	У	3	3...4	3...4	3...4	IAL.IRS
Экада 282	У	3	3...4	3...4	3	Yr9 Yr18

\*Агроклиматические регионы РФ: Ц – Центральный, ЦЧР – Центрально-Черноземный, СВ – Средневолжский, СК – Северо-Кавказский, У – Уральский, ЗС – Западно-Сибирский.

**Выводы.** Среди 86 современных сортов яровой пшеницы, включенных в Государственный реестр селекционных достижений в 2019–2023 гг., только шесть характеризовались ювенильной устойчивостью ко всем использованным популяциям желтой ржавчины – Одеты, КВС Джетстрим, Надира, Пекесо, Свяга и Хазинэ. Генетическая защита российских яровых сортов от желтой ржавчины в современный период лимитирована и требует усиления внимания. Выделенные устойчивые к желтой ржавчине яровые сорта могут быть использованы в селекции в качестве доноров.

У изученного материала обнаружены только три из идентифицируемых с использованием молекулярных маркеров гена (*Yr9*, *Yr17*, *Yr18*) и пшенично-ржаная транслокация 1AL.IRS. Это указывает на низкое генетическое разнообразие российских яровых сортов и необходимость его расширения. Для этого рекомендуется привлечение в селекционные программы сортов с известными эффективными *Yr5*, *Yr10*, *Yr15*, *Yr24*, *Yr40* и новыми Yr-генами.

Актуальность нарастания в регионах значимости *P. striiformis* обуславливает необходимость ежегодных фитопатологических и молекулярно-генетических скринингов устойчивости современных сортов и селекционного материала яровой пшеницы. Разработка научно обоснованной стратегии размещения новых генетически защищенных сортов в регионах позволит стабилизировать фитосанитарную ситуацию с желтой ржавчиной в регионах России.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Молекулярные исследования поддержаны Российским научным фондом, проект № 23-26-00042. Фитопатологические оценки выполнены в рамках Государственного задания ФГБНУ ВИЗР FGEU-2025-0005.

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## Литература.

1. Генетическая защищенность сортов озимой пшеницы от ржавчинных болезней / Л. А. Беспалова, И. Б. Аблова, Ж. Н. Худокормова и др. // *Рисоводство*. 2019. Т. 4. № 45. С. 30–37.
2. Гультаева Е. И., Шайдаюк Е. Л. Характеристика северо-западной и северокавказской популяций *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* по вирулентности и микросателлитным локусам в 2022 году // *Микология и фитопатология*. 2024. Т. 58. № 4. С. 327–338. doi: 10.31857/S0026364824040062.
3. Получение и характеристика линии мягкой пшеницы (Тулайковская 10 × Саратовская 29) с интрогрессией хромосомы пырея *Thinopyrum intermedium* 6Agi2 / Ю. Н. Иванова, К. К. Розенфрид, А. И. Стасюк и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021. Т. 25. Вып. 7. С. 701–712. doi: 10.18699/VJ21.080.
4. Зеленева Ю. В., Судникова В. П., Бучнева Г. Н. Иммунологическая характеристика сортов озимой мягкой пшеницы в условиях ЦЧР // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022. № 96. С. 95–99. doi: 10.21515/1999-1703-96-95-99.
5. Источники устойчивости к желтой ржавчине (возбудитель *Puccinia striiformis* West.) Среди селекционного и коллекционного материала озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской» / Г. В. Волкова, И. П. Матвеева, Т. Г. Дерова и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 4. С. 69–76. doi: 10.31367/2079-8725-2020-70-4-69-76.
6. Gulytaeva E. I., Shaydayuk E. L. Resistance of modern Russian winter wheat cultivars to yellow rust // *Plants*. 2023. Vol. 12. No. 19. Article 3471. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/19/3471> (дата обращения: 12.12.2024). doi: 10.3390/plants12193471.
7. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию: официальное издание. М.: ФГБНУ «Росинформгротех», 2024. 620 с.
8. Генетическое разнообразие перспективных образцов яровой мягкой пшеницы российской и казахстанской селекции по устойчивости к бурой и желтой ржавчинкам / Е. И. Гультаева, Е. Л. Шайдаюк, В. В. Веселова и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024. № 4. С. 43–48. doi: 10.31857/S2500262724020087.
9. McIntosh R. A., Wellings C. R., Park R. F. *Wheat rusts. An atlas of resistance genes*. CSIRO Australia, Kluwer: Acad. Publ., Dordrecht, the Netherlands, 1995. 213 p.
10. Rani R., Singh R., Yadav N. R. Evaluating stripe rust resistance in Indian wheat genotypes and breeding lines using molecular markers // *Comptes Rendus Biologies*. 2019. Vol. 342. P. 154–174. doi: 10.1016/j.crv.2019.04.002.
11. Mas Wheat. URL: <https://maswheat.ucdavis.edu/> (дата обращения: 24.12.2024).
12. PCR-based markers for detection of different sources of 1AL.IRS and 1BL.IRS wheat-rye translocations in wheat

- background / Y. Weng, P. Azhaguvel, R. N. Devkota, et al. // *Plant Breeding*. 2007. Vol. 126. No. 5. P. 482–486. doi: 10.1111/j.1439-0523.2007.01331.x.
13. Dorokhov D. B., Cloquet E. A. Rapid and economic technique for RAPD analysis of plant genomes Fast and economical technology of RAPD analysis of plant genomes // *Russian Journal of Genetics*. 1997. Vol. 33. P. 358–365.
14. Permanent spreading of IRS.1AL and IRS.1BL translocations in modern wheat breeding / V. A. Korobkova, L. A. Bespalova, A. S. Yanovsky, et al. // *Plants (Basel)*. 2023. Vol. 12. No. 6. Article 1205. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/12/6/1205> (дата обращения: 12.12.2024). doi: 10.3390/plants12061205.

**Поступила в редакцию 20.01.2025**

**После доработки 06.02.2025**

**Принята к публикации 25.02.2025**

## ФУЗАРИОЗНЫЕ БОЛЕЗНИ, УРОЖАЙНОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ СТАБИЛЬНОСТИ СОРТОВ ОЗИМОЙ РЖИ

© 2025 г. Л. М. Шчеклеина, кандидат сельскохозяйственных наук,  
Т. К. Шешегова, доктор биологических наук

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,  
610007, Киров, ул. Ленина, 166а  
E-mail: [immunitet@fanc-sv.ru](mailto:immunitet@fanc-sv.ru)

Работу выполняли в 2021–2024 гг. в Кировской области с целью оценки генофонда озимой ржи по устойчивости к снежной плесени и корневым гнилям для выявления наиболее устойчивых к грибным болезням и адаптивных к условиям возделывания в Кировской области. Материалом для исследования были 9 сортов (Вятка 2, Кировская 89, Фаленская 4, Снежана, Рушник, Флора, Графиня, Батист, Лика) селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока и 8 перспективных популяций (Графит, Графит ФП, Гармония, Перепел, Симфония, Кипрез, Талица, Фаленская универсальная). Выносливостью к снежной плесени отличались два сорта – Лика (88,1 %) и Флора (82,5 %). Ювенильную устойчивость к корневым гнилям проявили Гармония (степень поражения 13,3 %), Флора (13,5 %), Графит (14,6 %), Графит ФП (14,9 %), Рушник (15,1 %), Перепел (15,2 %); возрастную – Гармония, Флора, Графит, Графит ФП, Рушник, Перепел, Симфония (13,3...15,7 %), которые могут представлять определенный интерес для селекции на повышение устойчивости к этому заболеванию. Наиболее благоприятные условия для формирования высокой урожайности зерна сложились в 2022 г., когда средняя продуктивность сортаобразцов составила 749,1 г/м<sup>2</sup> при индексе среды  $I_i = 168,8$ . Достоверно превысили стандарт Фаленская 4 ( $NSR_{05} = 143,8$  г/м<sup>2</sup>) по величине этого показателя на 118,5...212,0 г/м<sup>2</sup> сортаобразцы Лика, Симфония, Графит ФП, Батист, Перепел, Флора, Снежана. Наибольшей пластичностью признака «урожайность» ( $b_i = 2,33...1,24$ ) характеризуются Батист, Перепел, Графит ФП, Флора, Лика, которые можно отнести к высоко отзывчивым на улучшение условий возделывания. Стабильной продуктивностью ( $S^2d_i = 495,08...1034,31$ ) отличаются сорта Флора и Батист. Наибольшую стрессоустойчивость к контрастным условиям региона ( $Y_{max} - Y_{min} = -248,0...-174,0$ ) проявляют Вятка 2, Снежана, Графит, Симфония. Выделены образцы, обладающие комплексом изученных показателей, – Флора, Батист, Лика, Графит ФП, Перепел, Симфония.

## FUSARIUM DISEASES, YIELD AND STABILITY PARAMETERS OF WINTER RYE VARIETIES

L. M. Shchekleina, T. K. Sheshegovna

Federal Agrarian Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,  
610007, Kirov, ul. Lenina, 166a  
E-mail: [immunitet@fanc-sv.ru](mailto:immunitet@fanc-sv.ru)

The work was carried out in 2021–2024 in Kirov region to assess the gene pool of winter rye for resistance to snow mold and root rot to identify the most resistant to fungal diseases and adaptive to the conditions of cultivation in Kirov region. The material for the study were 9 varieties (Vyatka 2, Kirovskaya 89, Falenskaya 4, Snezhana, Rushnik, Flora, Grafinya, Batiste, Lika) of selection of the Federal Agrarian Scientific Center of the North-East and 8 promising populations (Graphite, Graphite FP, Harmony, Perepel, Symphony, Kiprez, Talitsa, Falenskaya universal). Two varieties, Lika (88.1 %) and Flora (82.5 %), were distinguished by tolerance to snow mold. Juvenile resistance to root rot was shown by Harmony (degree of damage 13.3 %), Flora (13.5 %), Graphite (14.6 %), Graphite FP (14.9 %), Rushnik (15.1 %), Perepel (15.2 %); age resistance – Harmony, Flora, Graphite, Graphite FP, Rushnik, Perepel, Symphony (13.3...15.7 %), which may be of some interest for breeding for increasing resistance to this disease. The most favorable conditions for the formation of high grain yield were formed in 2022, when the average productivity of varieties was 749.1 g/m<sup>2</sup>, with the index of the environment  $I_i = 168.8$ . Reliably by 118.5...212.0 g/m<sup>2</sup> standard Falenskaya 4 ( $NSR_{05} = 143.8$ ) on the value of this indicator exceeded 7 varieties (Lika, Symphony, Graphite FP, Batiste, Perepel, Flora, Snezhana). The greatest plasticity of the trait «yield» is characterized by Batiste, Perepel, Graphite FP, Flora, Lika ( $b_i = 2.33...1.24$ ), which can be attributed to highly responsive to the improvement of cultivation conditions. Flora and Batiste varieties formed stable productivity ( $S^2d_i = 495.08...1034.31$ ). Vyatka 2, Snezhana, Graphite, Symphony ( $U_{max} - U_{min} = -248.0...-174.0$ ) showed the highest stress tolerance to contrasting conditions of the region. The samples possessing a complex of indicators were singled out: Flora, Batiste, Lika, Graphite FP, Perepel, Symphony.

**Ключевые слова:** озимая рожь (*Secale cereale* L.), снежная плесень, корневые гнили, провокационно-инфекционные фоны, устойчивость, урожайность, адаптивность.

**Keywords:** winter rye (*Secale cereale* L.), snow mold, root rots, provocation-infection backgrounds, resistance, yield, adaptability.

Современное состояние сельскохозяйственного производства требует использования гибких технологий селекции и создания сортов, экологически и технологически ориентированных на конкретные задачи [1, 2]. Озимая рожь относительно устойчива к поражению грибными болезнями, однако на фоне комплекса повреждающих факторов (агроэкологических, биотических, антропогенных и др.) механизмы регуляции растений оказываются подавленными или полностью разрушен-

ными даже у наиболее устойчивых сортов [3]. Мировой генофонд озимой ржи на сегодняшний день не располагает устойчивыми к поражению снежной плесенью образцами [3, 4]. Среди многочисленных болезней озимой ржи особое место занимают фузариозные инфекции [4, 5, 6], одни из наиболее распространенных и вредоносных. Частота проявления и уровень вредоносности снежной плесени в производственных посевах озимой ржи в Кировской области составляют соответственно

9...10 раз за 10 лет и 15...25 %, корневых гнилей – 3...4 раза и 15...20 % [4].

Возбудитель снежной плесени – *Microdochium nivale* (Fr.) Samuels et. Hallet. Заболевание проявляется на растениях озимой ржи ранней весной в виде поражения листьев. Первые признаки можно наблюдать уже осенью в период кущения. Важное свойство возбудителя *M. nivale* – переносимость морозов до –20 °С. Интенсивное развитие мицелия начинается при влажности среды 90...100 % [4, 5].

В Кировской области корневые гнили озимой ржи вызывают в основном два вида – *F. culmorum* (W. G. Sm.) Sacc и *F. sporotrichioides* Sherb., развитие которых проявляется в виде изменения окраски у основания стебля в период от всходов до полной спелости зерна. Пораженные растения стоят прямо, остаются белоколосыми и пустоколосыми, корневая система – бурая, рыхлая и слаборазвитая [6, 7]. Благоприятными условиями для развития инфекции, поражающей корневую систему, считают температуру воздуха от +13 до +20 °С и влажность – 40...80 % [8, 9].

Цель исследований – выявления образцов озимой ржи наиболее устойчивых к грибным болезням и адаптивных к условиям возделывания в Кировской области.

**Методика.** Работу выполняли в 2021–2024 гг. в ФГБНУ Федеральном аграрном научном центре имени Н. В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров). Агротехника в полевых опытах общепринятая для Кировской области. Предшественник на фитопатологическом участке – чистый пар. Почва – дерново-подзолистая; по механическому составу – средне- и тяжелосуглинистая, очень плотная, плохо воздухо- и водопроницаемая со следующими агрохимическими характеристиками: содержание гумуса 2,27 % (ГОСТ 26213-91);  $P_2O_5$  – 167 мг/кг;  $K_2O$  – 243 мг/кг (ГОСТ 54650-2011);  $pH_{\text{соч.}}$  – 4,8 (ГОСТ 26483-85). После перезимовки проводили ранневесеннее внесение аммиачной селитры ( $N_{45-60}$  д.в. на 1 га), рыхление посевов и прополку осуществляли по мере прорастания сорняков. Посев выполняли в период с 22 по 30 августа сеялкой СКС-6-10; уборку – с 26 по 28 июля, вручную, с последующим обмолотом на сноповой молотилке МПСУ-500 или комбайном «Сампо-130». Повторность трехкратная, норма высева – 250 всхожих семян на 1 м<sup>2</sup>.

Материалом для исследований были 17 образцов (сортов и перспективных популяций) озимой ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока, из которых 9 внесены в Государственный реестр селекционных достижений – Вятка 2 (контроль устойчивости), Кировская 89, Фаленская 4 (стандарт урожайности), Снежана, Рушник, Флора, Графиня, Батист, Лика) и 8 перспективных популяций – Графит, Графит ФП, Гармония, Перепел, Симфония, Кипрез, Талица, Фаленская универсальная, проходящих изучение в конкурсном испытании.

Для создания искусственного фона снежной плесени и корневых гнилей использовали общеизвестные методики [10, 11, 12]. Инокуломом служила размолотая зерносмесь, инфицированная грибами *F. culmorum* и *F. sporotrichioides*, из расчета 200 г инокулома на 145–60, которую вносили во время посева в рядки. При оценке устойчивости изучаемого материала к снежной плесени использовали признак «поражение» растений, характеризующий долю пораженных растений на делянке. Учет болезни проводили сразу после схода снега (до боронования). Отрастание отмечали через неделю после начала весенней вегетации. Дифференциацию образцов по устойчивости к болезни выполняли с использованием следующей шкалы:

высокоустойчивый – отрастание растений 81...100 %, устойчивый – 61...80 %, среднеустойчивый – 41...60 %, слабоустойчивый – 21...40 %, неустойчивый – более 21 % [11].

Оценку исходного материала по устойчивости к корневым гнилям выполняли в фазе полной спелости по показателю «развитие болезни»: высокоустойчивые – 5...10 %; умеренно устойчивые – 11...15 %; среднеустойчивые – 16...25 %; восприимчивые – более 25 % [10].

Фитопатологический анализ семян ржи проводили в лабораторных условиях методом рулонной культуры [12]. Для изучения ювенильной устойчивости к корневым гнилям использовали 14-дневные проростки. Размер выборки – 25 всхожих семян, повторность четырехкратная. Учитывали два признака: «поражение» и «развитие» корневых инфекций. Поражение (Р, %) рассчитывали как отношение числа проростков с симптомами болезни к общему числу анализируемых в повторности растений. Развития болезни (R, %) – качественная оценка, при определении которой использовали шкалу Э. Э. Гоймана [13]:  $R = \frac{\sum(a \times b)}{k \times 4 \times 100} \%$ , где  $a$  – число растений с определенным баллом поражения;  $b$  – балл поражения;  $k$  – общее количество всхожих семян; 4 – максимальный балл поражения по шкале.

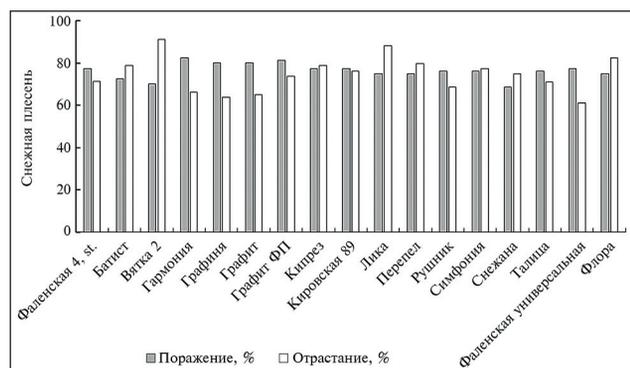
Для выявления адаптивных свойств изучаемых сортов использовали показатели экологической пластичности и стабильности ( $b_i$  и  $S^2d_i$ ), которые рассчитывали по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell в модификации В. А. Зыкина [14]. Стрессоустойчивость ( $V_{\text{max}} - V_{\text{min}}$ ) и среднюю урожайность в контрастных условиях, независимо от величины, определяли по уравнению А. А. Россилле и J. Hamblin в изложении А. А. Гончаренко [15].

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализом с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.07.) и Microsoft Office Excel.

Годы проведения исследований (2021–2024 гг.) были разнообразными по температурному режиму, количеству выпавших осадков и их распределению в период весенне-летней вегетации. Возобновление вегетации происходило в конце апреля – начале мая. Растения ржи выходили из-под снега слабо (в среднем 20,0...45,0 %) и сильно (100 %) пораженными снежной плесенью. В апреле температурный режим был неустойчивым (в среднем 4,0...7,6 °С), с частыми, в отдельные дни обильными осадками. Гидротермический коэффициент (ГТК) по Г. Т. Селянинову составлял 1,43...5,20. Май был как теплым и прохладным (средняя температура воздуха варьировала от 7,4...8,5 °С до 13,8...15,0 °С), так и сухим и дождливым (ГТК = 0,91...3,21). Погода июня варьировала от умеренно теплой до жаркой (14,1...19,9 °С, что около климатической нормы), о чем свидетельствует величина ГТК – от 0,56 (2024 г.) до 2,44 (2022 г.). В июле преобладала очень теплая погода. Средняя температура воздуха (18,7...20,0 °С) была близка к норме; осадков выпало от 41 мм (50 % от нормы) до 180 мм (221 %). Уровень ГТК составлял от 0,67 (2024 г.) до 3,12 (2023 г.). Избыточное увлажнение почвы в результате проливных дождей способствовало значительному увеличению распространения инфекции. Август был теплым и жарким с локальными дождями (ГТК = 0,27...0,65). Погодные условия способствовали накоплению достаточного количества влаги в почве и обеспечивали благоприятный температурный фон для

поражения растений снежной плесенью и корневыми гнилями, вызываемыми фузариозной инфекцией.

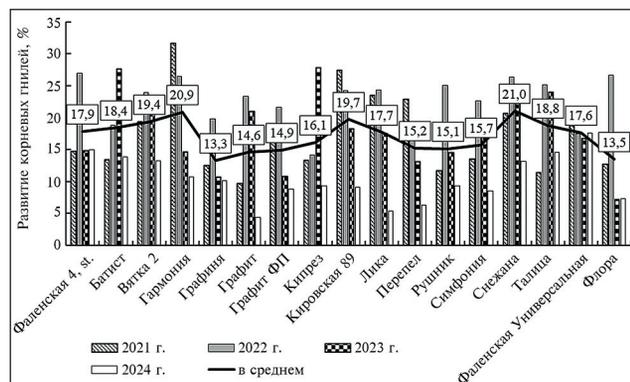
**Результаты и обсуждение.** Все сорта и популяции поражались снежной плесенью на уровне высокозимостойкого сорта Вятка 2 с вариацией по годам от 20,0 до 100 %. В 2023 г. наблюдали крайне слабое поражение заболеванием (от 10,0 до 40,0 %; в среднем – 22,9 %), в остальные годы складывались естественные провокационные условия для развития фузариозной инфекции, что привело к поражению изучаемого материала снежной плесенью на 90,0...100 %. Отрастание варьировало по сортам от 61,3±8,5 % (Фаленская универсальная) до 91,3±4,3 % (Вятка 2). Наибольшую величину этого показателя среди изучаемых образцов отмечали у сортов Лика и Флора (88,1±4,7 % и 82,5±7,8 % соответственно), что приближается к уровню стандарта Вятка 2 (рис. 1). При естественной инфекционной нагрузке исходный материал (кроме образца Снежана) статистически достоверно уступал по устойчивости к снежной плесени сорту Вятка 2 на 2,5...11,3 %. При этом у образцов Графит ФП, Снежана, Кировская 89, Симфония, Батист, Кипрез, Перепел, Флора и Лика отрастания было больше, чем у стандарта Фаленская 4, на 2,5...16,9 %.



**Рис. 1. Проявление снежной плесени на сортах озимой ржи (провокационно-инфекционный фон, среднее за 2021–2024 гг.).**

По результатам корреляционного анализа отмечена достоверная ( $P \geq 0,95$ ) высокая отрицательная зависимость между степенью поражения растений снежной плесенью и их регенерационной способностью после поражения ( $r = -0,84$ ).

В конце вегетации растений ржи развитие корневых гнилей варьировало от 13,3 % (Гармония) до 21,0 % (Снежана). Умеренной устойчивостью к болезни характеризовались 6 сортов: Гармония – 13,3±2,2 %, Флора – 13,5±4,6 %, Графит – 14,6±4,5 %, Графит ФП –

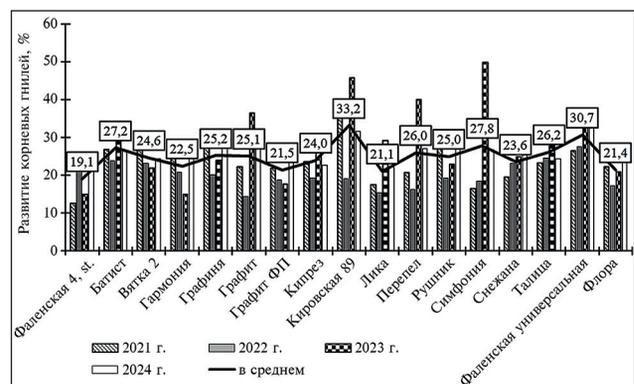


**Рис. 2. Развитие корневых гнилей на сортах и популяциях ржи в фазе полной спелости растений (провокационно-инфекционный фон).**

14,9±3,1 %, Рушник – 15,1±3,5 %, Перепел – 15,2±3,6 % (рис. 2). К среднеустойчивым (от 15,7±3,0 до 20,9 %) отнесены 10 сортов (Симфония, Вятка 2, Фаленская 4, Графиня, Батист, Лика, Талица, Фаленская универсальная, Кипрез, Снежана), доля которых в изучаемом сортименте составила 52,9 %.

При хранении семян происходит их естественное оздоровление вследствие снижения жизнеспособности инфекционных структур фитопатогенных микроорганизмов [16]. Определенную роль в этом процессе играют условия выращивания. Наименьшее развитие корневых инфекций у всех сортов отмечали в относительно засушливом 2024 г. (индекс условий среды  $I_s = -6,7$ ), самое сильное – в избыточно увлажненном 2022 г. ( $I_s = 5,6$ ). Во влажные годы зерно дополнительно инфицируют виды *Fusarium spp.*, что, вероятно, и определило поражение корневой системы проростков. Развитие болезни в фазе 14-дневных проростков изменилось от 19,1 % (Фаленская 4) до 33,2 % (Кипрез). Большая часть изученных образцов (58,8 %) характеризовались как среднеустойчивые (рис. 3). Наименьшее развитие болезни (19,1...25,2 %) на проростках обнаружено у сортов Фаленская 4, Лика, Флора, Графит ФП, Графиня, Снежана, Кировская 89, Рушник, Графит, Гармония. У восприимчивых образцов величина этого показателя составила 26,0...33,2 %.

Большинство образцов ржи селекции ФАНЦ Северо-Востока во все фазы онтогенеза характеризовались как среднеустойчивые к фузариозным корневым гнилям (фаза проростков – от 19,1±3,1 до 25,2±2,1 %; полная спелость – от 15,7±3,1 до 20,9±4,9 %). Ювенильную устойчивость к болезни (степень поражения 13,3...15,2 %) проявили Гармония, Флора, Графит, Графит ФП, Рушник, Перепел; возрастную (от 13,3 до 15,7±3,0 %) – Гармония, Флора, Графит, Графит ФП, Рушник, Перепел, Симфония. Все они могут представлять определенный интерес для селекции.



**Рис. 3. Развитие корневых гнилей на сортах и популяциях ржи в фазе 14-дневных проростков (лабораторный опыт).**

Комплексной устойчивостью к снежной плесени и корневым гнилям обладали такие сортообразцы, как Флора, Рушник, Гармония, Графит, Графит ФП, Перепел. Они могут быть использованы в качестве источников в селекции на фитоиммунитет.

Наиболее благоприятные условия для формирования высокой урожайности зерна озимой ржи сложились в 2022 г., когда в среднем по сортам она составила 749,1 г/м<sup>2</sup>, а индекс среды ( $I_s$ ) был равен 168,8. Удовлетворительные условия отмечали в 2023 г. ( $I_s = 0,8$ ), при этом урожайность достигала 581,2 г/м<sup>2</sup>. Условия 2021 г. и 2024 г. можно характеризовать как неудовлетворительные, индекс среды был отрицатель-

**Стрессоустойчивость и генетическая гибкость сортов озимой ржи и параметры адаптивности (в среднем за 2021–2024 гг.)**

Сорт, популяция	Урожайность зерна, г/м <sup>2</sup>			Стрессоустойчивость ( $Y_{max} - Y_{min}$ )	Параметры экологической адаптивности	
	max	min	среднее		$b_i$	$S^2 d_i$
Фаленская 4, st	316,0	700,0	513,0	-384,0	1,09	22 575,48
Батист	336,0	1060,0	678,8	-724,0	2,33	1034,31
Вятка 2	331,0	560,0	484,3	-229,0	0,42	12 826,60
Графиня	338,0	660,0	506,5	-322,0	0,88	16 339,25
Гармония	300,0	695,0	504,5	-395,0	0,61	30 001,96
Графит	506,0	680,0	568,0	-174,0	0,56	1630,91
Графит ФП	438,0	870,0	697,0	-432,0	1,34	10 496,43
Кировская 89	250,0	760,0	418,3	-510,0	-0,09	86 038,89
Кипрез	344,0	880,0	576,0	-536,0	1,70	4489,41
Ли́ка	528,0	900,0	725,0	-372,0	1,24	17 529,13
Перепел	440,0	970,0	656,0	-530,0	1,36	32 144,45
Рушник	383,0	680,0	527,0	-297,0	0,75	10 318,93
Симфония	644,0	890,0	713,5	-246,0	0,80	8755,68
Снежана	514,0	762,0	631,5	-248,0	0,53	15 719,98
Талица	439,0	740,0	565,5	-301,0	0,92	11 274,58
Фаленская универсальная	324,0	720,0	466,0	-396,0	1,27	9133,64
Флора НСР <sub>05</sub>	436,0	840,0	634,3	-404,0	1,29	495,08
			143,8			

ным ( $I_1 = -141,9$  и  $-27,7$ ), средняя урожайность составила 438,5 и 552,6 г/м<sup>2</sup> соответственно.

При оценке экологической адаптивности в среднем за 2021–2024 гг. изучаемый материал был распределен на 4 группы по уровням урожайности. К группе с продуктивностью 401...500 г/м<sup>2</sup> были отнесены 3 образца, или 17,6 % от количества изученных, 500...600 г/м<sup>2</sup> – 7 образцов (41,2 %), 601...700 г/м<sup>2</sup> – 5 образцов (29,4 %), более 700 г/м<sup>2</sup> – 2 образца (11,8 %). Урожайность сорта-стандарта за годы исследований варьировала от 316 г/м<sup>2</sup> (2024 г.) до 700 г/м<sup>2</sup> (2022 г.) и в среднем составляла 513±92,9 г/м<sup>2</sup>. Средняя по всей выборке образцов масса зерна с 1 м<sup>2</sup> составила 580,4 г. Достоверно (на 118,5...212,0 г/м<sup>2</sup>) стандарт Фаленская 4 по величине этого показателя превзошли 7 сортов – Ли́ка, Симфония, Графит ФП, Батист, Перепел, Флора, Снежана. Основная часть изучаемых образцов формировала среднюю урожайность – от 500 до 600 г/м<sup>2</sup>.

Селекционеры стремятся создавать сорта, которые характеризуются высокой зимостойкостью и устойчивостью к снежной плесени, с потенциалом продуктивности 7...9 т/га. К таким отнесены Ли́ка, Симфония, Графит ФП и Перепел.

Наибольшей пластичностью признака «урожайность» характеризуются образцы Батист ( $b_i = 2,33$ ), Кипрез ( $b_i = 1,70$ ), Перепел ( $b_i = 1,36$ ), Графит ФП ( $b_i = 1,34$ ), Флора ( $b_i = 1,29$ ), Ли́ка ( $b_i = 1,24$ ), которые можно отнести к высоко отзывчивым на улучшение условий возделывания (см. табл.). В неблагоприятные по метеословиям годы они резко снижают потенциал продуктивности.

У сортов Фаленская 4 и Графиня, а также популяции Талица коэффициент регрессии ( $b_i$ ) варьировал в пределах от 0,88 до 1,09. Это указывает на прямую зависимость их урожайности от погодных условий. Сорта Вятка 2, Снежана, Рушник, Графит, Гармония, Симфония ( $b_i = 0,42...0,80$ ) характеризовались низкой пластичностью. В неблагоприятных или экстремальных условиях они не сильно снижают урожайность, с другой стороны, в условиях интенсивного земледелия от них не следует ожидать высокой продуктивности [17, 18].

По отклонению фактической урожайности от теоретической, рассчитанной на основе средней величины этого показателя и индекса среды, можно судить

о стабильности генотипа ( $S^2 d_i$ ). Самая низкая величина этого показателя отмечена у сортов Флора, Графит, Батист (495,08...1630,91). Можно предположить, что они будут лучше переносить ухудшение погодных условий. Стабильно высокую продуктивность формировали сорта Флора и Батист ( $S^2 d_i = 495,08...1034,31$ ).

Стрессоустойчивость отражает варьирование урожайности по годам, чем она выше, тем меньше разрыв между максимальной и минимальной величинами этого показателя [19]. Наибольшую стрессоустойчивость к контрастным условиям региона проявили Вятка 2, Снежана, Графит, Симфония ( $Y_{max} - Y_{min} = -248,0...-174,0$ ).

По комплексу изученных показателей выделены 6 сортообразцов – Флора, Батист, Ли́ка, Графит ФП, Перепел, Симфония.

**Выводы.** Выносливостью к снежной плесени среди изученного набора сортообразцов отличались Ли́ка (88,1±4,7 %) и Флора (82,5±7,8 %). Ювенильную устойчивость (13,3...15,2 %) к корневым гнилям проявили Гармония, Флора, Графит, Графит ФП, Рушник, Перепел; возрастную (3,3...15,7 %) – Гармония, Флора, Графит, Графит ФП, Рушник, Перепел, Симфония. Комплексной устойчивостью к фузариозным болезням характеризовались сортообразцы Флора, Рушник, Гармония, Графит, Графит ФП, Перепел, которые могут представлять определенный интерес для селекции на повышение устойчивости к этим заболеваниям.

Урожайность сортообразцов Ли́ка, Симфония, Графит ФП, Батист, Перепел, Флора, Снежана достоверно выше, чем у стандарта Фаленская 4, на 118,5...212,0 г/м<sup>2</sup>.

Наибольшей пластичностью по урожайности характеризуются сортообразцы Батист ( $b_i = 2,33$ ), Перепел ( $b_i = 1,36$ ), Графит ФП ( $b_i = 1,34$ ), Флора ( $b_i = 1,29$ ), Ли́ка ( $b_i = 1,24$ ), которые можно отнести к высоко отзывчивым на улучшение условий возделывания. Стабильное формирование продуктивности отмечено у сортов Флора и Батист ( $S^2 d_i = 495,08...1034,31$ ). Наибольшую устойчивость к стрессу проявляют сортообразцы Вятка 2, Снежана, Графит, Симфония ( $Y_{max} - Y_{min} = -248,0...-174,0$ ).

Комплексом всех изученных показателей обладают образцы Флора, Батист, Ли́ка, Графит ФП, Перепел, Симфония.

**ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.**

Работа финансировалась в рамках государственного задания по теме FNWE-2022-0007. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

**СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.**

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.**

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

**Литература.**

1. Чайкин В. В., Тороп А. А., Тороп Е. А. Изменение архитектоники растения как направление в селекции озимой ржи // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021. № 3. С. 24–33. doi: 10.24412/2309-348X-2021-3-23-33.
2. *Практическое использование в селекции озимой ржи способов, позволяющих сочетать в сорте высокую урожайность и адаптивность к условиям среды* / А. А. Тороп, В. В. Чайкин, Е. А. Тороп и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 3. С. 32–35. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10306.

3. Кобылянский В. Д., Солодухина О. В. Использование доноров ценных признаков растений в селекции новых сортов озимой ржи // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. № 7. С. 7–12.
4. Щеклеина Л. М. Мониторинг болезней озимой ржи в Кировской области и возможные направления селекции на иммунитет // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020. № 2. Т. 21. С. 124–132. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.2.124-132.
5. Дифференциация генетических ресурсов озимой тритикале по устойчивости к возбудителю розовой снежной плесени (*Microdochium nivale* (Fr.) Samuels and IC Hallett) / М. Л. Пономарева, Н. Ш. Гараева, С. Н. Пономарев и др. // *Аграрная наука*. 2025. Т. 1. № 1. С. 106–113.
6. Феценко Е. С., Торопова Е. Ю. Особенности развития корневых гнилей в зависимости от элементов технологии возделывания яровой пшеницы в условиях Лесостепи Приобья // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2024. № 2. С. 157–167. doi: 10.31677/2072-6724-2024-71-2-157-167.
7. Щеклеина Л. М., Шешегова Т. К. Белоколосость на сортах озимой ржи в агроэкологических условиях Кировской области // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 2 (193). С. 27–36. doi: 10.32417/1997-4868-2020-193-2-27-36.
8. Торопова Е. Ю., Соколов М. С. Роль сорта в контроле обыкновенной корневой гнили яровой пшеницы // *Агрохимия*. 2018. № 11. С. 48–59. doi: 10.1134/S0002188118110108.
9. Васильева Н. В., Синещиков В. Е. Причины усиления распространения корневых гнилей всходов яровой пшеницы в лесостепи Приобья // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2017. № 4. С. 13–18.
10. Григорьев М. Ф. Методические указания по изучению устойчивости зерновых культур к корневым гнилям. Л.: ВИР, 1976. 60 с.
11. Неофитова В. К. Методы полевой оценки устойчивости сортов озимых зерновых культур к снежной плесени. Минск: БелНИИЗР, 1976. 4 с.
12. Бенкен А. А., Хрустовская В. Н. Лабораторная оценка болезнеустойчивых растений и паразитических свойств возбудителей обыкновенной корневой гнили злаков // *Труды Всероссийского Института Защиты Растений*. 1977. С. 9–13.
13. Гойман Э. Э. Инфекционные болезни растений. М.: Иностранная литература, 1954. 608 с.
14. Зыкин В. А., Мешкова В. В., Сапега В. А. Параметры пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск: Сиб. отд-е ВАСХНИЛ, 1984. 24 с.
15. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // *Вестник РАСХН*. 2005. № 6. С. 49–53.
16. Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М. Структура микроорганизмов зерна озимой ржи в условиях Кировской области // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 3. С. 28–32. doi: 10.31857/S2500262721030066
17. Потапова Г. Н., Галимов К. А., Зобнина Н. Л. Продуктивность и адаптивность сортов озимой ржи на среднем урале // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 10. С. 28–33. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11004.
18. Полонский В. И., Сумина А. В. Оценка образцов зерновых культур на экологическую стабильность по ценным селекционным признакам // *Вестник Красноярского ГАУ*. 2024. № 2. С. 111–122. doi: 10.36718/1819-4036-2024-2-111-122.
19. Комплексная оценка адаптивности, стабильности и стрессоустойчивости по урожайности сортов озимой ржи в условиях Западной Сибири / Н. Н. Ермошкина, Г. В. Артемова, П. И. Степочкин и др. // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2024. № 3. С. 22–31. doi: 10.31677/2072-6724-2024-72-3-22-31.

Поступила в редакцию 24.12.2024

После доработки 24.01.2025

Принята к публикации 11.02.2025

## ВЛИЯНИЕ САЛИЦИЛАТА ХИТОЗАНА НА АНТАГОНИСТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ *BACILLUS SUBTILIS* В ОТНОШЕНИИ ВОЗБУДИТЕЛЯ ТЕМНО-БУРОЙ ПЯТНИСТОСТИ *BIPOLARIS SOROKINIANA*

© 2025 г. **И. И. Новикова**, доктор биологических наук, **Э. В. Попова**,  
**И. Л. Краснобаева**, **Н. М. Коваленко**, кандидаты биологических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений  
196608, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3  
E-mail: irina\_novikova@inbox.ru

Исследования проводили с целью разработки способа усиления антагонистической активности штаммов *Bacillus subtilis* путем включения салицилата хитозана (СХ) в состав питательной среды при глубинном культивировании для повышения эффективности полифункциональных биопрепаратов на их основе. Оценивали влияние разных концентраций СХ (0,05 %; 0,1 %; 0,2 %; 0,5 %) на рост, развитие и антагонистическую активность исследуемых штаммов. Высокая антагонистическая активность изучаемых штаммов *B. subtilis* в отношении возбудителя темно-бурой пятнистости *Bipolaris sorokiniana* обеспечивала зону задержки роста гриба диаметром 41 мм и эффективное подавление прорастания конидий – до 52,0 %, по сравнению с контролем (87,1 %). Оптимальная концентрация СХ (0,05 и 0,1 %) для включения в среду повышает исходный уровень антагонистической активности на ~ 20 %, что подтверждает увеличение зоны задержки роста гриба с 41 мм до 45...47 мм с сохранением эффективности ингибирования конидий аскомицета (50,0 % и 45,0 %) соответственно. Повышение концентрации СХ в питательной среде до 0,2 % и 0,5 % привело к уменьшению диаметра зоны задержки роста гриба более чем в 2 раза до 17,5...17,7 мм. В этих вариантах штаммы *B. subtilis* практически не ингибировали прорастание конидий *B. sorokiniana*. По-видимому, такая ситуация связана с прямым отрицательным действием СХ в этих концентрациях на рост и развитие культур, что подтверждает уменьшение титров бактериальных клеток в 10 раз – до 2,2...3,3×10<sup>10</sup> КОЕ/мл, по сравнению с исходными 1,8...2,2×10<sup>11</sup> КОЕ/мл.

### EFFECT OF CHITOSAN SALICYLATE ON THE ANTAGONISTIC ACTIVITY OF *BACILLUS SUBTILIS* AGAINST THE DARK BROWN SPOT *BIPOLARIS SOROKINIANA*

I. I. Novikova, E. V. Popova, I. L. Krasnobaeva, N. M. Kovalenko

All-Russian Research Institute of Plant Protection,  
196608, Sankt-Peterburg, Pushkin, sh. Podbel'skogo, 3  
E-mail: irina\_novikova@inbox.ru

The aim of the study was to develop a method for enhancing the antagonistic activity of *B. subtilis* strains by including chitosan salicylate (CS) in the nutrient medium during submerged cultivation to improve the efficiency of multifunctional biopreparations based on them. In this regard, the effect of different concentrations of CS (0.05 %; 0.1 %; 0.2 %; 0.5 %) on the growth, development and antagonistic activity of the studied strains was assessed. High antagonistic activity of the studied *B. subtilis* strains against the causative agent of dark brown spot *Bipolaris sorokiniana* was shown, which provided a fungal growth inhibition zone with a diameter of 41 mm and effective suppression of conidia germination – up to 52.0 % compared to the control (87.1 %). The optimal concentration of CS (0.05 and 0.1 %) for inclusion in the medium was experimentally established, increasing the initial level of antagonistic activity by ~ 20 %, which was confirmed by an increase in the fungal growth inhibition zone from 41 mm to 45...47 mm while maintaining the efficiency of inhibiting ascomycete conidia (50.0 % and 45.0 %), respectively. Increasing the CS concentration in the nutrient medium to 0.2 % and 0.5 % led to a more than 2-fold decrease in the diameter of the fungal growth inhibition zone, which was 17.5...17.7 mm. In addition, in these experimental variants, the *B. subtilis* strains practically did not inhibit the germination of *B. sorokiniana* conidia. The decrease in the antagonistic activity of *B. subtilis* strains discovered during the studies when cultivated on a nutrient medium containing CS at a concentration of 0.2 % and 0.5 % is apparently caused by its direct negative effect at these concentrations on the growth and development of cultures, which is confirmed by a 10-fold decrease in bacterial cell titers – to 2.2...3.3×10<sup>10</sup> CFU/ml compared to the initial ones – 1.8...2.2×10<sup>11</sup> CFU/ml.

**Ключевые слова:** штаммы *Bacillus subtilis*, *Bipolaris sorokiniana*, салицилат хитозана, антагонистическая активность.

**Keywords:** *Bacillus subtilis*, *Bipolaris sorokiniana*, chitosan salicylate, antagonistic effect, fungistatic activity.

Микробиологические препараты занимают все более значимое место при разработке современных технологий фитосанитарной оптимизации агроэкосистем и производства экологически безопасной продукции. Сегодня широко используют биопрепараты на основе штаммов эндофитных бактерий рода *Bacillus*, обладающих широким спектром антагонистической активности в отношении фитопатогенных видов – возбудителей болезней растений. В ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ФГБНУ ВИЗР) разработан ряд различных препаративных форм

полифункциональных биопрепаратов (Алирин-Б, Гамаир, Витаплан и др.) на основе штаммов бацилл этой группы. Эффективность таких биопрепаратов в отношении распространенности и развития вредоносных заболеваний основных сельскохозяйственных культур (корневые гнили, увядания, пятнистости разной этиологии, бактериозы и др.) достигает 60...90 %, что обеспечивает повышение продуктивности на 20...25 % и улучшает качество растениеводческой продукции [1, 2, 3].

Следует отметить, что действие биопрепаратов в значительной степени зависит от факторов окружающей

среды [2]. В этой связи весьма актуальным становится разработка способов повышения их эффективности и обеспечения стабильного защитного эффекта. Биологическая эффективность препаратов на основе штаммов микробов-антагонистов обусловлена сложными механизмами, включающими способность синтезировать соединения различных классов, обладающие биоцидной активностью, а также активизацию системной индуцированной устойчивости [4, 5, 6].

На сегодняшний день накоплены обширные сведения о способности бактерий повышать болезнеустойчивость культурных растений путем стимулирования их естественных защитных механизмов от различных биотических [5] и абиотических факторов [7, 8].

Способность штаммов бактерий активировать физиолого-биохимические процессы, которые участвуют в формировании неспецифической устойчивости растений, можно значительно повысить путем их сочетания с индукторами неспецифической устойчивости. В связи с этим для разработки биопрепаратов с улучшенными защитными свойствами особый интерес представляют комплексы штаммов бактерий с хитозаном или его производными [8, 9]. Высокий защитный эффект таких биопрепаратов обусловлен сочетанием антагонистических свойств штаммов микроорганизмов и способности хитозана совместно с биологически активными веществами активизировать механизмы естественной устойчивости растений к патогенам [2, 10].

В ФГБНУ ВИЗР разработан ряд препаративных форм на основе сочетания штаммов бактерий и активаторов болезнеустойчивости растений – хитозана и его производных. Примером может служить композиция штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604Д и *B. subtilis* ВКМ В-2605Д с хитозановым индуктором – 0,1 % салицилат хитозана (СХ), которая повышает устойчивость яровой мягкой пшеницы по отношению к возбудителям корневой гнили, мучнистой росы и бурой ржавчины в 2,0...2,5 раза [11].

Однако в процессе приготовления композиции существуют определенные трудности, связанные с ограниченной растворимостью хитозана, что может приводить к снижению ее биологической эффективности. Один из путей преодоления этой проблемы – включение хитозана в среду для культивирования штаммов бактерий-антагонистов.

Биологическую эффективность биопрепаратов определяют антагонистическая активность штамма-продуцента к фитопатогенным микроорганизмам [6, 12], которая, в свою очередь, зависит от состава питательной среды и условий культивирования [13]. В этой связи необходимо было оценить влияние СХ на рост, развитие и антагонистическую активность исследуемых штаммов *B. subtilis* при включении его в состав стандартной питательной среды для культивирования.

Цель исследований – разработка способа усиления антагонистической активности штаммов *B. subtilis* путем включения салицилата хитозана в состав питательной среды при глубинном культивировании для повышения эффективности полифункциональных биопрепаратов на их основе.

**Методика.** В качестве тест-объекта был взят гембиотрофный гриб *B. sorokiniana* Shoem, вызывающий темно-бурю листовую пятнистость и обыкновенную корневую гниль зерновых культур – распространенные и вредоносные болезни во многих регионах возделывания. Ежегодные потери урожая от вызываемой *B. sorokiniana* корневой гнили оценивают в 15...20 % [14].

В экспериментах использовали штаммы *B. subtilis* ВКМ В-2604Д и *B. subtilis* ВКМ В-2605Д из «Государственной коллекции микроорганизмов, патогенных для растений и их вредителей» Центра коллективного пользования научным оборудованием «Инновационные технологии защиты растений».

Глубинное культивирование штаммов в соотношении 1:1 (титр жизнеспособных клеток  $10^{10}$  КОЕ/мл) проводили на искусственной питательной среде в колбах объемом 750 мл с объемом среды 100 мл на лабораторном шейкере при 28 °С, 180 об/мин в течение 72 ч. Состав питательной среды: кукурузный экстракт (30 г/л), меласса (15 г/л), рН до стерилизации – 7,2. СХ добавляли в питательную среду в концентрациях 0,05, 0,1, 0,2 и 0,5 % до стерилизации. Его влияние на титр штаммов *B. subtilis* определяли стандартным методом десятичных серийных разведений. Контроль – вода.

Салицилат хитозана (мМ 60 кДа) получали из хитозана с молекулярной массой 150 кДа и степенью деацетилирования 85 % («Биопрогресс», РФ) методом окислительной деструкции [15]. На его основе синтезировали салицилат хитозана, содержащий 25 % ионно-связанных фрагментов салициловой кислоты (СК) [16]. Образование соли между хитозаном и СК было подтверждено наличием в ИК-спектре характеристических полос от карбоксилатной группы  $\text{CO}_2^-$  – 1552,92  $\text{cm}^{-1}$  и 1386,12  $\text{cm}^{-1}$ . Широкая сильная полоса в области 3100...2600  $\text{cm}^{-1}$  содержала валентные колебания от функциональных групп  $\text{NH}_3^+$  и  $\text{OH}^-$  [17].

Влияние СХ в различных концентрациях на рост штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604Д и *B. subtilis* ВКМ В-2605Д определяли методом диффузии в агар (метод лунок). Поверхность агаризованной питательной среды в чашках Петри засеивали культурами бактерий сплошным газоном, используя суспензии клеток с титром  $10^{10}$  КОЕ/мл, после чего в агаре вырезали лунки буром диаметром 10 мм, а затем вносили в них СХ в концентрациях 0,05, 0,1, 0,2 и 0,5 %. Ингибирующую активность СХ в отношении штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604Д и *B. subtilis* ВКМ В-2605Д определяли через 48 ч. культивирования штаммов при 27...28 °С по диаметру отсутствия роста тест-культур.

Антагонистическую активность штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604Д и *B. subtilis* ВКМ В-2605Д определяли по зоне задержки роста (ЗЗР) *B. sorokiniana* методом диффузии в агар. Уровень антагонистической активности считали слабым, если ЗЗР составляла 5...10 мм, средним – 10...20 мм, высоким – больше 20 мм. Учет зоны задержки роста осуществляли через 72 ч. культивирования при температурах, оптимальных для роста тест-культур бактерий (27...28 °С).

Влияние КЖ штаммов *B. subtilis* на прорастание конидий *B. sorokiniana* оценивали в капле (200 мкл). Для этого 0,1 мл раствора образца КЖ наносили на предметное стекло, добавляли 0,1 мл спор *B. sorokiniana* и выдерживали в темноте при 22 °С, во влажной камере в течение 24 и 48 ч. Прорастание конидий учитывали с использованием микроскопа Axio Imager A2 (Германия), просматривая не менее 100...200 конидий в варианте и в контроле (в воде). Частоту прорастания выражали в процентах от общего числа спор, просмотренных в контроле и опыте.

Все опыты проводили в 3-кратной повторности, контроль – вода. Математическую обработку данных осуществляли методом дисперсионного анализа в программах Statistica 6.0 («StatSoft, Inc.», США) и Excel 2016. При расчетах применяли методы параметрической статистики на основе средних значений (М) и стандарт-

ных ошибок средних ( $\pm$ SEM), 95 % доверительных интервалов, наименьшей существенной разности НСР при  $p < 0,05$  (НСР<sub>05</sub>).

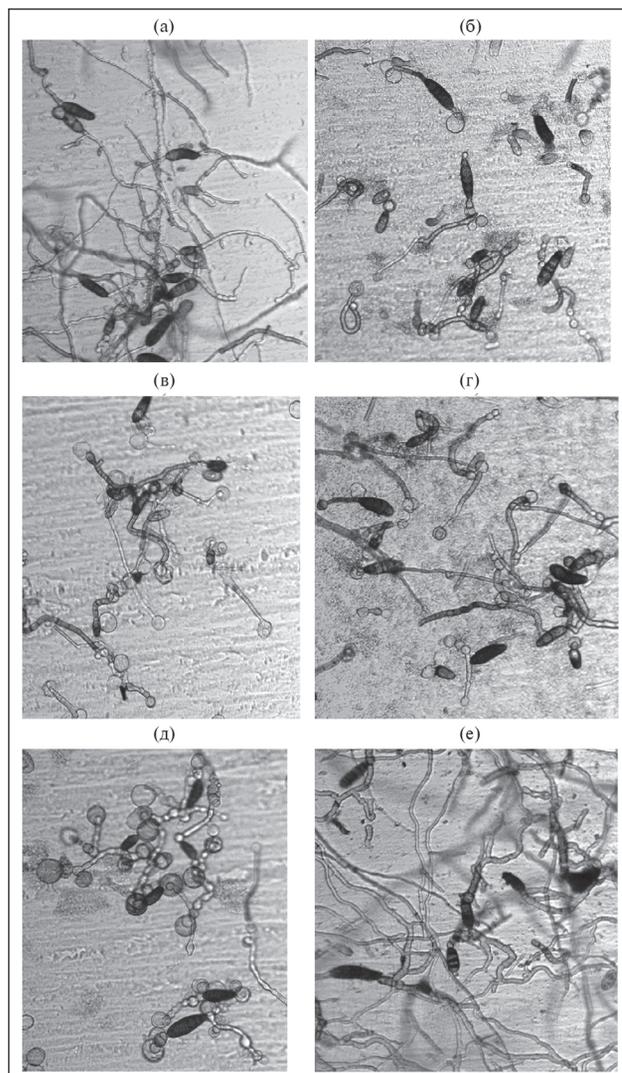
**Результаты и обсуждение.** При оценке влияния СХ на жизнеспособность штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D отмечено незначительное ингибирование роста культур под действием СХ в концентрации 0,2 и 0,5 %, диаметр зоны подавления роста составлял 12...13 мм. СХ в концентрации 0,05 и 0,1 % не оказывал отрицательного влияния на рост штаммов, зоны подавления роста отсутствовали.

Включение СХ в среду для культивирования штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D в концентрации 0,05 и 0,1 % не оказало отрицательного влияния на интенсивность развития штаммов и плотность бактериальных клеток, титр которых составлял  $1,8...2,2 \times 10^{11}$  КОЕ/мл и соответствовал этой величине в варианте опыта без добавления СХ в питательную среду СХ ( $1,3 \times 10^{11}$  КОЕ/мл). Повышение концентрации СХ в питательной среде до 0,2 % и 0,5 % снизило титр жизнеспособных клеток штаммов практически в 10 раз до  $2,2...3,3 \times 10^{10}$  КОЕ/мл (см. табл.).

Штаммы *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D обладали высокой антагонистической активностью в отношении *B. sorokiniana*. Зона задержки роста гриба превышала 40 мм. При включении в среду для глубокого культивирования штаммов СХ в концентрации 0,05 и 0,1 % антигрибная активность усиливалась, что подтверждает увеличение зоны отсутствия роста до 47,2 мм и 45,5 мм соответственно. Однако повышение концентрации СХ до 0,2 и 0,5 % снижало антагонистическую активность штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D. В результате диаметр зоны задержки роста гриба был в 2 раза меньше (17,5...17,7 мм), чем в варианте с исходными штаммами *B. subtilis* (41 мм).

**Влияние включения салицилата хитозана в питательную среду для культивирования на жизнеспособность и антагонистическую активность штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D в отношении *B. sorokiniana***

Вариант	Титр жизнеспособных клеток (КОЕ/мл)	Диаметр зоны отсутствия роста <i>B. sorokiniana</i> , мм		Прорастание конидий <i>B. sorokiniana</i> , %	
		3-и сутки	24 ч.	48 ч.	
Контроль (вода)	-	0	87,1	100	
Культуральная жидкость <i>B. subtilis</i> ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D	$1,3 \times 10^{11}$	41,0 $\pm$ 1,8	52,0	84,0	
Культуральная жидкость <i>B. subtilis</i> ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D + 0,05 % СХ	$2,0 \times 10^{11}$	47,2 $\pm$ 1,3	50,0	67,0	
Культуральная жидкость <i>B. subtilis</i> ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D + 0,1 % СХ	$1,8 \times 10^{11}$	45,5 $\pm$ 2,2	45,0	73,3	
Культуральная жидкость <i>B. subtilis</i> ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D + 0,2 % СХ	$3,3 \times 10^{10}$	17,5 $\pm$ 1,5	72,7	90,0	
Культуральная жидкость <i>B. subtilis</i> ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D + 0,5 % СХ	$2,2 \times 10^{10}$	17,7 $\pm$ 1,8	81,8	94,0	
НСР <sub>05</sub>	-	4,2	-	-	



**Влияние штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D на прорастание конидий *B. sorokiniana* через 48 ч. инкубации: а) контроль (вода); б) КЖ *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D; в) КЖ *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D + 0,05 % СХ; г) КЖ *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D + 0,1 % СХ; д) КЖ *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D + 0,2 % СХ; е) КЖ *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D + 0,5 % СХ.**

Известно, что споры грибов – главный источник инфицирования растений, заражение которых начинается с прорастания конидий на поверхности листа. Рудиментарный аппрессорий *B. sorokiniana* формируется на поверхности листа, затем зародышевая трубка непосредственно проникает через кутикулу и эпидермальную клеточную стенку, после чего инфекционные гифы колонизируют меж- и внутриклеточную ткань листа [18]. Факторы, ускоряющие или замедляющие скорость прорастания спор, оказывают существенное влияние на процесс заражения растений. Поэтому важно было оценить действие исследуемых штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D на прорастание конидий *B. sorokiniana*.

В контрольном варианте количество проросших конидий через 24 ч. составляло 87,1 %, при этом наблюдали их гладкие нормальные структуры без какой-либо деформации. Прорастающие конидии образовывали ростковые трубки с дальнейшим образованием гиф

и грибного мицелия. Через 48 ч. гифы удлинялись, начинали ветвиться, образуя развитый мицелий. Все конидии (100 %) проросли (см. рисунок, а).

В присутствии штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D через 24 ч. проросших конидий было существенно меньше (52,0 %), чем в контроле (87,1 %). Споры аномально набухали перед прорастанием с последующим образованием сферопластов на концах ростовых гиф (см. рисунок, б).

Штаммы *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D, выращенные на питательной среде, содержащей СХ в концентрации 0,05 % и 0,1 %, в первые сутки также эффективно ингибировали прорастание конидий аскомицета. Количество проросших конидий в опыте составило 50,0 % и 45,0 % соответственно. Через 48 ч. величина этого показателя возрастала до 67,0 и 73,3 % соответственно (см. табл.). Визуально наблюдали деформацию мицелия, гифы утолщались, возникло множество вздутий и вакуолей (см. рисунок, в, г).

Увеличение концентрации СХ в питательной среде до 0,2 % и 0,5 % снижало способность штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D подавлять прорастание конидий *B. sorokiniana*. Так, число проросших конидий аскомицета в варианте опыта *B. subtilis* + 0,2 % СХ через сутки составляло 72,7 %, через 48 ч. – 90,0 % (см. табл.). Прорастание сопровождалось возникновением в гифах множества вздутий и вакуолей (см. рисунок, д). При этом в мицелии гриба образовывались более короткие и многочисленные узлы, что привело к удлинению зародышевой трубки и образованию ветвящегося мицелия.

Образец КЖ *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D + 0,5 % СХ практически не ингибировал прорастание конидий. Число проросших спор через 24 ч. в этом варианте опыта достигало 81,8 %, через 48 ч. – 95 % (см. рисунок, е).

Подавление прорастания конидий после 24 ч. действия штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D косвенно свидетельствует о том, что продуцируемые ими метаболиты оказывают фунгицидное влияние на *B. sorokiniana*. Аномалии при прорастании конидий, их деформация и набухание, образование вакуолей и сферопластов отмечали авторы, изучавшие влияние штаммов *B. subtilis* на споровые структуры *Fusarium graminearum* [19] и *Sclerotinia sclerotiorum* [20].

Известно, что хитозан и его производные обладают антибактериальной активностью, но механизм его действия в значительной мере зависит от многих факторов, в том числе от структуры, физико-химических характеристик, молекулярной массы, типа целевого микроорганизма и др. [21].

Антимикробная активность хитозана и его олигомеров, по-видимому, связана с их взаимодействием с клеточной стенкой и липидами цитоплазматической мембраны [22]. Например, установлено, что у вегетативных клеток *Bacillus cereus* под влиянием хитоолигосахаридов происходят локальные повреждения клеточной стенки, вызванные молекулами поликатиона [23, 24].

Аналогичные результаты получены Актугановым с соавторами (2018) в отношении штамма *B. subtilis* IB-54, антагонистическая активность и секреция антигрибных соединений которого повышались при включении хитозана в среду концентрации 0,025 % [25].

Согласно литературным данным, антигрибное действие видов *Bacillus* в значительной степени обусловлено продукцией различных липопептидов (LP). Результаты нескольких исследований свидетельствуют,

что геномы видов *Bacillus*, содержат биосинтетические гены, которые экспрессируют антигрибные LP, включая сурфактин, фенгицин, итурин, субтилозин и др. [26, 27]. Эти соединения состоят из пептидной цепи и липидного хвоста, что делает их амфифильными и способными взаимодействовать с клеточными мембранами. Что касается их механизма действия, установлено, что ингибирование прорастания спор фитопатогенных грибов обусловлено повреждением мембран при взаимодействии циклических липопептидов, фенгицина А, итурина А и сурфактина, синтезируемых *B. subtilis* с клеточной стенкой этих грибов. Изменяется их проницаемость, что приводит к высвобождению содержимого клетки и ее гибели [28].

По всей видимости, причина образования вздутий и сферопластов на концах гифов, наблюдаемое в наших опытах, – структурно-функциональные изменения в грибной цитоплазматической мембране.

Установлено [29], что высокая биологическая эффективность штаммов *B. subtilis* обусловлена синтезом метаболитных комплексов сложного состава, включающего пептидные и полиеновые антибиотики. Экспериментально выявленная высокая антагонистическая активность штаммов *B. subtilis* по отношению к *B. sorokiniana* обеспечивала зону задержки роста тест-культуры диаметром более 40 мм на 3-и сутки совместного культивирования, которая, по-видимому, определяется синтезом биоцидных веществ, подавляющих или замедляющих рост фитопатогена (см. табл.).

**Выводы.** Включение салицилата хитозана в концентрациях 0,2 % и 0,5 % оказало ингибирующее действие на рост штаммов *B. subtilis* ВКМ В-2604D и ВКМ В-2605D, при этом диаметр зоны подавления роста составлял 12...13 мм. При добавлении СХ в этой концентрации в среду при глубинном культивировании наряду с 10-кратным снижением титра бактериальных клеток с  $1,8...2,2 \times 10^{11}$  КОЕ/мл (исходные штаммы) до  $2,2...3,3 \times 10^{10}$  КОЕ/мл отмечали уменьшение антигрибной активности: задержка роста гриба в этих вариантах опыта не превышала 17,5...17,7 мм.

Салицилат хитозана в концентрациях 0,05 и 0,1 % не ингибировал рост бактерий (зоны подавления роста отсутствовали), а, напротив, усиливал антигрибную активность штаммов по отношению к *B. sorokiniana*, увеличивая зону задержки роста гриба до 45...47 мм.

В целом проведенные исследования обосновывают возможность использования СХ для повышения биологической активности штаммов *B. subtilis* путем включения в среду для культивирования в концентрации 0,05 % и 0,1 %. Это позволяет повысить исходный уровень антагонистической активности, что может быть использовано при разработке технологий производства полифункциональных биопрепаратов на их основе.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена в рамках государственного задания на оказание государственных услуг 1021052806551-4-4.1.6.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека

или животных.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### Литература.

1. Новикова И. И. Микробиологическая защиты растений – основа фитосанитарной оптимизации

- агроэкосистем // Защита и карантин растений. 2017. № 4. С. 3–6.
2. Павлюшин В. А., Новикова И. И., Бойкова И. В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика // Сельскохозяйственная биология. 2020. № 55. С. 421–438. doi: 10.15389/agrobiology.2020.3.421rus.
  3. Перспективы применения бактерий–продуцентов липопептидов для защиты растений (обзор) // И. В. Максимов, Б. П. Сингх, Е. А. Черепанова и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. Т. 56. № 1. С. 19–34. doi: 10.31857/S0555109920010134.
  4. Induced systemic resistance by beneficial microbes / C. Pieterse, C. Zamioudis, R. L. Berendsen, et al. // Annu. Rev. Phytopathol. 2014. No. 52. P. 347–375. doi: 10.1146/annurev-phyto-082712-102340.
  5. И. В. Максимов, С. В. Веселова, Т. В. Нужная и др. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам // Физиология растений. 2015. Т. 62. № 6. С. 763–775. doi: 10.7868/s0015330315060111.
  6. Сидорова Т. М., Асатурова А. М., Хомяк А. И. Биологически активные метаболиты *Bacillus subtilis* и их роль в контроле фитопатогенных микроорганизмов (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 1. С. 29–37. doi: 10.15389/agrobiology.2018.1.29rus.
  7. Drought-tolerant *Bacillus megaterium* isolated from semi-arid conditions induces systemic tolerance of wheat under drought conditions / U. Rashid, H. Yasmin, M. Hassan, et al. // Plant. Cell. Rep. 2022. V. 41. P. 549–569. doi: 10.1007/s00299-020-02640-x.
  8. Lipopeptides; powerful antifungal weapons produced by *Bacillus* species: a review / T. Mahmood, A. Moosa, W. Ahmad, et al. // Plant protection. 2023. Vol. 7. No. 3. P. 605–614. doi: 10.33804/pp.007.03.4725.
  9. Стимулирование защитных механизмов *Solanum tuberosum* бактериями *Bacillus subtilis* и хитоолигосахаридами при инфицировании *Phytophthora infestans* / Л. Г. Яруллина, Г. Ф. Бурханова, В. О. Цветков и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2022. Т. 58. № 2. С. 185–194. doi: 10.31857/S0555109922020179.
  10. Перспективы повышения биологической активности биопрепаратов на основе бактерий рода *Bacillus* и нанокмозитов хитозана (обзор) / Л. Г. Яруллина, Ж. Н. Калацкая, Е. А. Черепанова и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2023. Т. 59. № 5. С. 427–439. doi: 10.31857/s0555109923050185.
  11. Оценка эффективности совместного применения хитозана и микробов-антагонистов в защите яровой мягкой пшеницы от болезней с использованием спектрометрического анализа / Л. Е. Колесников, И. И. Новикова, В. Г. Сурин и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2018. Т. 54. № 5. С. 546–552. doi: 10.1134/S0555109918050082.
  12. Новикова И. И. Биологическое разнообразие микроорганизмов – основа для создания новых полифункциональных биопрепаратов для фитосанитарной оптимизации агроэкосистем // Вестник защиты растений. 2016. Т. 83. № 3. С. 120–122
  13. Microbial metabolomics: essential definitions and the importance of cultivation conditions for utilizing *Bacillus* species as bionematicides / I. Horak, G. Engelbrecht, P. J. Jansen van Rensburg, et al. // J. Appl. Microbiol. 2019. Vol. 127. No. 2. P. 326–343. doi: 10.1111/jam.14218.
  14. Фитосанитарный мониторинг болезней пшеницы в Северо-западном регионе в 2015 г. / Е. И. Гуляева, Е. Л. Шайдаюк, Н. П. Шупилова и др. // Защита и карантин растений. 2016. № 4. С. 29–31.
  15. Synthesis and biological activity of metal chitosan complexes / P. S. Vlasov, A. A. Kiselev, N. S. Domnina, et al. // Russ J Appl Chem. 2009. No. 82. P. 1675–1681. doi: 10.1134/s1070427209090298.
  16. Инновационные гибридные иммуномодуляторы растений на основе хитозана и биоактивных антиоксидантов и прооксидантов / Э. В. Попова, Н. С. Домнина, С. В. Сокоорнова и др. // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 1. С. 158–170. doi: 10.15389/agrobiology.2021.1.158rus.
  17. Феодосеева Е. Н., Феодосеев В. Б. Взаимодействие хитозана и бензойной кислоты в растворах и пленках // Высокомолекулярное соед. 2011. Т. 53. № 11. С. 1900–1907.
  18. Kumar J., Ramesh C. Progress of researches done to understand host-pathogen relationship for spot blotch pathogen of wheat // J. Wheat Res. 2011. Vol. 3. No. 1. URL: [https://www.academia.edu/49063571/Progress\\_of\\_researches\\_done\\_to\\_understand\\_host\\_pathogen\\_relationship\\_for\\_spot\\_blotch\\_pathogen\\_of\\_wheat](https://www.academia.edu/49063571/Progress_of_researches_done_to_understand_host_pathogen_relationship_for_spot_blotch_pathogen_of_wheat) (дата обращения: 21.01.2025).
  19. Antifungal potential of lipopeptides produced by the *Bacillus siamensis* Sh420 strain against *Fusarium graminearum* / H. Sarfaraz, T. Bowen, A. Maratab, et al. // ASM J. Microbiology Spectrum. 2024. Vol. 12. No. 4. URL: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/spectrum.04008-23> (дата обращения: 21.01.2025). doi: 10.1128/spectrum.04008-23.
  20. Marker assisted detection and LC–MS analysis of antimicrobial compounds in different *Bacillus* strains and their antifungal effect on *Sclerotinia sclerotiorum* / A. Farzand, A. Moosa, M. Zubair, et al. // Biological Control. 2019. No. 133. P. 91–102.
  21. Хитин/Хитозан и его производные: фундаментальные и прикладные аспекты / В. П. Варламов, А. В. Ильина, Б. Ц. Шагдарова и др. // Успехи биологической химии. 2020. Т. 60. С. 317–368.
  22. Antimicrobial effect of chitosan and nano-chitosan against some pathogens and spoilage microorganisms / W. M. Abdeltwab, Y. F. Abdelaliam, W. A. Metry, et al. // J. of Advanced Laboratory Research in Biology. 2019. Vol. 10. P. 8–15.
  23. Study of the antibacterial effects of chitosans on *Bacillus cereus* (and its spores) by atomic force microscopy imaging and nanoindentation / J. C. Fernandes, P. Eaton, A. M. Gomes, et al. // Ultramicroscopy. 2009. Vol. 109. No. 8. P. 854–860.
  24. Ингибирующее действие низкомолекулярного хитозана на рост бактерий с различными тинкториальными свойствами / В. П. Коробов, Б. Ц. Шагдарова, В. П. Варламов и др. // Микробиология. 2023. Т. 92. № 2. С. 197–203. doi: 10.31857/S0026365622600754.
  25. Г. Э. Актуганов, В. П. Сафина, Н. Ф. Галимзянова и др. Устойчивость к хитозану бактерий и микромицетов, различающихся по способности к продукции беклеточных хитиназ и хитозаназ // Микробиология. 2018. Т. 87. № 5. С. 599–609. doi: 10.1134/S0026365618050026.
  26. Biocontrol potential of lipopeptides produced by the novel *Bacillus subtilis* strain Y17B against postharvest *Alternaria* fruit rot of cherry / T. Ahmad, F. Xing, C. Nie, et al. // Front Microbiol. 2023. No. 14. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2023.1150217/full> (дата обращения: 21.01.2025). doi: 10.3389/fmicb.2023.1150217.
  27. S-Y. Wang, D. D. Herrera-Balandrano, Y-X. Wang, et al. Biocontrol ability of the *Bacillus amyloliquefaciens*

- group, *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis*, *B. nakamurai* and *B. siamensis*, for the management of fungal post-harvest diseases: a review // *J Agric Food Chem*. 2022. No. 70. P. 6591–6616.
28. Interaction of antimicrobial cyclic lipopeptides from *Bacillus subtilis* influences their effect on spore germination and membrane permeability in fungal plant pathogens / L. I. Hagberg, L. Novitsky, H. Hadj-Moussa, et al. // *Fungal Biology*. 2014. Vol. 118. No. 11. P. 855–886.
29. Novikova I. I., Shenin Y. D. Isolation, identification, and antifungal activity of a gamair complex formed by *Bacillus subtilis* M-22, a producer of a biopreparation for plant protection from mycoses and bacterioses // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2011. Vol. 47. No. 9. P. 817–826. doi: 10.1134/S0003683811090031.

**Поступила в редакцию 11.11.2024**

**После доработки 16.12.2024**

**Принята к публикации 24.01.2025**

## КАЧЕСТВО И ЗАСОРЕННОСТЬ СМЕСЕЙ ГАЗОННОГО ТИПА В ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

© 2025 г. **О. А. Тимошкин**, доктор сельскохозяйственных наук,  
**О. Ю. Тимошкина**, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр лубяных культур,  
170041, Тверь, Комсомольский просп., 17/56  
E-mail: o.timoshkin.pnz@fncl.ru

*Исследования проводили с целью определения влияния компонентов (фактор А) и норм их высева (фактор В) в смесях, а также уровня минерального питания (фактор С) при формировании газонных смесей на засоренность и их качество по годам пользования травостоем для выбора наиболее эффективных сочетаний. Схема опыта включала следующие варианты: фактор А – клевер ползучий + мятлик луговой, клевер ползучий + райграс пастбищный, клевер ползучий + овсяница луговая; фактор В (% от нормы высева в чистом виде) – 70+40 %, 55+55 %, 40+70 % в смесях; фактор С – контроль (без удобрений);  $P_{45}K_{45}$ ;  $N_{30}P_{45}K_{45}$ . В лесостепи Среднего Поволжья на черноземе выщелоченном проводили две закладки опыта (в 2019 г. и 2020 г.) и изучение травосмесей за 3 года пользования (2020–2023 гг.). Скашивание газонных смесей осуществляли 4...5 раз за сезон при достижении ими высоты 10...12 см. По засоренности в первый и второй год пользования посевы оценивали в 1 балл (слабозасоренные), на третий год – 2 балла (среднезасоренные). К третьему году пользования наименьшее количество однолетних сорняков отмечено в смесях клевера ползучего с мятликом луговым – 10,1...19,0 шт/м<sup>2</sup>. При увеличении дозы удобрений происходило снижение количества сорняков, по сравнению с контролем, на 10,1...22,8 шт/м<sup>2</sup>, в контрольных вариантах – на 10,5...26,4 шт/м<sup>2</sup>. В первый год использования смесей клевера ползучего с мятликом луговым и овсяницей луговой качество газонов оценивалось как «отличное». Во второй год смеси с овсяницей получили оценки «хорошая» и «отличная», в то время как смеси с мятликом и райграсом в основном «хорошая», с некоторыми вариантами «удовлетворительная». В третий год смеси клевера с мятликом проявили лучшие характеристики: отличная густота (6 баллов), высокое проективное покрытие (5 баллов), комплексная оценка – 30 баллов, что соответствует качеству высшего уровня.*

## QUALITY AND CONTAMINATION OF LAWN MIXTURES IN THE FOREST-STEPPE OF THE MIDDLE VOLGA REGION

**O. A. Timoshkin, O. Yu. Timoshkina**

Federal Scientific Center of Bast-Fiber Crops Breeding,  
170041, Tver', Komsomol'skii prosp., 17/56  
E-mail: o.timoshkin.pnz@fncl.ru

*The aim of the study was to identify the effect of components (factor A) and their seeding rates in mixtures (factor B), the level of mineral nutrition (factor C) in the formation of lawn mixtures on weed infestation and their quality over the years of grass stand use in order to recommend the most effective of them for production. The experimental design included the following options: factor A – creeping clover + meadow bluegrass, creeping clover + perennial ryegrass, creeping clover + meadow fescue; factor B – 70 + 40 %, 55 + 55 %, 40 + 70 %; factor C – control (without fertilizers);  $P_{45}K_{45}$ ;  $N_{30}P_{45}K_{45}$ . In the forest-steppe of the Middle Volga region, two experiments (in 2019 and 2020) were conducted on leached chernozem and a study of grass mixtures for 3 years of use (2020–2023). The lawn mixtures were mowed 4...5 times per season when they reached a height of 10...12 cm. In terms of weed infestation, the mixtures were rated at 1 point (slightly weedy) in the first and second years of use and 2 points (moderately weedy) in the third year. By the third year of use, the lowest number of annual weeds was noted in mixtures of creeping clover with meadow bluegrass – 10.1...19.0 pcs/m<sup>2</sup>. With an increase in the fertilizer dose, the number of weeds decreased compared to the control – 10.1...22.8 pcs/m<sup>2</sup>, in the control variants – 10.5–26.4 pcs/m<sup>2</sup>. In the first year of using mixtures of creeping clover with meadow bluegrass and meadow fescue, the quality of the lawns was rated as «excellent». In the second year, fescue mixtures showed «good» and «excellent» ratings, while bluegrass and ryegrass mixtures mostly received «good» ratings, with some «satisfactory» variants. In the third year, clover-bluegrass mixtures showed the best characteristics: excellent density (6 points), high projective cover (5 points), complex rating – 30 points, which corresponds to the highest quality level.*

**Ключевые слова:** многолетние травы, газонные смеси, норма высева, минеральные удобрения, качество, густота травостоя, проективное покрытие, засоренность.

**Keywords:** perennial grasses, lawn mixtures, seeding rate, mineral fertilizers, quality, grass density, projective cover, weed infestation.

В условиях научно-технического прогресса происходит постоянное загрязнение окружающей среды выбросами и отходами промышленных предприятий, выхлопами автомобилей и излучениями различных видов [1, 2]. Большой вклад в решение экологических проблем вносят газоны, поэтому их создание становится одним из приоритетных направлений озеленения территорий [3].

Газон – травянистый фитоценоз, произрастающий на однородном участке и образующий дерновое по-

крытие, которое создают путем посева и выращивания дернообразующих трав для использования в декоративных, спортивных, почвозащитных и других целях [4, 5, 6]. При этом одной из проблем в нашей стране остается слабая работа по созданию специализированных сортов трав газонного направления [7]. В связи с изложенным при закладке газона важное внимание необходимо уделить подбору трав. Так, если доля холодоустойчивых злаков (мятлик луговой, овсяница

красная) в травостое газона менее 50...70 %, то он плохо зимует, отрастание весной задерживается, сильнее распространяются сорняки и устойчивость к нагрузкам резко снижается. Хороший травостой образуют смеси из 50...60 % корневищных и 40...50 % рыхлокустовых видов [8]. Обычно в травосмесях используют 2...3 вида растений с одинаковым строением и окраской листьев, но различные по скорости роста, то есть включают как быстрорастущие, но не долговечные, так и медленно растущие, долговечные травы. Первые способны обеспечить озеленение участка в короткие сроки и противостоять росту сорняков. Вторые за это время успевают окрепнуть, а затем формируют высокодекоративный, долговечный, устойчивый газонный агрофитоценоз [9].

После скашивания лучшими темпами отрастания обладают травы с редким размещением узлов кушения в нижней части стебля. Злаки с густым их расположением дают слабый рост в высоту, но хорошо кустантятся. К ним относят мятлик луговой, овсяницу красную, полевицу побегообразующую [10].

Основные факторы, негативно воздействующие на газоны, – наличие некультивируемых (сорных) растений, численность которых с возрастом увеличивается. Сорные растения опасны тем, что отнимают у культурных видов питание, свет, снижают их иммунитет и жизнеспособность. Кроме того, их наличие повышает риск заражения болезнями и повреждениями вредителями культурных видов. Надземные и подземные органы сорных злаков вытесняют аналогичные органы газонных трав, что значительно ухудшает качество дернового покрова [11].

Установлено, что в условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации наиболее качественный газон с сомкнуто-диффузным сложением и 100 %-ным проективным покрытием уже в первый год формируется при посеве смеси с участием сортов овсяницы красной, овсяницы луговой, райграса пастбищного, полевицы; смеси овсяницы луговой, райграса пастбищного и полевицы гигантской, а также смеси этих видов с сортами мятлика, овсяницы красной и тимopheевки луговой [12].

В Ставрополе для создания газонных травостоев использовали травы первой и второй групп качества: мятлик луговой, овсяницу красную, райграс пастбищный с подсевами клевера ползучего и более адаптированный засухоустойчивый вид – овсяницу тростниковидную. Большая часть обследованных травостоев получила оценку «удовлетворительный» и «хороший» газон. Практически во всех газонах присутствовали сорные виды, численность которых с возрастом увеличивалась (засоренность – 1...3 балла) [13].

Правильный выбор трав, их соотношение в смеси при создании газона – важное условие формирования долговечного высококачественного покрытия, а поскольку для лесостепи Среднего Поволжья отсутствуют обоснованные рекомендации по подбору смесей, норм высева и применению удобрений для создания качественных газонов, исследования актуальны.

Цель исследования – выявить влияние компонентов и норм их высева, а также уровня минерального питания при формировании газонных смесей на их засоренность и качество по годам пользования травостоем для рекомендации производству наиболее эффективных вариантов.

**Условия, материалы и методы.** Работу проводили в лесостепи Среднего Поволжья (Пензенская обл., р.п. Лунино) на черноземе выщелоченном. Были выполнены две закладки опыта (в 2019 г. и 2020 г.) с изучением травосмесей в течение 3 лет пользования

**Табл. 1. Гидротермический коэффициент (ГТК) периода вегетации клеверо-злаковых газонных смесей**

Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Май – сентябрь
2019 г.	0,6	0,7	0,8	0,7	1,0	0,8
2020 г.	0,8	0,8	0,5	1,3	0,3	0,7
2021 г.	0,4	1,0	0,8	1,0	1,2	0,9
2022 г.	1,4	1,1	1,5	0,0	2,7	1,3
2023 г.	0,3	2,0	0,8	0,4	0,1	0,7
Среднепогодное	1,0	1,0	1,1	0,9	1,3	1,1

(2020–2023 гг.). Исследования осуществляли на опытном поле лаборатории агротехнологий обособленного подразделения Пензенский научно-исследовательский институт сельского хозяйства.

Схема опыта включала следующие варианты: компоненты смеси (фактор А) – клевер ползучий + мятлик луговой, клевер ползучий + райграс пастбищный, клевер ползучий + овсяница луговая; норма высева (% от нормы в чистом виде) в смесях (фактор В) – 70+40 %, 55+55 %, 40+70 %; уровень минерального питания (фактор С) – контроль (без удобрений); P<sub>45</sub> K<sub>45</sub>; N<sub>30</sub> P<sub>45</sub> K<sub>45</sub>. Площадь учетной делянки 1-го порядка – 45 м<sup>2</sup>, 2-го порядка – 15 м<sup>2</sup>, 3-го порядка – 5 м<sup>2</sup>. Повторность 4-кратная.

В исследованиях использовали овсяницу луговую (*Festuca pratensis* Huds.) Пензенская 1, райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.) Веймар (относятся к полужерновым рыхлокустовым злакам), мятлик луговой (*Poa pratensis* L.) Геронимо (корневищный низовой злак) и клевер ползучий (*Trifolium repens* L.) Изумруд.

Норма высева в чистом виде: клевер ползучий – 10 млн всхожих семян на 1 га, мятлик луговой – 40 млн, райграс пастбищный – 10 млн, овсяница луговая – 9 млн всхожих семян на 1 га. Способ посева – рядовой (размещение культур – черезрядное).

В качестве минеральных удобрений использовали аммиачную селитру, хлористый калий и двойной суперфосфат. Фосфорные и калийные удобрения внесли осенью под вспашку (в слой почвы 0...0,3 м) перед закладкой опыта в запас на 3 года пользования, азотные – ежегодно весной под предпосевную культивацию.

Во все годы использования обработки гербицидами делянок не проводили, осуществляли только 4-, 5-кратную стрижку при достижении высоты растений 10...12 см.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднесуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое 6,2...6,3 % (по Тюрину в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213-91), рН<sub>кон.</sub> – 5,4...5,5, высокое содержание легкогидролизуемого азота – 82...91 мг/кг (по Тюрину и Кононовой, ГОСТ 26951-86), повышенное содержание подвижного фосфора и калия (по Чирикову, ГОСТ 26204-91) – соответственно 156...162 и 132...138 мг/кг почвы.

Закладку полевых опытов, учеты, статистическую обработку результатов осуществляли в соответствии с действующими методическими указаниями [14, 15]. Размеры проективного покрытия определяли по методике Л. Г. Раменского [16]. Оценку качества газонов проводили по методике Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К. А. Тимирязева. Продуктивность побегообразования (плотность сложения травостоя) оценивали по 6-балльной шкале, общую декоративность (проективное покрытие) – по 5-балльной шкале, качество газонных покрытий (комплексная оценка газонов) – по 30-балльной шкале [17, 18]. Видовой состав сорняков определяли по методике, предложенной Баздыревым Г. И. [19]. Засоренность

посевов оценивали согласно методике Березовского и Захаренко по трехбалльной шкале [20].

Метеоусловия периодов вегетации многолетних трав в годы проведения исследований (2019–2023 гг.) отличались неравномерным распределением осадков и температур. По гидротермическим условиям 2019–2021 гг., 2023 г. характеризовались как засушливые (ГТК 0,7...0,9), 2022 г. – нормальный по влагообеспеченности (ГТК 1,3) при значительных различиях по месяцам и декадам (табл. 1).

**Результаты и обсуждение.** Решение проблемы сорных растений – одна из важнейших задач при уходе за газонами. Для выбора мер борьбы с сорными растениями необходимо учитывать их видовой и количественный состав. В наших исследованиях на делянках встречались сорняки разных групп – однолетние (яровые ранние, яровые поздние, зимующие, озимые), двулетние и многолетние. Среди яровых ранних в первый год пользования встречались просвирник приземистый (*Malva pusilla* Smith), молочай солнцегляд (*Euphorbia helioscopia* L.), марь белая (*Chenopodium album* L.), ромашка аптечная (*Matricaria chamomilla*), горец птичий (*Polygonum aviculare* L.), мальва лесная (*Malva sylvestris* L.), горчица полевая (*Sinapis arvensis* L.);

во второй год пользования появилась яснотка белая (*Lamium album* L.), овес пустой (*Avena fatua* L.), в третий год пользования отмечали пикульник обыкновенный (*Galeopsis tetrahit* L.). Среди яровых поздних сорняков в первый год пользования присутствовала щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.), во второй и в третий год отмечали щетинник сизый (*Setaria glauca* L.). Из зимующих сорняков в первый год пользования фиксировали мелколепестник канадский (*Erigeron canadensis* L.) и пастушью сумку обыкновенную (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), во второй год пользования к этим видам добавились ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.), на третий год пользования появилась фиалка полевая (*Viola arvensis* L.). Среди озимых сорняков встречался кострец кровельный (*Bromus tectorum* L.), среди двулетних сорняков – смолевка белая (*Silene latifolia* Poir.), сурепица обыкновенная (*Barbarea vulgaris* R. Br.) и донник лекарственный (*Melilotus officinalis* L.). Многолетние сорняки представлены стержнекорневыми, корнеотпрысковыми, корневищными и мочковатокорневыми формами. Из стержнекорневых в первый год пользования были отмечены лапчатка серебристая (*Potentilla argentea* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg.),

**Табл. 2. Количество сорняков (шт/м<sup>2</sup>) в клеверо-злаковых смесях в зависимости от изучаемых факторов по годам пользования (2020–2023 гг.)**

Компоненты смеси (фактор А)	Норма высева культур, % (фактор В)	Уровень минерального питания – (фактор С)	Однолетние сорняки			Многолетние сорняки			Всего			
			1-й г. п.*	2-й г. п.	3-й г. п.	1-й г. п.	2-й г. п.	3-й г. п.	1-й г. п.	2-й г. п.	3-й г. п.	
Клевер ползучий + мятлик луговой	70+40	контроль	0,4	3,2	10,5	2,3	4,2	4,4	2,7	7,4	14,9	
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	2,1	3,7	11,9	2,2	2,0	5,3	4,3	5,7	17,2	
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	2,7	2,3	10,1	1,3	2,8	5,8	4,0	5,1	15,9	
	55+55	контроль	2,4	5,3	14,9	1,6	3,7	3,8	4,0	9,0	18,7	
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	2,8	6,2	13,3	1,6	1,8	5,1	4,4	8,0	18,4	
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	0,9	3,6	14,5	1,8	4,3	4,8	2,7	7,9	19,3	
	40+70	контроль	0,8	4,7	15,4	2,6	2,0	4,0	3,4	6,7	19,4	
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	0,6	4,3	19,0	2,0	2,0	5,1	2,6	6,3	24,1	
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	0,8	3,9	17,7	2,3	3,4	5,8	3,1	7,3	23,5	
	Клевер ползучий + райграс пастбищный	70+40	контроль	0,5	4,3	26,4	2,4	3,1	4,8	2,9	7,4	31,2
			P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	1,4	5,0	17,7	1,1	2,4	5,5	2,5	7,4	23,2
			N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	2,6	4,3	15,2	2,2	2,4	4,0	4,8	6,7	19,2
55+55		контроль	0,8	2,8	25,7	2,1	2,5	4,2	2,9	5,3	29,9	
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	1,6	3,3	22,5	1,6	4,5	3,5	3,2	7,8	26,0	
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	1,0	4,6	22,8	1,7	1,5	3,2	2,7	6,1	26,0	
40+70		контроль	0,8	3,5	25,2	1,6	1,7	5,2	2,4	5,2	30,4	
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	1,5	4,5	24,0	1,3	2,2	3,9	2,8	6,7	27,9	
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	1,8	3,6	22,4	1,6	1,5	3,4	3,4	5,1	25,8	
Клевер ползучий + овсяница луговая		70+40	контроль	1,1	3,7	22,1	2,1	3,9	3,1	3,2	7,6	25,2
			P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	0,7	4,0	16,4	1,6	3,2	4,5	2,3	7,2	20,9
			N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	1,3	5,3	19,3	2,2	2,9	2,6	3,5	8,2	21,9
	55+55	контроль	1,4	3,2	22,3	1,6	1,7	3,3	3,0	4,9	25,6	
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	0,7	5,7	20,4	1,9	2,8	4,3	2,6	8,5	24,7	
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	1,5	6,1	21,8	2,3	2,0	5,2	3,8	8,1	27,0	
	40+70	контроль	0,2	2,0	16,4	2,4	3,0	5,4	2,4	5,0	21,8	
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	0,8	5,5	16,4	1,8	2,7	4,5	2,6	8,2	20,9	
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	0,4	5,8	13,0	3,1	3,4	3,7	3,5	9,2	16,7	
	В среднем по факторам			1,5	4,1	14,1	2,0	2,9	4,9	3,5	7,0	19,0
	Компоненты смеси (фактор А)	клевер + мятлик	клевер + райграс	1,3	4,0	22,4	1,7	2,4	4,2	3,1	6,4	26,6
			клевер + овсяница	0,9	4,6	18,7	2,1	2,8	4,1	3,0	7,4	22,7
Норма высева культур, % (фактор В)			70+40	1,4	4,0	16,6	1,9	3,0	4,4	3,4	7,0	21,1
Норма высева культур, % (фактор В)	55+55	1,5	4,5	19,8	1,8	2,8	4,2	3,3	7,3	24,0		
	40+70	0,8	4,2	18,8	2,1	2,4	4,6	2,9	6,6	23,4		
	Уровень минерального питания (фактор С)	контроль	0,9	3,6	19,9	2,1	2,9	4,2	3,0	6,5	24,1	
P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>		1,4	4,7	18,0	1,7	2,6	4,6	3,0	7,3	22,6		
N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>		1,4	4,4	17,4	2,1	2,7	4,3	3,5	7,1	21,7		
НСР <sub>05</sub> (для факторов А, В, С)			0,09	0,25	0,85	0,12	0,17	0,29	0,21	0,42	1,14	
НСР <sub>05</sub> частных различий			0,21	0,52	1,76	0,26	0,38	0,59	0,45	0,86	2,36	

\*Год пользования.

полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.), тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris* L.); во второй год пользования – щавель курчавый (*Rumex crispus* L.), цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.); в третий год пользования появились полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris* L.), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.) и люцерна изменчивая (*Medicago varia* Martyn.). Среди корнеотпрысковых сорняков в первый год пользования отмечали вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), бодяк полевой (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), льянку обыкновенную (*Linnaria vulgaris* Mill.) и мышиный горошек (*Vicia cracca* L.), во второй год пользования, помимо ранее перечисленных, наблюдали появление осота полевого (*Sonchus arvensis* L.). Из корневищных сорняков в первый год пользования отмечали морковник обыкновенный (*Silaum silaus* L.), во второй год – кипрей узколистный (*Epilobium angustifolium* L. и яснотку белую (*Lamium album* L.), в третий год – тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.). Среди мочковатокорневых сорняков во все годы пользования произрастал подорожник большой (*Plantago major* L.).

В первый год пользования количество однолетних сорняков в смесях клевера ползучего с мятликом луговым в среднем за 3 года составляло 0,4...2,8 шт/м<sup>2</sup>, клевера ползучего с райграсом пастбищным – 0,5...2,6 шт/м<sup>2</sup>, клевера ползучего с овсяницей луговой – 0,2...1,5 шт/м<sup>2</sup> (табл. 2).

Наименьшее количество однолетних сорняков по фактору А (компоненты смеси) отмечено в смеси клевера ползучего с овсяницей луговой, которая отличается интенсивным ростом и развитием в первый год жизни, что позволяет ей успешно конкурировать с однолетними сорными растениями и снизить их количество в травостое. Подавление однолетних сорных растений отмечено при норме высева клевера и злакового компонента 40+70 % (фактор В). В среднем по фактору С внесение минеральных удобрений, наоборот, способствовало увеличению количества однолетних сорных растений. В целом засоренность в первый год пользования по всем вариантам находилась на низком уровне, что объясняется проведением исследований в селекционном севообороте, в котором предпринимаются агротехнические меры для борьбы с многолетними и однолетними сорными видами.

Количество многолетних сорняков в первый год пользования в смесях клевера ползучего с мятликом луговым составляло 1,3...2,6 шт/м<sup>2</sup>, клевера ползучего с райграсом пастбищным – 1,1...2,4 шт/м<sup>2</sup>, клевера ползучего с овсяницей луговой – 1,6...3,1 шт/м<sup>2</sup>. Общее количество сорняков в смесях клевера ползучего с мятликом луговым в первый год пользования находилось на уровне 2,6...4,4 шт/м<sup>2</sup>, клевера ползучего с райграсом пастбищным – 2,4...4,8 шт/м<sup>2</sup>, клевера ползучего с овсяницей луговой – 2,3...3,8 шт/м<sup>2</sup>.

Во второй год пользования количество однолетних сорных видов значительно увеличилось и достигло в смесях клевера ползучего с мятликом луговым 2,3...4,7 шт/м<sup>2</sup>, с райграсом пастбищным – 2,8...5,0 шт/м<sup>2</sup>, с овсяницей луговой – 2,0...6,1 шт/м<sup>2</sup>. Количество многолетних сорняков составляло соответственно 1,8...4,3 шт/м<sup>2</sup>, 1,5...4,5 шт/м<sup>2</sup>, 1,7...3,9 шт/м<sup>2</sup>, общее количество сорняков (однолетних и многолетних) – 5,1...8,9 шт/м<sup>2</sup>, 5,1...7,8 шт/м<sup>2</sup>, 4,9...9,2 шт/м<sup>2</sup>.

Наименьшее количество сорных растений (однолетних и многолетних) по фактору А (компоненты смеси) отмечено в смесях клевера ползучего с райграсом пастбищным (5,1...7,8 шт/м<sup>2</sup>). Это объясняется биоло-

гической особенностью райграса – интенсивным кушением во 2-й год жизни, благодаря чему он успешно конкурирует с сорными растениями в течение всего вегетационного периода. В среднем по фактору В (норма высева) минимальную в опыте численность однолетних сорных видов наблюдали при норме высева 70+40 % (2,3...5,3 шт/м<sup>2</sup>), многолетних сорняков – при норме высева 40+70 % (1,5...3,4 шт/м<sup>2</sup>). В зависимости от уровня минерального питания наименьшее количество однолетних сорных растений отмечено в контроле (без внесения удобрений) – 2,0...5,8 шт/м<sup>2</sup>, многолетних – при внесении  $P_{45}K_{45}$  и  $N_{30}P_{45}K_{45}$  – 1,5...4,5 шт/м<sup>2</sup>.

На третий год пользования численность однолетних сорных видов в посевах смесей возросла в 3...5 раз, что связано с обильным выпадением осадков в мае–июле 2022 г. и июне 2023 г. В результате в варианте со смесью клевера ползучего с мятликом луговым их количество составило 10,1...19,0 шт/м<sup>2</sup>, с райграсом пастбищным – 15,2...26,4 шт/м<sup>2</sup>, с овсяницей луговой – 13,0...22,3 шт/м<sup>2</sup>. Численность многолетних сорняков изменилась незначительно по сравнению с предыдущим годом и составила в фитоценозах смесей клевера ползучего с мятликом луговым 3,8...5,8 шт/м<sup>2</sup>, с райграсом пастбищным – 3,2...5,5 шт/м<sup>2</sup>, с овсяницей луговой – 2,6...5,4 шт/м<sup>2</sup>. Общее количество сорняков в варианте со смесью клевера ползучего с мятликом луговым на третий год пользования составляло 14,8...24,1 шт/м<sup>2</sup>; с райграсом пастбищным – 19,1...31,1 шт/м<sup>2</sup>, с овсяницей луговой – 16,7...21,8 шт/м<sup>2</sup>.

К третьему году пользования наименьшее количество однолетних сорняков в зависимости от компонентов смесей отмечено в варианте с клевером ползучим мятликом луговым – 10,1...19,0 шт/м<sup>2</sup>. Это связано с тем, что мятлик слабо развивается в год посева, а на третий–четвертый год жизни разрастается, достигает полного развития и успешно конкурирует с сорняками. По фактору В (норма высева) низкая засоренность отмечена при норме высева 70+40 % (10,1...26,4 шт/м<sup>2</sup>), что объясняется хорошим развитием клевера ползучего при обилии осадков и успешной его конкуренцией с однолетними сорными видами. В зависимости от уровня минерального питания наименьшее количество однолетних растений отмечено при внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{30}P_{45}K_{45}$  – 10,1...22,8 шт/м<sup>2</sup>, в то время как в варианте с  $P_{45}K_{45}$  численность сорняков достигала 11,9...24,0 шт/м<sup>2</sup>.

Анализ влияния изучаемых факторов на количество многолетних сорных растений на 3-й год пользования газонными смесями позволило установить, что по фактору А (компоненты смеси) оно было достоверно ниже, чем в контроле, на 0,3...1,2 шт/м<sup>2</sup> в смесях клевера ползучего с райграсом пастбищным (3,2...5,5 шт/м<sup>2</sup>) и с овсяницей луговой (2,6...5,2 шт/м<sup>2</sup>). Остальные факторы достоверного влияния на численность многолетних сорных растений не оказали.

Согласно методике Березовского и Захаренко, изучаемые смеси по засоренности в первый год пользования можно оценить в 1 балл (слабозасоренные). В расчете на 1 м<sup>2</sup> встречалось 0,0...2,8 шт. однолетних сорняков, 0,2...0,7 шт. двулетних, 0,2...1,0 шт. корневищных, площадь проективного покрытия сорняков на всех делянках не превышала 5 %. Во второй год пользования засоренность посевов также оценивали на 1 балл и считали слабозасоренными. Численность однолетних сорняков на 1 м<sup>2</sup> посевов смесей составляла 2,0...6,2 шт., двулетних – 0,3...1,2 шт., корневищных – 0,2...0,7 шт., корнеотпрысковых – 1,0...4,8 шт. На третий год пользования посева относили к среднезасоренным (2 балла).

Количество однолетних сорняков на 1 м<sup>2</sup> достигало 10,1...26,4 шт., двулетних – 0,3...1,2 шт., корневищных – 0,3...1,0 шт., корнеотпрысковых – 0,5...8,7 шт.

Большинство клеверо-злаковых травосмесей в первый год пользования имели оценку хорошая (20 баллов) и отличная (25 баллов). Для травосмесей клевер + мятлик с нормами высева компонентов (40+70 %) и (70+40 %) оценки плотности сложения травостоя и проективного покрытия составляли 5 баллов (высокая), комплексная – 25 баллов (отличная). Сложение травостоев в этих вариантах было сомкнуто-диффузным. При норме высева компонентов (55+55 %) комплексная оценка была отличной только при полной дозе удобрений N<sub>30</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>, в контроле она была удовлетворительной (16 баллов), в варианте с дозой P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> – хорошей (20 баллов) (табл. 3).

Среди травосмесей клевер + райграс в первый год пользования отличную комплексную оценку (25 баллов) получила только смесь с нормой высева (40+70 %) при полной дозе удобрений. В остальных вариантах она была хорошей (20 баллов), в контроле – удовлетворительной (15 баллов).

В первый год пользования травосмеси клевер + овсяница с нормой высева компонентов (55+55 %) при внесении всех доз удобрений, а также с нормой высева (40+70 %) в контроле и с применением P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> имели отличную комплексную оценку (25 баллов). Максимальные в опыте показатели отмечены при норме высева (40+70 %) и полной дозе удобрений – плотность сложения травостоя была оценена на 6 баллов, проективное покрытие – на 5 баллов, комплексная оценка составила 30 баллов, что характерно для газона высшего качества. Сложение травостоя было сомкнуто-диффузным.

Во второй год пользования травосмеси клевер + мятлик имели отличную комплексную оценку (30 баллов) при нормах высева компонентов (70+40 %) и (55+55 %) на фоне внесения N<sub>30</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>. При норме высева (70+40 %) в контроле и использовании P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> комплексная оценка была отличной (25 баллов). Тогда как при норме высева компонентов (40+70 %) на всех фонах минерального

питания комплексная оценка была удовлетворительной (16 баллов). Характер сложения этих травостоев – сомкнуто-мозаичный.

В травосмесях клевер + райграс во второй год пользования хорошую комплексную оценку (20 баллов) получили газоны, сформированные при норме высева компонентов (70+40 %) на всех фонах минерального питания. При норме высева (55+55 %) и (40+70 %) аналогичную картину наблюдали только при внесении удобрений; в контроле оценка была удовлетворительной (16 баллов). Отличную комплексную оценку (25 баллов) в вариантах с этими травосмесями отмечали только при норме высева (40+70 %) и максимальной дозе удобрений.

Во второй год пользования в травосмесях клевер + овсяница при всех нормах высева в контроле и при дозе удобрения P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> комплексная оценка газонов была хорошей (20 баллов), при полной дозе – отличной (25 баллов). Плотность сложения травостоя и проективное покрытие в этих вариантах оценивали как высокие (5 баллов), характер сложения травостоев – сомкнуто-диффузный.

Травосмеси клевер + мятлик на третий год пользования во всех вариантах получали максимальную оценку (6 баллов) за плотность сложения травостоя. Проективное покрытие практически во всех вариантах оценивали на 5 баллов, характер сложения травостоев – сомкнуто-диффузный, комплексная оценка газонов преимущественно была равна 30 баллам, что характерно для газонов высшего качества. В этот год указанная травосмесь была лучшей благодаря тому, что мятлик луговой к 3-му году пользования разрастается благодаря корневищам и интенсивно кустится.

У травосмесей клевер + райграс на третий год пользования во всех вариантах плотность сложения травостоя была высокой (5...6 баллов). При норме высева компонентов (70+40 %) и (40+70 %), проективное покрытие оценивали на 4 балла, характер сложения травостоя был сомкнуто-мозаичным, поэтому комплексная оценка газонов была хорошей (20...24 балла).

Табл. 3. Комплексная оценка газонных травосмесей по годам пользования (2020–2023 гг.)

Компоненты смеси (фактор А)	Норма высева культур, % (фактор В)	Уровень минерального питания (фактор С)	Густота травостоя, балл			Проективное покрытие, балл			Комплексная оценка, балл		
			1-й г. п.	2-й г. п.	3-й г. п.	1-й г. п.	2-й г. п.	3-й г. п.	1-й г. п.	2-й г. п.	3-й г. п.
Клевер + мятлик	70+40	контроль	5	4	6	5	5	5	25	20	30
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	4	6	5	5	5	25	20	30
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	5	6	5	5	5	25	25	30
	55+55	контроль	4	4	6	4	4	5	16	16	30
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	4	4	6	5	4	5	20	16	30
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	5	6	5	5	5	25	25	30
	40+70	контроль	5	4	6	5	4	4	25	16	24
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	4	6	5	4	5	25	16	30
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	4	6	5	4	5	25	16	30
Клевер + райграс	70+40	контроль	3	5	5	5	4	4	15	20	20
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	3	5	5	5	4	4	15	20	20
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	4	5	6	5	4	4	20	20	24
	55+55	контроль	4	4	5	5	4	3	20	16	15
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	5	6	4	4	3	20	20	18
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	5	5	5	4	4	25	20	20
	40+70	контроль	3	4	5	5	4	4	15	16	20
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	4	5	5	5	4	4	20	20	20
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	5	5	5	5	4	25	25	20
Клевер + овсяница	70+40	контроль	4	5	4	5	4	4	20	20	16
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	4	5	4	5	4	5	25	20	20
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	5	5	5	5	4	20	25	20
	55+55	контроль	4	5	3	5	4	4	20	20	12
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	4	5	5	5	4	25	20	20
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	5	5	5	5	4	25	25	20
	40+70	контроль	5	4	3	5	5	4	25	20	12
		P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	5	4	4	5	5	4	25	20	16
		N <sub>30</sub> P <sub>45</sub> K <sub>45</sub>	6	5	5	5	5	4	30	25	20

В травосмесях клевер + овсяница в третий год пользования при всех нормах высева в контроле комплексная оценка была удовлетворительной (12...16 баллов). При использовании удобрений во всех дозах происходило увеличение плотности сложения травостоя (до 4...5 баллов), а комплексная оценка повышалась до хорошей (20 баллов).

**Выводы.** По годам пользования газонными смесями различия по количеству однолетних сорных растений составляли от 0,2 до 26,4 шт/м<sup>2</sup> (в 4,7...52,0 раза), многолетних – 1,1...5,8 шт/м<sup>2</sup> (в 1,1...4,4 раза). К третьему году пользования наименьшее количество сорняков отмечено в травосмесях клевера ползучего с мятликом луговым при норме высева 70+40 % – 14,9...17,2 шт/м<sup>2</sup>, что на 28,9...76,7 % ниже, чем в варианте со смесью клевер ползучий с райграсом пастбищным, и на 12,1...57,0 % по сравнению со смесью клевер ползучий с овсяницей луговой.

Для краткосрочного использования (1 год) подходят смеси клевера белого с мятликом луговым с нормами высева (70+40 %) и (40+70 %) или с овсяницей луговой с нормой высева (40+70 %) и внесением минеральных удобрений, при этом качество газона имеет отличную комплексную оценку (25...30 баллов).

Для двухлетнего использования подходит смесь клевер + мятлик, имеющая отличную комплексную оценку (25 баллов) при норме высева компонентов (70+40 %) и (55+55 %) и внесении N<sub>30</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>. Хорошие результаты отмечены для смеси клевер + овсяница при всех нормах высева и дозе удобрений N<sub>30</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> – комплексная оценка отличная (25 баллов).

Для трехлетнего использования оптимальной была смесь клевер + мятлик при нормах высева (70+40 %) и (55+55 %) и внесении минеральных удобрений (P<sub>45</sub>K<sub>45</sub> или N<sub>30</sub>P<sub>45</sub>K<sub>45</sub>), благодаря максимальной плотности сложения травостоя (6 баллов) и высокой оценке проективного покрытия (5 баллов), что обеспечивало отличную комплексную оценку газонов – 30 баллов (газон высшего качества).

Внесение удобрений во всех вариантах обеспечивало увеличение густоты травостоя и проективного покрытия. При увеличении нормы высева мятликового компонента и уменьшении нормы высева клевера ползучего происходило увеличение плотности сложения травостоя и проективного покрытия.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2022-0008). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### Литература.

1. Сайдяшева Г. В., Захаров С. А. Результаты мониторинга содержания тяжелых металлов в почве, растениях и снежном покрове вблизи автомобильных трасс на различном удалении от города Ульяновска // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 17. № 4(68). С. 45–49.

- Сергаченко С. Н., Федорова И. Л., Игнатова Т. Д. Влияние нефтяного загрязнения на активность почвенных ферментов классов оксидоредуктаз и гидролаз // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 3(59). С. 83–88.
- Газоны: устойчивость, долговечность, декоративность: монография / Н. Н. Лазарев, З. М. Уразбахтин, В. В. Соколова и др. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. 163 с.
- Jeremy M., Mason M., Ambrusa A. Urban green-space is associated with reduced psychological stress among adolescents: A Geographic Momentary Assessment (GEMA) analysis of activity space // *Landscape and Urban Planning*. 2018. Vol. 174. P. 1–9. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204618300574> (дата обращения: 19.12.2024). doi: 10.1016/j.landurbplan.2018.02.008.
- To mow or to mow less: Lawn mowing frequency affects bee abundance and diversity in suburban yards / S. B. Lerman, A. R. Contosta, J. Milam, et al. // *Biological Conservation*. 2018. Vol. 221. P. 160–174. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0006320717306201> (дата обращения: 19.12.2024). doi: 10.1016/j.biocon.2018.01.025.
- Зубарев Ю. Н., Субботина Я. В., Вяткина И. П. Формирование и оценка качества газонного покрытия откоса автодороги в Предуралье // *Пермский аграрный вестник*. 2017. № 2(18). С. 17–22.
- Костенко С. И., Седова Е. Г., Думачева Е. В. Селекция кормовых культур – основа устойчивого кормопроизводства на современном этапе развития России // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 4. С. 15–21.
- Зубарев Ю. Н., Субботина Я. В., Вяткин А. В. Эксплуатационная характеристика газонных фитоценозов из злаковых трав отечественной селекции // *Пермский аграрный вестник*. 2017. № 3(19). С. 65–70.
- Зуева Г. А. Биоморфологические особенности овсяницы луговой при использовании в газонной культуре // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2009. № 5. С. 38–44.
- The impacts of different management practices on botanical composition, quality, colour and growth of urban lawns / P. Knot, F. Hrabe, S. Hejduk, et al. // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2017. № 26. P. 178–183. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866716302370> (дата обращения: 19.12.2024). doi: 10.1016/j.ufug.2017.01.011
- Доусон Р. Б. Создание и содержание газона / пер. с англ. Б. Я. Сигалова. М.: Наука, 1957. 296 с.
- Биолого-экологические особенности низовых злаковых трав и их использование при создании газонов / Н. Н. Лазарев, М. А. Гусев, О. В. Кухаренкова и др. // *Кормопроизводство*. 2020. № 1. С. 10–16. doi: 10.25685/KRM.2020.2020.56911.
- Грецушкина-Сухорукова Л. А. Ассортимент газонных трав и состояние газонов в объектах озеленения г. Ставрополя // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2022. № 1. С. 12–26. doi: 10.26897/0021-342X-2022-1-12-26.
- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / под ред. Новоселова Ю. К., Харькова Г. Д., Шеховцова Н. С. и др. М.: ВИК, 1987. 198 с.

16. Раменский Л. Г. *Избранные работы. Проблемы и методы изучения растительного покрова.* Л.: Наука, 1971. 335 с.
17. Кобозев И. В., Латифов Н. Л., Уразбахтин З. М. *Проведение полевых опытов по формированию газонов и оценка их качества.* М.: Изд-во МСХА, 2002. 84 с.
18. Субботина Я. В., Зубарев Ю. Н. *Газоны в Пермском крае.* Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСА», 2010. 87 с.
19. Баздырев Г. И. *Защита сельскохозяйственных культур от сорных растений.* М.: КолосС, 2004. 328 с.
20. *Опытное дело в полеводстве / сост. Никитенко Г. Ф.* М.: Россельхозиздат, 1982. 190 с.

**Поступила в редакцию 11.12.2024**

**После доработки 21.01.2025**

**Принята к публикации 18.02.2025**

**Агрочоведение и агроэкология**

УДК 546.562:576.851.13:582.192:633.11

DOI 10.31857/S2500262725010082 EDN CSNTTQ

**МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ ПРИ ВНЕСЕНИИ РОСТСТИМУЛИРУЮЩИХ РИЗОСФЕРНЫХ БАКТЕРИЙ В ЗАГРЯЗНЕННУЮ МЕДЬЮ ПОЧВУ**

© 2025 г. В. П. Шабаяев, доктор биологических наук, В. Е. Остроумов

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,  
142290, Московская обл., Пушкино, ул. Институтская, 2  
E-mail: vpsh@rambler.ru*

*Исследования проводили с целью изучения влияния внесения ростстимулирующих ризосферных бактерий рода *Pseudomonas* на минеральное питание растений яровой пшеницы при выращивании на искусственно загрязненной медью в повышенной концентрации агросерой почве. Работу выполняли в вегетационном опыте. Растения выращивали до фазы выхода в трубку при загрязнении азотнокислой медью в дозе 300 мг Cu/kg почвы на фоне внесения РК-удобрений. Содержание Cu и биофильных элементов N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn и Zn в вегетативной массе и корнях после сжигания в смеси  $HNO_3$ :  $HClO_4$  (2:1) определяли методом эмиссионно-оптической спектрометрии индуктивно-связанной плазмы, калия – пламенной фотометрии, азота – феноловым методом после сжигания растительного материала в разбавленной серной кислоте с катализатором. Внесение бактерий обеспечивало увеличение устойчивости растений к повышенной концентрации меди и формирование большего количества растительной биомассы, тем самым уменьшая фитотоксичность тяжелого металла. Положительное действие бактерий было обусловлено улучшением минерального питания растений и увеличением поглощения ими биофильных элементов из загрязненной почвы. При этом бактерии в целом не влияли на содержание практически всех элементов в вегетативной массе растений и увеличивали поглощение элементов растениями вследствие стимуляции их роста, вероятно, обусловленного образованием бактериями физиологически активных соединений. Стимуляция роста загрязненных тяжелым металлом растений и увеличение его поглощения при использовании бактерий происходили без изменений реакции почвенной среды. Улучшение минерального питания растений, наряду с усилением барьерной способности корневой системы к увеличению поглощения тяжелого металла корнями, при использовании всех бактерий служит основным механизмом стимуляции роста загрязненных растений.*

**MINERAL NUTRITION OF PLANTS IN APPLYING GROWTH-PROMOTING RHIZOSPHERE BACTERIA IN COPPER-CONTAMINATED SOIL**

V. P. Shabayev, V. E. Ostroumov

*Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science,  
Russian Academy of Sciences,  
142290, Moskovskaya obl., Pushchino, ul. Institutskaya, 2  
E-mail: vpsh@rambler.ru*

*Impact of growth-promoting rhizobacteria of genus *Pseudomonas* application on mineral nutrition of spring wheat in growing on artificially Cu-contaminated in elevated concentration agrogray soil were studied in pot experiment. Plants were grown up to shooting stage with copper nitrate contamination at a rate of 300 mg Cu/kg of soil against background of PK fertilization. Content of Cu and other elements in shoots and roots after combustion in mixture of  $HNO_3$ :  $HClO_4$  (2:1) was determined by inductively coupled plasma emission-optical spectrometry, potassium by flame photometry. N content was determined by indophenol technique after combustion of plant material in dilute sulfuric acid with catalyst. Bacteria application increased plant resistance to elevated copper concentration and increased plant weight, thereby reducing phytotoxicity of heavy metal. Positive effect of bacteria was due to improvement in mineral nutrition of plants – increase in uptake of biophilic elements N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn and Zn from contaminated soil. At the same time, bacteria as a whole did not affect content of almost all elements in plant shoots and increased uptake of elements by plants due to the promotion of their growth, probably as a result of production of physiologically active compounds by bacteria. Growth promotion of heavy metal-contaminated plants and elevated its uptake by plants in application of bacteria occurred without changes in soil medium reaction. Improving mineral nutrition of plants, along with increasing barrier ability of root system to increase of heavy metal uptake by roots in application of all bacteria, are main mechanisms for growth promoting contaminated plants.*

**Ключевые слова:** *Pseudomonas*, яровая пшеница (*Triticum aestivum*, L.), агросерая почва, медь азотнокислая, химический состав растений.

**Keywords:** *Pseudomonas*, spring wheat (*Triticum aestivum*, L.), agro-gray soil, copper nitrate, chemical composition of plants.

Продолжающаяся индустриализация, интенсивное ведение сельского хозяйства и другая антропогенная деятельность приводят к загрязнению окружающей среды, включая почвы, тяжелыми металлами (ТМ). Поэтому ремедиация почв, загрязненных медью (Cu), приобретает особо важное значение. В повышенных концентрациях Cu вызывает физиологические и биохимические нарушения в растениях и замедляет их рост [1]. Для ремедиации загрязненных ТМ почв и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур исследуют стимулирующие рост растений ризосферные бактерии (plant growth-

promoting rhizobacteria – PGPR) [2]. Они преобразуют металлы в растворимые и биодоступные формы под действием сидерофоров, органических кислот, других соединений и окислительно-восстановительных процессов [3, 4]. PGPR обладают свойствами, стимулирующими рост растений, включая солубилизацию фосфора, фиксацию азота, синтез фитогормонов и другие процессы, которые улучшают рост и увеличивают биомассу растений, в свою очередь, способствуя фиторемедиации [3]. Использование стимулирующих рост растений бактерий, устойчивых к ТМ, значительно улучшает этот процесс [5].

Представители бактерий рода *Pseudomonas* привлекают особое внимание при ремедиации загрязненных ТМ почв благодаря широкой распространенности и присутствию им ряда полезных для растений свойств [6]. Известно, что *Pseudomonas* обладают устойчивостью к ТМ и характеризуются высоким биоремедиационным потенциалом, в том числе в ассоциациях с различными видами растений [7]. Установлено значительное улучшение ростовых параметров подсолнечника и рапса и увеличение потребления Си после использования соответственно ростстимулирующих ризосферных бактерий *P. lurida* штамм ЕОО26 [8] и *P. thivervalensis* [9] на загрязненной ТМ почве. Стимулирующее рост растений поглощение основных питательных элементов (Fe, P, K), опосредованное бактериями *Pseudomonas*, направлено на противодействие стрессам вследствие увеличения подвижности в почве и биодоступности макро- и микроэлементов [10]. Избыточное содержание ТМ, оказывая негативное влияние на основные физиолого-биохимические процессы в растениях, может приводить к нарушению поступления в них биофильных элементов [10]. Загрязненные ТМ почвы обычно бедны питательными элементами в доступной форме, эту проблему можно решить путем внесения полезных микроорганизмов [11].

Цель исследований – изучение влияния внесения ростстимулирующих ризосферных бактерий рода *Pseudomonas* на минеральное питание растений яровой пшеницы при выращивании на искусственно загрязненной медью в повышенной концентрации агросерой почве для разработки технологий биологической ремедиации.

**Методика.** Работу выполняли при искусственном загрязнении  $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$  среднесуглинистой агросерой почвы, слой 0...20 см, и выращивании яровой пшеницы (*T. aestivum* L.) сорта Злата (ФИЦ «Немчиновка») до фазы трубкования в течение 27 дней в вегетационном опыте. Азотнокислую медь вносили в почву из расчета 300 мг Си/кг, что более чем в 2 раза превышает ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК) для аналогичных почв [12]. Использование меди в этой концентрации приводило к ингибированию роста растений в предшествующем рекогносцировочном вегетационном эксперименте.

Растения во всех вариантах выращивали на фоне внесения РК-удобрений в виде однозамещенного фосфорнокислого калия и сернокислого калия по 106 мг РК/сосуд. Изучали влияние внесения ростстимулирующих бактерий *P. fluorescens* 20, *P. fluorescens* 21 и *P. putida* 23 [13] (из расчета  $10^8$  клеток на растение) на массу растений, содержание и накопление биофильных элементов N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn и Zn в вегетативных органах и корневой системе. Согласно схеме эксперимента, в контрольном варианте Си и бактерии не использовали, во втором – вносили Си без бактерий, в остальных трех вариантах – на фоне загрязнения почвы Си проводили инокуляцию семян каждой бактерией. В контроле вместо  $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$  применяли азот в виде  $NH_4NO_3$ , в дозе 106 мг/сосуд, которая была внесена в вариантах с загрязнением ТМ для выравнивания дозы азота. Повторность опыта – 4-кратная.

Содержание зольных элементов (кроме калия) определяли методом эмиссионно-оптической спектроскопии индуктивно-связанной плазмы на спектрометре ICP-OES 5110 (Agilent, США), калия – на планетном фотометре ВВВХР (ВВВ, Великобритания), азота – феноловым методом. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа.

**Результаты и обсуждение.** Загрязнение почвы Си без внесения бактерий приводило к существенным изменениям содержания большинства питательных элементов в вегетативной массе относительно контрольного варианта (табл. 1). Это свидетельствует о влиянии повышенной концентрации Си на метаболические процессы в растениях и нарушении механизмов поглощения ими элементов. При этом значимо уменьшилось содержание N, P и Zn и, напротив, увеличилось K и Ca. В корнях загрязненных растений без инокуляции семян бактериями эти закономерности сохранялись, кроме уменьшения под влиянием бактерий в корнях содержания K, в отличие от вегетативной массы. При загрязнении почвы, вне зависимости от применения бактерий, уменьшилось содержание фосфора в вегетативной массе и корнях. Проявление антагонизма меди и фосфора в растениях, вероятно, связано со свойством избыточных концентраций Си ингибировать активность фермента фосфатазы, определяющего доступность фосфора растениям [14].

Использование всех бактерий при загрязнении почвы Си не оказывало достоверного влияния на содержание в вегетативных органах практически всех изученных элементов. В вегетативной массе и корнях отмечено только увеличение содержания K. Кроме того, в корнях наблюдали тенденцию к росту концентрации Fe и остальных микроэлементов.

При загрязнении почвы Си без использования бактерий, в сравнении с контролем, существенно уменьшалось усвоение или вынос практически всех исследованных элементов из почвы вегетативной массой и корнями (табл. 2). Усвоение Ca растениями, в отличие от других элементов, в условиях Си-стресса без применения бактерий не изменилось. Для K величина этого показателя также не была подвергнута значимым изменениям в вегетативной массе, исключение составило его более чем двукратное уменьшение в корнях. Применение бактерий в загрязненных условиях значительно увеличивало усвоение всех питательных элементов как вегетативной массой, так и корнями растений. В корнях накапливалось на порядок больше Fe, чем в надземной биомассе, что, вероятно, обусловлено биологическими особенностями яровой пшеницы.

Известно о значительном ингибировании роста яровой пшеницы в фазе выхода в трубку при загрязнении почвы Си, что проявлялось в уменьшении на 24 % массы вегетативных органов, а корней в еще большей степени – на 33 %. Применение бактерий уменьшало токсическое

**Табл. 1. Содержание биофильных элементов в вегетативной массе и корнях пшеницы в зависимости от загрязнения почвы медью и инокуляции семян бактериями**

Вариант	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
	%						мг/кг	
вегетативная масса								
Без Си и внесения бактерий (контроль)	4,21	0,51	3,76	0,92	0,27	113	54	33
Си без внесения бактерий	3,90	0,40	4,49	1,23	0,26	106	57	26
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	3,99	0,40	4,94	1,19	0,27	112	57	25
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	4,21	0,42	4,99	1,24	0,28	110	58	28
Cu + <i>P. putida</i> 23	4,01	0,38	4,83	1,18	0,27	105	54	25
HCP <sub>05</sub>	0,30	0,08	0,30	0,25	0,02	5	5	4
корни								
Без Си и внесения бактерий (контроль)	2,74	0,46	1,74	1,10	0,51	0,58	187	89
Си без внесения бактерий	2,20	0,35	1,19	1,56	0,55	0,50	176	70
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	2,14	0,36	1,33	1,63	0,62	0,60	201	75
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	2,30	0,39	1,51	1,37	0,58	0,55	195	72
Cu + <i>P. putida</i> 23	2,25	0,38	1,35	1,47	0,50	0,57	189	77
HCP <sub>05</sub>	0,40	0,07	0,13	0,19	0,03	0,10	25	13

**Табл. 2. Поглощение биофильных элементов вегетативной массой и корнями пшеницы в зависимости от загрязнения почвы медью и инокуляции семян бактериями**

Вариант	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn
	мг/сосуд				мкг/сосуд			
вегетативная масса								
Без Cu и внесения бактерий (контроль)	112	14	100	24	715	300	143	88
Cu без внесения бактерий	78	8	90	25	522	213	115	52
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	93	9	115	28	626	260	132	58
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	96	10	114	28	638	251	132	64
Cu + <i>P. putida</i> 23	94	9	113	28	629	245	126	58
HCP <sub>05</sub>	12	1	20	3	89	30	10	6
корни								
Без Cu и внесения бактерий (контроль)	17	3	11	7	311	3580	114	54
Cu без внесения бактерий	9	1	5	6	226	2050	72	29
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	11	2	7	8	310	3000	101	38
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	11	2	7	7	284	2695	96	35
Cu + <i>P. putida</i> 23	12	2	7	8	255	2907	96	39
HCP <sub>05</sub>	2	1	1	1	25	512	17	7

действие ТМ на растения, увеличивая их вегетативную массу на 13...16 %, еще больше увеличивалась масса корней (на 20...24 %) [15].

При загрязнении почвы Cu в вариантах с внесением бактерий после удаления растений в фазе трубкования не установлено значимых изменений реакции почвенной среды (табл. 3), которая, как известно, оказывает значительное влияние на подвижность в почве и биодоступность химических элементов, по сравнению с контролем. Загрязнение почвы Cu без бактериальных инокуляций также не оказывало значимого влияния на величину этого показателя.

**Табл. 3. Реакция почвенной среды в фазе трубкования пшеницы в зависимости от загрязнения почвы медью и инокуляции семян бактериями**

Вариант	pH <sub>KCl</sub> почвенной суспензии
Без Cu и внесения бактерий (контроль)	6,17
Cu без внесения бактерий	6,19
Cu + <i>P. fluorescens</i> 20	6,17
Cu + <i>P. fluorescens</i> 21	6,14
Cu + <i>P. putida</i> 23	6,20
исходная почва	6,14
HCP <sub>05</sub>	0,40

Уменьшение токсического действия Cu и рост биомассы инокулированных бактериями растений связаны с увеличением поглощения питательных элементов из загрязненной почвы, то есть с улучшением их минерального питания. Это происходило без существенных изменений содержания практически всех элементов в вегетативной массе и корнях вследствие увеличения массы растений. В корнях содержалось и накапливалось примерно на порядок больше Fe, чем в вегетативной массе, что, вероятно, обусловлено биологическими особенностями яровой пшеницы.

Положительное действие бактерий, с одной стороны, обусловлено улучшением минерального питания растений при инокуляции, с другой – усилением барьерной способности корневой системы по отношению к поглощению ТМ [15]. То есть увеличение усвоения питательных элементов растительной биомассой из загрязненной почвы при внесении всех бактерий происходило не посредством повышения содержания элементов в вегетативной массе и корнях, а вследствие стимуляции роста растений.

Бактерии также не оказывали влияния на содержание меди в вегетативной массе [15]. Напротив, их использование способствовало увеличению концентрации и в особенности поглощению меди корнями

на 32...39 %, тем самым усиливая барьерную способность корневой системы по отношению к элементу, не влияя на величину этого показателя в вегетативных органах. Об этом также свидетельствует рост доли элемента в корнях в загрязненных условиях до 85...87 %, по сравнению с 23 % в контрольном варианте [15].

Известно, что при стимуляции роста растений вследствие биологического разведения, как правило, происходит уменьшение концентраций элементов-загрязнителей в растительной биомассе [16]. В наших исследованиях, в противоположность этому, при внесении всех бактерий на фоне загрязнения почвы Cu, несмотря на повышение массы растений, не установлено существенных изменений по содержанию изученных элементов в вегетативных органах и корнях. Уменьшение негативного влияния ТМ на растения и увеличение растительной биомассы под влиянием бактерий рода *Pseudomonas* без изменения концентрации большинства элементов в вегетативных органах и корнях обусловлено стимуляцией ростовых процессов вследствие продуцирования бактериями физиологически активных веществ – фитогормонов и других соединений [3].

Увеличение поглощения питательных элементов вегетативной массой растений под влиянием бактерий в наших исследованиях без существенных изменений реакции почвенной среды, вероятно, обусловлено повышением подвижности в почве и биодоступности элементов вследствие продуцирования бактериями органических экзометаболитов – сидерофоров, свойственных флуоресцирующим видам *Pseudomonas*, и другой их метаболической активности [17].

**Выводы.** Внесение ростстимулирующих ризосферных бактерий *P. fluorescens* 20, *P. fluorescens* 21 и *P. putida* 23 в искусственно загрязненную медью в форме нитрата агросерую почву в повышенном количестве значительно ослабляло токсическое действие ТМ и стимулировало рост растений в фазе трубкования. Положительный эффект был обусловлен улучшением минерального питания растений – повышенным поглощением вегетативной массой и корнями биофильных элементов N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn из загрязненной почвы наряду с усилением барьерной способности корней вследствие увеличения накопления в них меди. Накопление питательных элементов в растительной биомассе при применении бактерий возросло в основном вследствие стимуляции роста и повышения массы растений, без существенных изменений содержания в вегетативной массе практически всех изученных элементов. Стимуляция роста растений при использовании бактерий происходила без изменений реакции почвенной среды.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета в рамках государственных заданий Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН 121041500050-3 (60 % затрат), 121040500038-3 (40 % затрат).

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### БЛАГОДАРНОСТИ.

Авторы выражают благодарность доктору сельскохозяйственных наук Н. В. Давыдовой (ФИЦ «Немчиновка») за предоставление высококачественных семян для проведения опыта.

**Литература.**

1. *Copper toxicity in plants: Nutritional, physiological and biochemical aspects* / F. J. R. Cruz, R. L. da Cruz Ferreira, S. S. Conceicao, et al. // *Advances in Plant Mechanisms*. Ed. J. N. Kimatu. 2022. 370 p. URL: <http://www.doi: 10.5772/105212/intechopen> (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.5772/105212/intechopen.
2. *Recent progress on emerging technologies for trace elements-contaminated soil remediation. Review* / T. El. Rasafi, A. Haouas, A. Tallou, et al. // *Chemosphere*. 2023. Vol. 341. 140121. URL: [ubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37690564](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37690564) (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.140121.
3. *Phytoremediation of heavy metals assisted by plant growth promoting (PGP) bacteria: A review* / A. Ullah, S. Heng, M. F. H. Munis, et al. // *Environmental and Experimental Botany*. 2015. Vol. 117. P. 28–40. doi: 10.1016/j.envexpbot.2015.05.001.
4. *Mishra J., Singh R., Arora N. K. Alleviation of heavy metal stress in plants and remediation of soil by rhizosphere microorganisms. Mini review article. Sec. Microbial Symbioses* // *Frontiers in Microbiology*. 2017. Vol. 8. URL: [www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28932218](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28932218) (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.3389/fmicb.2017.01706.
5. *Phytoremediation technologies and their mechanism for removal of heavy metal from contaminated soil: An approach for a sustainable environment. Review article* / J. K. Sharma, N. Kumar, N. P. Singh, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. P. 1–13. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1076876/full> (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.3389/fpls.2023.1076876.
6. *Dorjey S., Dolkar D., Sharma R. Plant growth promoting rhizobacteria Pseudomonas* // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. Vol. 7. P. 1335–1344. doi: 10.20546/ijcmas.2017.607.160.
7. *Recent developments in microbe-plant-based bioremediation for tackling heavy metal-polluted soils: Review Article* / L. Saha, J. Tiwari, K. Bauddh, et al. // *Frontiers in Microbiology*. 2021. 12. 723. URL: [www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2021.731723/full](https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2021.731723/full) (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.3389/fmicb.2021.731723.
8. *Bioaugmentation with copper tolerant endophyte Pseudomonas lurida strain EOO26 for improved plant growth and copper phytoremediation by Helianthus annuus* / A. Kumar, Tripti, O. Voropaeva, et al. // *Chemosphere*. 2021. Vol. 266. 128983. URL: [www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520331805](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520331805) (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128983.
9. *Effects of plant growth-promoting bacteria (PGPB) inoculation on the growth, antioxidant activity, Cu uptake, and bacterial community structure of rape (Brassica napus L.) grown in Cu-contaminated agricultural soil* / X. M. Ren, S. J. Guo, W. Tian, et al. // *Frontiers in Microbiology*. 2019. Vol. 10. P. 1–12. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.01455/full> (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.3389/fmicb.2019.01455.
10. *Patnaik S., Mohapatra B., Gupta A. Plant growth-promoting microbe mediated uptake of essential nutrients (Fe, P, K) for crop stress management: microbe–soil–plant continuum. Review article* // *Frontiers in Agronomy*. 2021. Vol. 3. P. 1–20. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/agronomy/articles/10.3389/fagro.2021.689972/full> (дата обращения: 17.04.2023). doi: 10.3389/fagro.2021.689972.
11. *Tak H. I., Ahmad F., Babalola O. O. Advances in the application of plant growth- promoting rhizobacteria in phytoremediation of heavy metals. Review* // *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2013. Vol. 223. P. 33–52. doi: 10.1007/978-1-4614-5577-6-2.
12. ГН 2.1.7.2042-06. Гигиенические нормативы. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 11 с.
13. *Шабает В. П. Микробиологическая азотфиксация и рост растений при внесении ризосферных микроорганизмов и минеральных удобрений* // *Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв*. М.: Наука, 2006. С. 195–211.
14. *Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants*. CRS Press. 2010. 548 p. doi: 10.1201/b10158.
15. *Шабает В. П., Волокитин М. П., Остроумов В. Е. Фракционный состав соединений меди в загрязненной металлом почве и его накопление в растениях при внесении ростстимулирующих ризосферных бактерий* // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024. № 3. С. 62–65. doi: 10.31857/S2500262724030121.
16. *Алексеев Ю. В. Качество растениеводческой продукции*. Л.: Колос. 1978. 256 с.
17. *Сидорова Т. М., Аллахвердян В. В, Асатурова А. М. Роль бактерий рода Pseudomonas и их метаболитов в биоконтроле фитопатогенных микроорганизмов* // *Агрохимия*. 2023. № 5. С. 83–93. doi: 10.31857/S0002188123050071.

**Поступила в редакцию 10.08.2024**  
**После доработки 03.02.2025**  
**Принята к публикации 25.02.2025**

## Зоотехния и ветеринария

УДК 636.5.034

DOI 10.31857/S2500262725010091 EDN CSPMML

## ВЛИЯНИЕ ФИТОБИОТИЧЕСКИХ И ПРОБИОТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, А ТАКЖЕ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН И ЭНТЕРОСОРБЕНТА НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ И СОСТАВ КИШЕЧНОГО МИКРОБИОМА КУР-НЕСУШЕК

© 2025 г. Д. А. Силин, С. В. Лебедев, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, И. А. Вершинина, кандидат биологических наук, Т. В. Казакова, О. В. Маршинская

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, Оренбургская обл., Оренбург, 9 Января, 29  
E-mail: dasilin@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки влияния фитобиотических и пробиотических веществ, а также пищевых волокон и энтеросорбентов на продуктивные характеристики, биохимические параметры крови, минеральный баланс и микробиоту кишечника кур-несушек для разработки мероприятий по оптимизации минерального питания при включении в рацион биоактивных веществ. Работу выполняли на курах кросса Хайсекс Браун в возрасте от 90 до 210 дней, который соответствует фазе активного формирования репродуктивной системы и накопления ключевых микроэлементов в организме. Включение различных биологически активных веществ оказывало специфическое влияние на выведение из организма определенных минералов и баланс бактериальных сообществ, что в конечном итоге повлияло на общую продуктивность птицы и эффективность использования кормов. При использовании фитогеника Дигестарома отмечено увеличение показателей яйценоскости на 7,78 % ( $p \leq 0,05$ ), что связано с активацией метаболизма углеводов и белков, а также с изменениями в составе кишечной микрофлоры. В слепой кишке птиц группы, получавшей энтеросорбент Цамакс, отмечено снижение численности бактерий родов *Bifidobacterium*, *Faecalibacterium* и *Lactobacillus*, тогда как число целлюлозолитиков увеличилось, коррелируя с уровнем К, Cr и Mn. Применение пробиотика Ветома привело к снижению численности тех же семейств, что было связано с усвоением Cr, Se и Co. Пищевые волокна препарата Арбоцел стимулировали рост бактерий *Pseudomonadota* и уменьшали численность *Bacillota*; количество микроорганизмов семейства *Oscillospiraceae* коррелировало с уровнями I, Fe и P. Применение Дигестарома сопровождалось снижением численности *Lactobacillaceae* (на 13,7 %) и увеличением – *Oscillospiraceae* (на 19,7 %), *Clostridiaceae* (на 61,2 %), *Lachnospiraceae* (на 39,2 %), количество которых было связано с содержанием Mg и K.

## EFFECT OF BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS ON FUNCTIONAL PARAMETERS AND INTESTINAL MICROBIOME STRUCTURE OF LAYING HENS

D. A. Silin, S. V. Lebedev, I. A. Verшинina, T. V. Kazakova, O. V. Marshinskaya

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 460000, Orenburgskaya obl., Orenburg, 9 Yanvaryaya, 29  
E-mail: dasilin@mail.ru

Studies were conducted to evaluate the effect of phytobiotic and probiotic substances, as well as dietary fibers and enterosorbents on productive characteristics, blood biochemical parameters, mineral balance and intestinal microbiota of laying hens in order to develop measures to optimize mineral nutrition with the inclusion of bioactive substances in the diet. The work was carried out on hens of cross Hisex Brown at the age from 90 to 210 days, which corresponds to the phase of active formation of reproductive system and accumulation of key trace elements in the body. The inclusion of various biologically active substances had a specific effect on the excretion of certain minerals from the body and the balance of bacterial communities, which ultimately affected the overall productivity of poultry and the efficiency of feed utilization. The use of phytogenic Digestarom showed an increase in egg production by 7.78 % ( $p \leq 0.05$ ), which is associated with the activation of carbohydrate and protein metabolism, as well as changes in the composition of intestinal microflora. In the blind intestine of birds of the group receiving the enterosorbent Tsamax, there was a decrease in the number of bacteria of the genus *Bifidobacterium*, *Faecalibacterium* and *Lactobacillus*, while the number of cellulolytics increased, correlating with the level of K, Cr and Mn. Application of the probiotic Vetom resulted in a decrease in the same families, which was correlated with the assimilation of Cr, Se and Co. The dietary fiber supplement Arbocel stimulated the growth of *Pseudomonadota* bacteria and decreased the amount of *Bacillota*; the number of microorganisms of the *Oscillospiraceae* family correlated with the levels of I, Fe and P. Digestarom use induced a decrease in *Lactobacillaceae* (by 13.7 %) and an increase in *Oscillospiraceae* (by 19.7 %), *Clostridiaceae* (by 61.2 %), *Lachnospiraceae* (by 39.2 %), related to Mg and K levels.

**Ключевые слова:** куры-несушки, кормление, энтеросорбент, пробиотик, целлюлоза, фитогенетик, яичная продуктивность, конверсия корма, интегральный коэффициент элементов, коэффициент обменного потенциала, пул элементов, микробиом, корреляция.

**Keywords:** laying hens, feeding, enterosorbent, probiotic, cellulose, phytogenetic, egg production, feed conversion, integral coefficient of elements, coefficient of metabolic potential, element pool, microbiome, correlation.

Совершенствование отрасли птицеводства направлено на разработку и реализацию стратегии повышения продуктивности яичных кур, сохранности, снижения себестоимости и безопасности производимых продуктов, что достигается путем обеспечения организма комплексом активных веществ, повышающих имму-

нитет и продуктивные показатели. Увеличение риска развития устойчивости патогенных микроорганизмов к антибиотикам привело к постепенному отказу от их использования в лечебных и профилактических целях при разведении сельскохозяйственных животных [1]. Это вызвало рост числа исследований, ориентированных

на разработку эффективных методов контроля заболеваний и создание пищевых ингредиентов, направленных на улучшение здоровья и продуктивности животных. В птицеводстве используют широкий спектр препаратов, основанных на фитокомпонентах (эфирные масла, органические кислоты и др.), пробиотики и пребиотики [2, 3], альдегиды [4], бактериофаги [5], микроэлементы [6], экзогенные ферменты [7] и энтеросорбенты [8].

Энтеросорбенты обладают способностью к связыванию токсических веществ, переносу физиологически активных веществ, таких как ферменты и др., избирательному поглощению аминокислот, структуризации кишечного микробиома, хелатированию и видоизменению химического состава химуса, что неблагоприятно влияет на патогенную микрофлору [8, 9]. Фитогенные кормовые добавки благотворно влияют на здоровье и функционирование кишечника благодаря наличию таких биоактивных соединений, как полифенолы, с противомикробными, антиоксидантными, иммуномодуляционными и противовоспалительными свойствами [10, 11, 12]. Пробиотики улучшают здоровье кишечника, повышают стабильность кишечной флоры и подавляют колонизацию патогенов [13, 14], стимулируют яйценоскость [15], оказывают положительное влияние на качество скорлупы [16] путем воздействия на колонизацию симбиотических бактерий [17], количество бокаловидных клеток кишечника [18] и стимулирования кишечного Т-клеточного иммунитета [19, 20]. С физиологической точки зрения пищевые волокна содержат полисахариды и лигнин, которые не перевариваются эндогенными ферментами в пищеварительном тракте, поэтому, достигая задней части кишечника, они оказывают положительное воздействие на конверсию корма, снижают его общее потребление, улучшают кишечное пищеварение и общее влияние на рост и развитие организма [21, 22].

Перечисленные биологически активные соединения относятся к различным группам фармакологических средств с разным действием, но все они имеют непосредственное влияние на кишечник, а в частности, на микробиальный профиль.

Цель исследований – определить влияние включения в рацион различных биологических активных добавок на зоотехнические показатели, показатели крови, элементный статус и метагеном кишечника, а также установить взаимосвязь элементного статуса и микробиального содержимого кишечника кур-несушек в период активного формирования репродуктивной системы и накопления ключевых микроэлементов в организме для разработки мероприятий по оптимизации минерального питания при включении в рацион биоактивных веществ.

Методика. Объект исследования – куры-несушки (n=30) кросса Хайсекс Браун возраста 90...210 суток (ЗАО «Птицефабрика Оренбургская»). Работу проводили на базе лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук». Эксперимент длительностью 120 дней был разделен на 2 этапа – подготовительный (90...110 суток) и учетный (110...210 суток). Птицу содержали в типовых клетках БН-1 для кур-несушек производства «Стимул-Инк» (Россия, Московская обл., г. Пушкино). Кормление и поение осуществляли групповым методом согласно рекомендациям ВНИТИП (2013). Микроклимат в помещении соответствовал требованиям ОНТП-4-88.

По окончании подготовительного периода было сформировано 5 групп. Птица контрольной группы

получала основной рацион (ПК-1). В корм I группы добавляли 50 г/кг корма энтеросорбент Цамакс (производство ООО «Цамакс»), II группы – 1,5 г/кг корма пробиотик Ветом (производство ООО «Ветом»), III группы – 1 г/кг корма целлюлозы Арбоцел (производство J. RETTENMAIER & SÖHNE GMBH + CO. KG), IV группы – 1 г/кг корма фитогеник Дигестаром (производство Biomin).

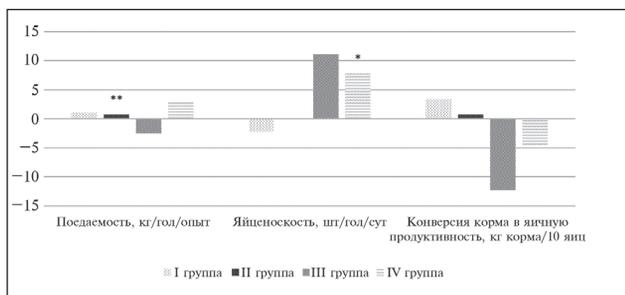
В состав препарата Цамакс входят цеолит и серо-содержащие компоненты, которые способствуют нормализации минерального обмена, а также улучшению работы желудочно-кишечного тракта. Ветом включает в свой состав бактерии *Vacillus subtilis*, которые, размножаясь преимущественно в толстом отделе кишечника, выделяют протеолитические, амилитические, целлюлозолитические ферменты; стимулируют иммунную систему и снижают число патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. Арбоцел – это концентрат лигноцеллюлозы, волокна которого в незначительной степени перевариваются в толстом кишечнике и существенно влияют на микробиоценоз, а также процессы переваривания, усвоения и эвакуации корма. Фитогеник Дигестаром увеличивает устойчивость животного к воздействию иммунных стрессовых факторов и стимулирует рост полезной микробиоты кишечника, благодаря чему высвобождается больше энергии на рост и включает в свой состав анетол, карвакрол и лимонен.

Учет поедаемости кормов и яичной продуктивности осуществляли ежедневно. Биосубстраты изучали в Испытательном центре (<http://цкп-бст.рф>), ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»: кровь для анализа отбирали у каждой птицы (150 проб) из подкрыльцовой вены утром перед кормлением в возрасте 210 суток. Морфологические показатели крови определяли на гематологическом анализаторе URIT-2900 Vet Plus (URIT Medial Electronic Co., Китай), биохимический анализ крови проводили на анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием наборов ДиаВетТест (Россия) и Randox Laboratories Limited (Великобритания). Концентрацию содержания химических элементов в крови и помете определяли методами атомно-эмиссионной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Optima 2000 V, Perkin Elmer, США), а также масс-спектрометрии (Elan 9000, Perkin Elmer, США).

На 150-е и 210-е сутки отбирали образцы полостного содержимого слепого кишечника кур-несушек в 50 стерильных микропробирок типа «эппендорф» (Nuova Aptaca S. R.L., Италия). Для исследования использовали оборудование Центра коллективного пользования научным оборудованием «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН. Анализ осуществляли путем выделения ДНК из образцов кишечного содержимого кур-несушек с использованием коммерческого набора innuPREP Stool DNA Kit (Analytic Jena, Germany); затем проводили электрофорез выделенной ДНК в агарозном геле с оценкой концентраций двухцепочечной ДНК на приборе Qubit 4.0. После оценки концентрации следовал этап приготовления ДНК-библиотек на основе ампликонов с индексами Nextera для секвенирования на приборах Illumina и измерение концентрации на Qubit 4.0; а в конце секвенирование ампликоновых ДНК-библиотек на приборе MiSeq Illumina (чтение 500 циклов по 250 с двух сторон).

Данные, полученные в эксперименте, подвергали статистической обработке с использованием про-

граммного обеспечения Microsoft Excel, Statistica 10,0 (StatSoftInc., США) методами дисперсионного и корреляционного анализа. Проверку соответствия полученных данных нормальному закону распределения проводили с использованием критерия согласия Колмогорова. Гипотеза о нормальном распределении



**Рис. 1. Разница в зоотехнических показателях кур-несушек опытных групп по сравнению с контрольной (ось X – показатели контрольной группы, %).**

\*Различия с контролем достоверны при  $p \leq 0,05$ , \*\* – при  $p \leq 0,01$ .

данных подтверждена во всех случаях с вероятностью 95 %, что дало основание для применения параметрических процедур обработки статистических совокупностей. Достоверность различий между сравниваемыми показателями определяли с использованием t-критерия Стьюдента. Достоверными считали различия при  $p \leq 0,05$ ,  $p \leq 0,01$ ,  $p \leq 0,001$ . Коэффициенты корреляции рассчитывали по Спирмену, в исследовании отмечали корреляционные связи силой более 0,5.

По результатам корреляционного анализа были выбраны и указаны только те зависимости между накоплением химических элементов и численностью бактериальных таксонов на 210-е сутки, которые характеризовались прямой значимой корреляцией (коэффициент корреляции более 0,5).

Результаты и обсуждение. Включение биоактивных веществ в рацион птиц III и IV опытных групп сопро-

вождалось увеличением яйценоскости соответственно на 10 % ( $p \leq 0,05$ ) и 7,78 %. Конверсия корма в расчете на 10 яиц в III опытной группе была выше, чем в контрольной, на 12,26 %, в IV – на 4,54 % (рис. 1). Это совпадает с результатами других исследований [23, 24].

Конверсия корма, по данным Kothari D с соавторами [25], повышается благодаря способности фитогенных препаратов стимулировать аппетит, секрецию слюны, желчных кислот, выработку слизи в кишечнике, секрецию и активность пищеварительных ферментов и системные изменения метаболизма макроэлементов и микроэлементов. Аналогичное мнение высказывают и другие исследователи [26, 27].

В нашем эксперименте, изменение метаболизма выражалось в достоверном увеличении общего белка в крови во II опытной группе на 8,4 % ( $p \leq 0,05$ ), в III – на 10,6 % ( $p \leq 0,05$ ), в IV – на 8,9 % ( $p \leq 0,05$ ) (табл. 1).

В крови птиц опытных групп достоверно увеличивалось количество пищеварительных ферментов. Так, уровень  $\alpha$ -амилазы в I группе был выше, чем в контрольной, в 3,04 раза ( $p \leq 0,05$ ), в III группе – в 2,65 раза ( $p \leq 0,05$ ) и в IV группе – в 3,15 раза ( $p \leq 0,05$ ), липазы – во всех опытных группах в 1,28...1,58 раза ( $p \leq 0,05$ ), что, возможно, связано с повышением кишечной всасываемости и улучшением пищеварения [28, 29, 30].

Уровень креатинина в крови птиц I опытной группы был выше, чем в контроле, на 43,2 % ( $p \leq 0,05$ ). Рост величины этого показателя отмечали и в других исследованиях, что может свидетельствовать об улучшении энергетического обмена в мышечной и нервной тканях организма [31].

В I опытной группе отмечена умеренная лейкопения со снижением количества лейкоцитов сна 6,0 % ( $p \leq 0,05$ ). Введение биологически активных веществ в рацион птицы стимулирует иммунные функции организма [32], что в нашем исследовании выразилось в тенденции к снижению лейкоцитарного индекса интоксикации. Во II опытной группе он был меньше, чем в контроле, на 24,69 %, в III – на 58,64 %, в IV – на 68,52 % (табл. 2).

**Табл. 1. Биохимические показатели крови у кур-несушек при включении в рацион биологически активных веществ**

Показатель	Контрольная (ОР)	I опытная (ОР + Цамакс)	II опытная (ОР + Ветом)	III опытная (ОР + Арбоцел)	IV опытная (ОР + Дигестаром)
Глюкоза, ммоль/л	8,52±3,07	11,33±0,22	10,15±0,40	10,95±0,16	8,85±1,63
Общий белок, г/л	42,02±14,12	56,47±13,33	45,56±3,16*	46,49±2,90*	45,77±4,27*
Альбумин, г/л	17,33±4,63	24,33±1,20	25,33±0,67	23,33±0,88	23,67±0,67
Билирубин общий, мкмоль/л	0,72±0,21	1,06±0,11	1,10±0,17	1,01±0,07	1,01±0,15
Билирубин прямой, мкмоль/л	1,09±0,16	1,14±0,10	1,17±0,04	1,15±0,00	1,49±0,09
Билирубиновый индекс	1,51	1,07	1,06	1,13	1,47
Холестерин, ммоль/л	2,03±0,95	2,59±0,17	2,42±0,30	2,28±0,26	3,12±0,27
Триглицериды, ммоль/л	10,23±5,20	11,59±0,74	9,93±1,94	10,13±0,73	15,86±2,05
Мочевина, ммоль/л	0,30±0,15	0,20±0,12	0,37±0,22	0,60±0,31	0,20±0,12
Креатинин, мкмоль/л	16,53±3,77	23,67±1,13*	24,40±1,00	23,70±1,96	21,03±0,97
$\alpha$ -амилаза, Ед/л	82,67±61,80	251,67±30,44*	225,33±42,53	219,00±26,29*	260,33±30,05*
Мочевая кислота, мкмоль/л	109,63±27,46	166,00±38,15	263,60±3,65	196,30±24,22	213,67±55,96
p-амилаза, Ед/л	100,13±85,09	321,87±28,88	285,67±42,54	271,00±32,73	329,80±40,72
Липаза, Ед/л	8,30±1,00	11,00±0,68*	12,00±1,29*	10,63±0,15*	13,13±2,13*

\*Различия с контролем достоверны при  $p \leq 0,05$ .

**Табл. 2. Морфологические показатели крови кур-несушек при включении в рацион биологически активных веществ**

Показатель	Контрольная (ОР)	I опытная (ОР + Цамакс)	II опытная (ОР + Ветом)	III опытная (ОР + Арбоцел)	IV опытная (ОР + Дигестаром)
Количество лейкоцитов, $10^9$ /л	39,67±0,43	37,32±0,30*	36,30±2,63	37,93±2,22	42,27±1,73
Доля нейтрофилов, %	61,50±0,50	66,63±4,77*	55,40±15,17	44,60±12,66	33,90±4,72
Доля лимфоцитов, %	14,35±0,29	23,73±5,14	33,97±17,31	48,47±13,65	55,63±8,88
Доля моноцитов, %	1,88±0,88	2,73±0,24	0,48±0,25*	0,93±0,22***	0,57±0,26***
Доля эозинофилов, %	4,60±0,15	6,20±0,45*	5,47±0,32	5,70±0,85	9,40±3,96*
Доля базофилов, %	0,73±0,03	0,70±0,06*	0,37±0,12	0,30±0,00*	0,50±0,12
Лейкоцитарный индекс интоксикации	1,62	2,03	1,22	0,67	0,51
Количество эритроцитов, $10^{12}$ /л	2,24±0,01	2,21±0,05	2,12±0,07	2,16±0,12	2,30±0,01
Количество гемоглобина, г/л	127,67±0,33	121,33±4,37	115,33±3,18	115,67±4,37	125,67±1,76

\*Различия с контролем достоверны при  $p \leq 0,05$ , \*\*при  $p \leq 0,01$ , \*\*\*при  $p \leq 0,001$ .

Табл. 3. Концентрация химических элементов в крови кур-несушек, мг/кг

Показатель	Контрольная (ОР)	I опытная (ОР + Цамакс)	II опытная (ОР + Ветом)	III опытная (ОР + Арбоцел)	IV опытная (ОР + Дигестаром)
Co	$21 \times 10^{-4} \pm 5 \times 10^{-4}$	$20 \times 10^{-4} \pm 5 \times 10^{-4}$	$29 \times 10^{-4} \pm 8 \times 10^{-4}$	$22 \times 10^{-4} \pm 6 \times 10^{-4}$	$31 \times 10^{-4} \pm 0,8 \times 10^{-4}$
Cr	0,022±0,004	0,0104±0,0033	0,011±0,003	0,013±0,003	0,021±0,005
Cu	0,34±0,07	0,36±0,07	0,36±0,07	0,34±0,07	0,34±0,07
Fe	7,81±1,17	9,39±1,41	8,58±1,29	10,07±1,51	9,84±1,48
I	0,021±0,004	0,028±0,008	0,019±0,005	0,011±0,004	0,023±0,004
Mn	0,18±0,04	0,19±0,04	0,22±0,04	0,18±0,04	0,12±0,03
Se	0,29±0,06	0,16±0,03	0,19±0,04	0,23±0,05	0,21±0,04
V	$532 \times 10^{-5} \pm 154 \times 10^{-5}$	$521 \times 10^{-5} \pm 151 \times 10^{-5}$	$512 \times 10^{-5} \pm 163 \times 10^{-5}$	$533 \times 10^{-5} \pm 161 \times 10^{-5}$	$511 \times 10^{-5} \pm 153 \times 10^{-5}$
Zn	5,68±0,85	5,39±0,81	5,28±0,79	5,42±0,81	5,94±0,89
Ca	0,302±0,045	0,301±0,045	0,283±0,042	0,304±0,045	0,292±0,044
K	0,19±0,03	0,21±0,03	0,21±0,03	0,21±0,03	0,24±0,04
Mg	0,0312±53r	0,0411±63r	0,0323±54r	0,0341±54r	0,0423±62r
Na	3,22±0,48	3,22±0,48	3,22±0,48	3,22±0,48	3,22±0,48
P	0,66±0,1	0,57±0,09	0,48±0,07	0,50±0,07	0,75±0,11
Cd	$23 \times 10^{-5} \pm 6 \times 10^{-5}$	$14 \times 10^{-5} \pm 4 \times 10^{-5}$	$32 \times 10^{-5} \pm 13 \times 10^{-5}$	$11 \times 10^{-5} \pm 2 \times 10^{-5}$	$12 \times 10^{-5} \pm 5 \times 10^{-5}$
Pb	$621 \times 10^{-6} \pm 243 \times 10^{-6}$	$632 \times 10^{-6} \pm 241 \times 10^{-6}$	$312 \times 10^{-6} \pm 112 \times 10^{-6}$	$523 \times 10^{-6} \pm 223 \times 10^{-6}$	$613 \times 10^{-6} \pm 241 \times 10^{-6}$

Табл. 4. Концентрация химических элементов в помете кур-несушек, мг/кг

Показатель	Контрольная (ОР)	I опытная (ОР + Цамакс)	II опытная (ОР + Ветом)	III опытная (ОР + Арбоцел)	IV опытная (ОР + Дигестаром)
Co	0,89±0,107	0,67±0,080	0,61±0,073	0,62±0,074	0,76±0,092
Cr	10,65±1,07	7,59±0,76	9,12±0,91	6,90±0,69	8,03±0,80
Cu	44,84±4,48	36,17±3,62	34,55±3,46	41,20±4,12	40,79±4,08
Fe	541,00±54,00	524,00±52,00	535,00±53,00	437,00±44,00	493,00±49,00
I	1,75±0,180	1,94±0,190	2,68±0,270*	1,89±0,190	1,87±0,190
Mn	336,00±34,000	362,00±36,000*	344,00±34,000	348,00±35,000	354,00±35,000
Se	0,54±0,065	0,53±0,064	0,41±0,049	0,42±0,051	0,38±0,045
Si	75,65±7,56	65,76±6,58	98,25±9,82*	74,95±7,50	86,88±8,69
V	2,77±0,28	2,03±0,20	1,86±0,19**	1,77±0,18	1,80±0,18
Zn	314,00±31,00	338,00±34,00	390,00±39,00	461,00±46,00	409,00±41,00
Ca	71,09±7,11	34,53±3,45	46,35±4,64**	29,76±2,98	45,24±4,52
K	16,95±1,70	17,44±1,74	22,08±2,21	17,86±1,79	18,60±1,86
Mg	6,41±0,641	6,79±0,679	7,47±0,747	7,18±0,718	7,94±0,794
Na	2,48±0,248	2,90±0,290*	1,82±0,182	0,94±0,094	1,30±0,13**
P	9,65±0,97	9,77±0,98	14,45±1,45	10,53±1,05	12,52±1,25
Cd	0,490±0,0590	0,370±0,0440	0,420±0,0500	0,390±0,0470	0,460±0,0550
Pb	0,31±0,037	1,42±0,140**	0,34±0,041	0,37±0,044	0,32±0,038

\*Различия с контролем достоверны при  $p \leq 0,05$ , \*\*при  $p \leq 0,01$ .

Содержание химических элементов в крови птиц опытных групп достоверно не изменялось по сравнению с контрольной, что свидетельствует о постоянстве состава крови и отсутствии негативного влияния биологически активных добавок на гомеостаз (табл. 3).

Достоверные изменения концентрации химических элементов в помете наблюдали в I, II и IV опытных группах (табл. 4). В I опытной группе концентрация Mn увеличивалась на 7,7 % ( $p \leq 0,05$ ), Na – на 16,9 % ( $p \leq 0,05$ ), Pb – в 4,6 раза ( $p \leq 0,01$ ). Во II опытной группе концентрация I и Si возрастала соответственно на 53,1 % ( $p \leq 0,05$ ) и 29,9 % ( $p \leq 0,05$ ) с одновременным снижением содержания V и Ca на 32,8 % ( $p \leq 0,01$ ) и 34,8 % ( $p \leq 0,01$ ). В IV опытной группе достоверно уменьшалась концентрация натрия на 47,6 % ( $p \leq 0,01$ ).

В помете контрольной группы отмечали повышенную, по сравнению с опытными, концентрацию таких элементов, как Co, Cr, Cu, Fe, Se, Ca и Cd, что может быть связано с лучшим их всасыванием в желудочно-кишечном тракте птиц опытных групп при введении исследуемых препаратов.

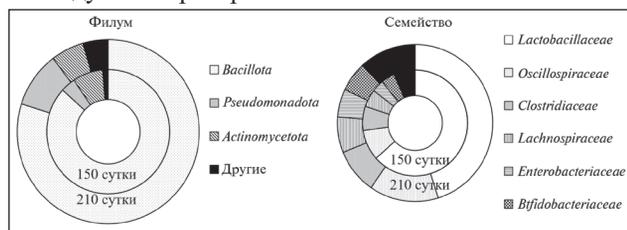


Рис. 2. Состав микробиома слепой кишки кур-несушек контрольной группы.

Исследование микробиома слепого отдела кишечника кур-несушек контрольной группы на разных этапах онтогенеза (рис. 2) показало, что доминирующими были филумы *Bacillota* (79,9...86,7 %), *Pseudomonadota* (3,9...9,75 %) и *Actinomycetota* (5,86...7,8 %), в основном представленные бактериями классов *Bacilli*, *Gammaproteobacteria* и *Actinomycetes* соответственно.

Основным таксоном микроорганизмов в кишечнике кур-несушек на разных этапах онтогенеза были представители р. *Lactobacillus*, на долю которых приходилось от 43,8 до 69,3 %. Снижение их численности (на 28,7 % на 210-е сутки по сравнению с 150-ми сутками) наблюдали по мере роста и развития птицы. Численность бактерий классов *Gammaproteobacteria* и *Actinomycetes* в микробиоте кишечника кур-несушек контрольной группы изменялась волнообразно в зависимости от возрастного периода.

Включение в рацион кур-несушек кормовой добавки Цамакс к возрасту 150 суток (рис. 3) вело к снижению количества бактерий, относящихся к филуму *Bacillota*,

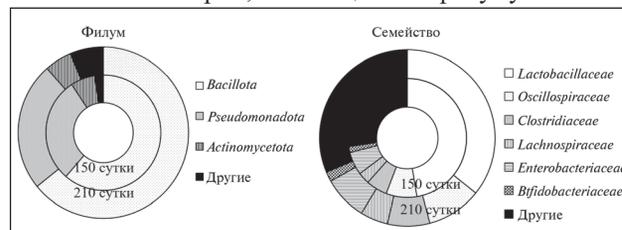


Рис. 3. Состав микробиома слепой кишки кур-несушек I опытной группы.

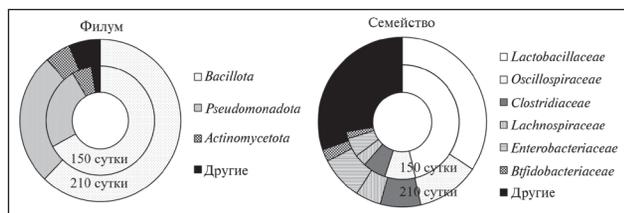


Рис. 4. Состав микробиома слепой кишки кур-несушек II опытной группы.

по сравнению с контролем, на 29,3 %. На 150-е и 210-е сутки эксперимента отмечали высокое содержание представителей филума *Pseudomonadota*: 29,4 % и 24,3 % против, соответственно, 3,9 % и 9,75 % в контроле. При этом на 210-е сутки наблюдали снижение численности бактерий семейства *Lactobacillaceae*, по сравнению с контролем, на 26,4 % и увеличение *Enterobacteriaceae* на 39,6 %. На уровне рода на 150-е сутки отмечали уменьшение численности микроорганизмов р. *Lactobacillus* и р. *Bifidobacterium*, по сравнению с контролем, на 16,8 % и 2,8 % соответственно, на 210-е сутки – на 10,6 и 2,9 %. Кроме того, в возрасте 210 суток отмечено снижение на 4,3 % количества бактерий, относящихся к р. *Faecalibacterium*, что согласуется с данными других авторов [32].

В целом введение Цамакса сопровождалось уменьшением содержания облигатной микрофлоры желудочно-кишечного тракта птицы (*Lactobacillaceae*, *Oscillospiraceae*, *Clostridiaceae* и *Lachnospiraceae*) одновременно с увеличением численности класса *Enterobacteriaceae*. Снижение численности бактерий семейства *Lactobacillaceae* под влиянием цеолита в составе препарата Цамакс приводило к уменьшению продукции лактата, снижающего рН химуса, что приводит к увеличению численности необлигатных бактерий (в нашем случае – *Enterobacteriaceae*).

Известно, что цеолиты, к числу которых относится препарат Цамакс, оказывают бактерицидное воздействие на патогенные организмы в кишечнике птиц [25], однако в нашем исследовании этого не наблюдали. Этот факт можно объяснить тем, что на бактерицидный эффект цеолитов могут влиять такие факторы, как тип цеолита, его чистота, физико-химические свойства и уровень добавок, используемых в рационе [33]. Кроме того, в научной литературе имеются сведения о том, что введение цеолита способствовало снижению поедаемости корма и увеличению времени пребывания корма в кишечнике из-за набухания цеолита, что может подтверждать перспективность его включения в рационы для улучшения конверсии и снижения скорости прохождения корма через пищеварительную систему птицы [25].

Использование кормовой добавки Ветом (рис. 4) приводило к изменению количественного соотношения основных таксономических групп микроорганизмов в микробиоте слепого отдела кишечника в течение всего эксперимента. В частности, в возрасте 150 суток число микроорганизмов филума *Bacillota* уменьшилось, в сравнении с контролем, на 19,6 %, *Actinomycetota* – на 2,1 %. На уровне родов такие изменения в основном выражались в уменьшении количества бактерий р. *Lactobacillus* и р. *Bifidobacterium* соответственно на 17 и 2 %. В то же время увеличение числа бактерий, относящихся к филуму *Pseudomonadota* на 20,5 % в микробиоте слепого отдела кишечника птицы, не приводило к значимым изменениям количественных показателей на более глубоких таксономических уровнях.

Последующий анализ таксономического состава микробиома слепого отдела кишечника птицы в возрасте 210 суток показал схожие изменения. Количество бактерий филума *Bacillota* было ниже на 17,7 %, в сравнении с контролем, а число микроорганизмов таксона *Pseudomonadota* больше на 16,6 %. Как и в возрасте 150 суток, в микробиоте слепого отдела кишечника птицы в 210 суток наблюдали изменения численности бактерий р. *Lactobacillus* (–9,9 %) и р. *Bifidobacterium* (–2,4 %). Кроме того, отмечено уменьшение числа бактерий, относящихся к р. *Faecalibacterium*, на 2,3 %, в сравнении с контролем. Это может быть одной из причин более низкой яйценоскости из-за меньшей всасываемости питательных веществ в кишечнике, так как известно, что в организме птиц значительную часть пищеварительных ферментов выделяют бактерии [33]. Результаты наших исследований согласуются с данными, свидетельствующими о том, что *B. subtilis* могут способствовать увеличению относительной численности *Pseudomonadota* [34]. Отсутствие значимых изменений численности *Pseudomonadota* на более глубоких таксономических уровнях может быть обусловлено тем, что *Bacillus subtilis*, введенные в состав рациона, способствуют поддержанию здоровья состава микробиоценоза пищеварительной системы птицы на всем его протяжении в результате конкурентного исключения и антагонизма [34].

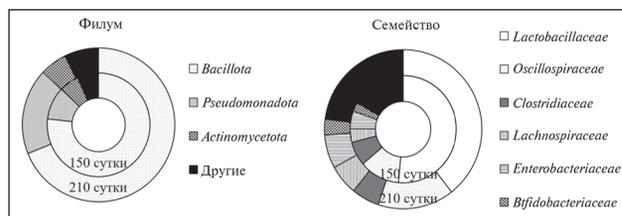


Рис. 5. Состав микробиома слепой кишки кур-несушек III опытной группы.

Характерная особенность действия кормовой добавки Арбоцел на микробиом слепого отдела кишечника кур-несушек заключалась в росте числа бактерий таксона *Pseudomonadota* (на 9...11 %) и уменьшении количества представителей филума *Bacillota* (на 6,4...8,34 %) в течение всего эксперимента (рис. 5). Происходило постепенное нарастание эффекта действия кормовой добавки на микробиом на высоких таксономических уровнях. В то же время на более низких таксономических уровнях степень воздействия на отдельные группы микроорганизмов микробиома кишечника снижалась. Значимые изменения отмечены для бактерий р. *Lactobacillus*. Уменьшение их численности, в сравнении с контролем, в возрасте 150 суток составило 10,7 %, 210 суток – 4,6 %. Количество микроорганизмов р. *Faecalibacterium* в микробиоме слепого отдела кишечника в возрасте птицы 150 суток было выше, чем в контроле, на 3 %, а в 210 суток – практически не изменилось. Бактерии рода *Faecalibacterium* обладают повышенной целлюлолитической активностью, что позволяет курам-несушкам более успешно переваривать целлюлозу и положительно влияет на их продуктивность [34, 35].

В ходе эксперимента отмечали увеличение численности бактерий, разлагающих целлюлозу (*Oscillospiraceae*, *Clostridiaceae*, *Lachnospiraceae*), на 210-е сутки по сравнению со 150-ми сутками. Известно, что у несушек отсутствуют эндогенные ферменты, разлагающие клетчатку, поэтому большую

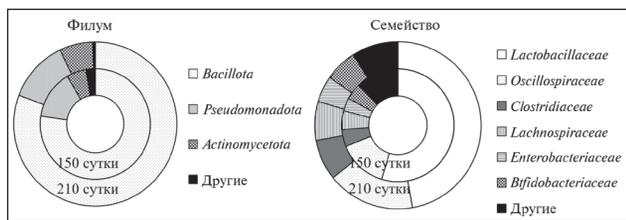


Рис. 6. Состав микробиома слепой кишки кур-несушек IV опытной группы.

роль в деструкции пищевых волокон, например целлюлозы, играют микроорганизмы, чем можно объяснить увеличение таких бактерий в кишечнике птицы в исследуемой группе при повышенной нагрузке целлюлозой из препарата Арбоцел.

Отмечено снижение численности других бактерий, традиционно обнаруживаемых в пищеварительном тракте птицы (*Lactobacillus*, *Bacilli*). Полученные неоднозначные результаты могут быть объяснены, с одной стороны, тем, что добавленные пищевые волокна в препарате Арбоцел служат своего рода разбавителем питательных веществ, а высокая концентрация клетчатки отрицательно влияет на пищеварение и всасывание питательных веществ в кишечнике [36], с другой стороны, добавление клетчатки может не оказывать значимого воздействия на микробиом слепой кишки [37], поэтому полученные в нашей работе данные соответствуют картине возрастного изменения микробиома несушек. Обсуждая воздействие введения в рацион с препаратом Арбоцел целлюлозных волокон, отметим наличие противоречивых данных относительно влияния пищевых волокон на микробиоту кишечника кур.

Общепризнано, что нерастворимые источники клетчатки не подвергаются интенсивному разложению бактериями, обитающими в пищеварительном тракте птиц [38]. С одной стороны, это связано с его анатомическими особенностями (относительно небольшая длина), которые обуславливают низкую скорость прохождения корма. Кроме того, некоторые исследования показывают, что в слепую кишку, которая, по-видимому, служит основным местом бактериальной ферментации клетчатки у кур [40], могут попасть только небольшие и растворимые фракции клетчатки [39]. С другой стороны, есть данные о невысокой целлюлозолитической активности бактерий в задней кишке кур [41]. Следовательно, влияние нерастворимой клетчатки на состав и активность кишечных бактерий может быть минимальным. Однако некоторые авторы предполагают, что пищевые волокна

Табл. 5. Корреляция между содержанием химических элементов в помете и микробиомом слепой кишки в опытных группах кур-несушек

Группа	Элемент	Семейство	Коэффициент корреляции
I	K	<i>Oscillospiraceae</i>	0,56
	Cr	<i>Oscillospiraceae</i>	0,63
	Mn	<i>Oscillospiraceae</i>	0,59
II	Cr	<i>Lachnospiraceae</i>	0,55
		<i>Oscillospiraceae</i>	0,60
	Se	<i>Lachnospiraceae</i>	0,72
		<i>Oscillospiraceae</i>	0,58
	Co	<i>Lachnospiraceae</i>	0,67
III		<i>Oscillospiraceae</i>	0,50
	I	<i>Oscillospiraceae</i>	0,72
	Fe	<i>Oscillospiraceae</i>	0,63
	P	<i>Oscillospiraceae</i>	0,53
IV	Mg	<i>Oscillospiraceae</i>	0,74
		<i>Lachnospiraceae</i>	0,69
		<i>Oscillospiraceae</i>	0,70
		<i>Lachnospiraceae</i>	0,55

могут ферментироваться в слепой кишке кур, поскольку изменяется кишечный бактериальный состав [42, 43], что совпадает с нашими данными.

При использовании в кормлении кур-несушек кормовой добавки Дигестаром (рис. 6) число бактерий, относящихся к филуму *Pseudomonadota*, увеличилось, по сравнению с контролем, на 25,1 % на 210-е сутки, что в основном было связано с ростом количества микроорганизмов класса *Gammaproteobacteria*. Одновременно наблюдали снижение числа бактерий, относящихся к филумам *Bacillota* и *Actinomycetota*, соответственно на 9,4 и 2,2 %. При этом в рамках таксона *Bacillota* изменения численности отдельных групп микроорганизмов были разнонаправленными. Так, число бактерий р. *Lactobacillus* снизилось, в сравнении с контролем, на 7,9 %, микроорганизмов р. *Faecalibacterium* – увеличилось на 4,9 %. По окончании эксперимента в возрасте птицы 210 суток численность *Lactobacillaceae* снизилась, по сравнению с результатами в возрасте 150 суток, на 13,7 %, *Oscillospiraceae* – увеличилась на 19,7 %, *Clostridiaceae* – на 61,2 %, *Lachnospiraceae* – на 39,2 %.

Наблюдаемая пластичность микробиома означает изменение количественного и качественного состава бактерий под влиянием вносимых препаратов, что впоследствии прямым образом может оказывать влияние на эффективность выращивания птицы. В исследовании зарубежных коллег пластичность микробиома выражалась в увеличении численности бактерий, разлагающих целлюлозу, что способствовало более эффективному перевариванию кормов [44].

В нашем эксперименте на 210-е сутки, по сравнению со 150-ми сутками, при внесении Дигестарома на фоне снижения численности бактерий семейства *Lactobacillaceae* отмечено увеличение численности представителей семейства *Bifidobacteriaceae*, *Lachnospiraceae*, *Ruminosocassaeae*. Известно, что добавки растительных экстрактов, к которым относится и препарат Дигестаром, улучшают показатели роста, усвояемость питательных веществ, эффективность корма и состояние микробиома кишечника домашней птицы, в том числе благодаря изменению качественного и количественного состава микробиоты желудочно-кишечного тракта [45].

Добавка Дигестаром оказывала влияние на показатели роста птицы. Это выражалось в приросте массы тела с одновременным снижением конверсии корма у цыплят-бройлеров [45].

По результатам корреляционного анализа в I группе увеличение численности бактерий семейства *Oscillospiraceae* прямо коррелировало с содержанием в помете птицы K, Cr, Mn; во II группе увеличение численности бактерий семейства *Lachnospiraceae* и *Oscillospiraceae* – с Cr, Se, Co; в III группе корреляция была выявлена между численностью бактерий семейства *Oscillospiraceae* и I, Fe, P; в IV группе – между численностью бактерий семейств *Oscillospiraceae*, *Lachnospiraceae* и Mg, K (табл. 5).

Выявленные корреляции могут быть связаны с рядом факторов, включая различия в соединениях металлов, качественном и количественном разнообразии видов бактерий в базовой микробиоте, ионной селективности бактерий, а также метаболическими процессами в бактериальном сообществе [46]. В нашем случае изученные пищевые добавки в ходе эксперимента способствовали накоплению ряда эссенциальных микроэлементов на 210-е сутки, что может быть связано с ионообменными свойствами препаратов Цамакс, Арбоцел и Дигестаром [47], а также со способностью

пробиотических препаратов в составе Ветома аккумулялировать металлы [48].

Выводы. Введение биологически активных добавок в рацион кур-несушек обеспечивало увеличение яйценоскости птиц, а также улучшение конверсии корма в продукцию. Влияние вводимых добавок на организм птиц выражалось в увеличении количества белка и липазы в крови во всех опытных группах,  $\alpha$ -амилазы – в I, III и IV группе, а также в тенденции к снижению лейкоцитарного индекса интоксикации во II, III и IV группе.

При этом изучаемые добавки не влияли на концентрацию химических элементов в крови. Наибольшее содержание минеральных элементов в помете отмечено в контрольной группе, что может быть связано с их повышенным всасыванием в желудочно-кишечном тракте птиц опытных групп на фоне введения исследуемых добавок, которые в разной степени улучшают кишечное пищеварение и усвоение этих элементов.

Изменение профиля микробного сообщества слепой кишки кур-несушек в большей степени зависело от возрастной динамики, чем от вводимых добавок. Введение препаратов в корм птице к 210-м суткам вело к преимущественному повышению численности целлюлозоразлагающих бактерий с одновременным накоплением макро- и эссенциальных микроэлементов, по сравнению с контролем, что свидетельствует о возможности увеличения усвояемости питательных веществ при их использовании.

Наличие зависимостей между численностью определенных семейств бактерий и содержанием различных химических элементов в помете птиц позволяет глубже понять механизмы взаимодействия между элементами питания и микробиотой кишечника, что открывает возможности для коррекции элементного статуса организма птиц посредством целенаправленного подбора рационов с учетом выявленных закономерностей.

Таким образом, проведенное исследование демонстрирует возможность оптимизации кормления кур-несушек с использованием биологических добавок, что ведет к улучшению продуктивности и снижению затрат корма. Полученные данные могут служить основой для разработки рекомендаций по корректировке рационов с целью достижения оптимального элементного баланса в организме птицы.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа финансировалась за счет средств бюджета ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН при поддержке Государственного проекта № FNWZ-2024-0003. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с Национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009 и правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН. Протокол заседания комиссии по контролю за содержанием и использованием лабораторных животных № 2/1 от 30.04.2024 г.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### БЛАГОДАРНОСТИ.

Авторы благодарят сотрудников Центра коллективного пользования (<http://ckp-rf.ru/ckp/77384>) Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук за помощь в лабораторных исследованиях и технической поддержке.

#### Литература.

1. Ricke S. C., Dittoe D. K., Richardson K. E. *Formic Acid as an Antimicrobial for Poultry Production: A Review.* // *Frontiers in Veterinary Science.* 2020. Vol. 7. P. 563. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2020.00563/full> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3389/fvets.2020.00563.
2. *Potential of Essential Oils for Poultry and Pigs* / H. Zhai, H. Liu, S. Wang, et al. // *Animal Nutrition.* 2018. Vol. 4. No. 2. P. 179–186. doi: 10.1016/j.aninu.2018.01.005.
3. Al-Khalaf H. S. *Benefits of Probiotics and/or Prebiotics for Antibiotic-Reduced Poultry.* // *Poultry Science.* 2018. Vol. 97 No. 11. P. 3807–3815. doi: 10.3382/ps/peyl60.
4. Ricke S. C., Richardson K., Dittoe D. K. *Formaldehydes in Feed and Their Potential Interaction with the Poultry Gastrointestinal Tract Microbial Community. A Review.* // *Frontiers in Veterinary Science.* 2019. Vol. 6. P. 188. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2019.00188/full> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3389/fvets.2019.00188.
5. *Broad-Host-Range Salmonella Bacteriophage STP4-A and Its Potential Application Evaluation in Poultry Industry.* / M. Li, H. Lin, Y. Jing, et al. // *Poultry Science.* 2020. Vol. 99. No. 7. P. 3643–3654. doi: 10.1016/j.psj.2020.03.051.
6. *Nano Zinc, an Alternative to Conventional Zinc as Animal Feed Supplement: A Review.* / P. S. Swain, S. B. N. Rao, D. Rajendran, et al. // *Animal Nutrition.* 2016. Vol. 2. No. 3. P. 134–141. doi: 10.1016/j.aninu.2016.06.003.
7. *Systematic Review and Meta-Analysis of the Effect of Feed Enzymes on Growth and Nutrient Digestibility in Grow-Finisher Pigs: Effect of Enzyme Type and Cereal Source.* / A. Torres-Pitarch, E. G. Manzanilla, G. E. Gardiner, et al. // *Animal Feed Science and Technology.* 2019. Vol. 251. P. 153–165. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2018.12.007.
8. *Uncaria Tomentosa (Willd. Ex Schult.) DC.: A Review on Chemical Constituents and Biological Activities.* / G. E. S. Batiha, A. M. Beshbishy, L. Wasef, et al. // *Applied Sciences.* 2020. Vol. 10. P. 2668. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/8/2668> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3390/app10082668.
9. Sumiati S., Darmawan A., Hermana W. *Performances and Egg Quality of Laying Ducks Fed Diets Containing Cassava (Manihot Esculenta Crantz) Leaf Meal and Golden Snail (Pomacea Canaliculata).* // *Tropical Animal Science Journal.* 2020. Vol. 43. P. 227–232. doi: 10.5398/tasj.2020.43.3.227.
10. *Dietary Inclusion Effects of Phytochemicals as Growth Promoters in Animal Production.* / N. V. Valenzuela-Grijalva, A. Pinelli-Saavedra, A. Muhlia-Almazan, et al. // *Journal of Animal Science and Technology.* 2017. Vol. 59. P. 8. URL: <https://janimscitechnol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40781-017-0133-9> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.1186/s40781-017-0133-9.
11. *Conservation and Sustainable Use of Medicinal Plants: Problems, Progress, and Prospects.* / S. L. Chen, H. Yu, H. M. Luo, et al. // *Chinese Medicine.* 2016. Vol. 11. P. 37. URL: <https://cmjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13020-016-0108-7> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.1186/s13020-016-0108-7.
12. *Exploitation of Chemical, Herbal and Nanoformulated Acaricides to Control the Cattle Tick, Rhipicephalus (Boophilus) Microplus. A Review.* / B. Banumathi, B. Vaseeharan, P. Rajasekar // *Veterinary Parasitology.* 2017. Vol. 244. P. 102–110. doi: 10.1016/j.vetpar.2017.07.021.

13. Probiotics, Prebiotics and Competitive Exclusion for Prophylaxis Against Bacterial Disease. / T. R. Callaway, T. S. Edrington, R. C. Anderson, et al. // *Animal Health Research Reviews*. 2008. Vol. 9. P. 217–225. doi: 10.1017/S1466252308001540.
14. Gaggia F., Mattarelli P., Biavati B. Probiotics and Prebiotics in Animal Feeding for Safe Food Production. // *International Journal of Food Microbiology*. 2010 Vol. 141. P. 15–28. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.031.
15. Laying Performance and Egg Quality of Hens Supplemented with Humate and Sodium Bicarbonate During the Late Laying Period. / M. A. Yörük, M. Gül, A. Hayirli, et al. // *Journal of Applied Animal Research*. 2004. Vol. 26. P. 17–21. doi: 10.1080/09712119.2004.9706498.
16. Effects of Dietary Probiotic (*Pediococcus Acidilactici*) Supplementation on Performance, Nutrient Digestibility, Egg Traits, Egg Yolk Cholesterol, and Fatty Acid Profile in Laying Hens. / D. Mikulski, J. Jankowski, J. Naczmannski, et al. // *Poultry Science*. 2012. Vol. 91. P. 2691–2700. doi: 10.3382/ps.2012-02370.
17. Identification of Lactobacilli Isolated from the Cloaca and Vagina of Laying Hens and Characterization for Potential Use as Probiotics to Control Salmonella Enteritidis. / E. Coillie, J. Van Goris, I. Cleenwerck, et al. // *Journal of Applied Microbiology*. 2010. Vol. 102. P. 1095–1106. doi: 10.1111/j.1365-2672.2006.03164.x.
18. Effects of Different Probiotics on Laying Performance, Egg Quality, Oxidative Status, and Gut Health in Laying Hens. / Q. Xiang, C. Wang, H. Zhang, et al. // *Animals (Basel)*. 2019. Vol. 9. No. 12. P. 1110. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/12/1110> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3390/ani9121110.
19. Effects of Probiotic-Supplemented Diets on Growth Performance and Intestinal Immune Characteristics of Broiler Chickens. / S. P. Bai, A. M. Wu, X. M. Ding, et al. // *Poultry Science*. 2013. Vol. 92. P. 663–670. doi: 10.3382/ps.2012-02813.
20. Torki M., Mohebbifar A., Mohammadi H. Effects of Supplementing Hen Diet with *Lavandula Angustifolia* and/or *Mentha Spicata* Essential Oils on Production Performance, Egg Quality and Blood Variables of Laying Hens. // *Veterinary Medical Science*. 2021. Vol. 7. No. 1. P. 184–193. doi: 10.1002/vms3.343.
21. The Assessment of Serum Trace Element Levels as the Diagnostic Biomarkers of Functional State of Broiler Chickens. / S. Lebedev, T. Kazakova, O. Marshinskaia, et al. // *Veterinary World*. 2023. Vol. 16. No. 7. P. 1512–1519.
22. Нотова С. В. Эколого-физиологическое обоснование методов коррекции элементного статуса и функциональных резервов организма человека: дис. д-ра мед. наук / Нотова Светлана Викторовна. Оренбург, 2005. 314 с.
23. Sozcu A. The Effects of Lignocellulose Supplementation on Laying Performance, Egg Quality Parameters, Aerobic Bacterial Load of Eggshell, Serum Biochemical Parameters, and Jejunal Histomorphological Traits of Laying Hens. // *Poultry Science*. 2020. Vol. 99. No. 6. P. 3179–3187. doi: 10.1016/j.psj.2020.01.024.
24. Pine (*Pinus Massoniana* Lamb.) Needle Extract Supplementation Improves Performance, Egg Quality, Serum Parameters, and the Gut Microbiome in Laying Hens. / Y. Guo, S. Huang, L. Zhao, et al. // *Frontiers in Nutrition*. 2022. Vol. 9. P. 810462. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2022.810462/full> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3389/fnut.2022.810462.
25. Effect of Dietary Supplementation of Fermented Pine Needle Extract on Productive Performance, Egg Quality, and Serum Lipid Parameters in Laying Hens. / D. Kothari, J. S. Oh, J. H. Kim, et al. // *Animals*. 2021. Vol. 11. P. 1475. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/5/1475> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3390/ani11051475.
26. Ohashi Y., Hiraguchi M., Ushida K. The Composition of Intestinal Bacteria Affects the Level of Luminal IgA. // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2014. Vol. 70. P. 3031–3035.
27. Kim Y. J. Effects of Dietary Supplementation of Pine Needle Powder on Carcass Characteristics and Blood Cholesterol Contents of Broiler Chicken. // *Korean Journal of Poultry Science*. 2011. Vol. 38. P. 51–57. doi: 10.5536/KJPS.2011.38.1.051.
28. Sozcu A. Growth Performance, pH Value of Gizzard, Hepatic Enzyme Activity, Immunologic Indicators, Intestinal Histomorphology, and Cecal Microflora of Broilers Fed Diets Supplemented with Processed Lignocellulose. // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98. No. 12. P. 6880–6887. doi: 10.3382/ps/pez449.
29. Сизова Е. А., Королев В. Л., Макаев Ш. А. Морфобихимические показатели крови у бройлеров при коррекции рациона солями и наночастицами Cu. // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 6. С. 903–911. doi: 10.15389/agrobiol.2016.6.903rus. E
30. Li X. L., He W. L., Wang Z. B. Effects of Chinese Herbal Mixture on Performance, Egg Quality and Blood Biochemical Parameters of Laying Hens. // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2016. Vol. 100. P. 1041–1049. doi: 10.1111/jpn.12473.
31. Effect of zeolite dietary supplementation on physiological responses and production of laying hens drinking saline well water in South Sinai. / K. R. S. Emam, H. M. Toraih, A. M. Hassan, et al. // *World Veterinary Journal*. 2019. Vol. 9. P. 109–122.
32. Kim D. W., Kim J. H., Kang G. H. Effects of Water Extract Mixtures from *Artemisia Capillaris*, *Camellia Sinensis*, *Schizandra Chinensis*, and *Viscum Album* Var. *Coloratum* on Laying Performance, Egg Quality, Blood Characteristics, and Egg Storage Stability in Laying Hens. // *Food Science and Animal Resources*. 2010. Vol. 30. P. 449–457. doi: 10.5851/kosfa.2010.30.3.449.
33. Nys Y., Schlegel P., Durosoy S. Adapting Trace Mineral Nutrition of Birds for Optimising the Environment and Poultry Product Quality. // *World's Poultry Science Journal*. 2018. Vol. 74. P. 225–238. doi: 10.1017/S0043933918000016.
34. Egorov I. A., Lenkova T. N., Manukyan V. A. Poultry Diets Without Antibiotics. I. Intestinal Microbiota and Performance of Broiler (*Gallus Gallus* L.) Breeders Fed Diets with Enterosorbent Possessing Phytobiotic and Probiotic Effects. // *Agricultural Biology*. 2019. Vol. 54. No. 2. P. 280–290. doi: 10.15389/agrobiol.2019.2.280rus. EDN ZIGJVR.
35. Фисинин В. И., Лаптев Г. Ю., Никонов И. Н. Изменение бактериального сообщества в желудочно-кишечном тракте кур в онтогенезе. // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 6. С. 883–890. doi: 10.15389/agrobiol.2016.6.883rus.
36. Tejada-O. J., Kim W. K. Role of Dietary Fiber in Poultry Nutrition. // *Animals*. 2021. Vol. 11. No. 2. P. 461. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/2/461> (дата обращения: 22.09.2024).
37. Sun B., Hou L., Yang Y. Effects of Adding Eubiotic Lignocellulose on the Growth Performance, Laying Performance, Gut Microbiota, and Short-Chain

- Fatty Acids of Two Breeds of Hens.* // *Frontiers in Veterinary Science.* 2021. Vol. 8. P. 668003. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2021.668003/full> (дата обращения: 22.09.2024).
38. Jha R. *Dietary Fiber and Intestinal Health of Monogastric Animals.* // *Frontiers in Veterinary Science.* 2019. Vol. 6. P. 48. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2019.00048/full> (дата обращения: 22.09.2024).
39. Józefiak D., Rutkowski A., Martin S. A. *Carbohydrate Fermentation in the Avian Ceca: A Review.* // *Animal Feed Science and Technology.* 2004. Vol. 113. No. 1.4. P. 1–15. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840103002943?via%3Dihub> (дата обращения: 22.09.2024).
40. Rougière N. *Effects of Diet Particle Size on Digestive Parameters in D+ and D-Genetic Chicken Lines Selected for Divergent Digestion Efficiency.* // *Poultry Science.* 2009. Vol. 88. No. 6. P. 1206–1215.
41. Waite D. W., Taylor M. W. *Characterizing the avian gut microbiota: membership, driving influences, and potential function* // *Frontiers in Microbiology.* 2014. Vol. 5. P. 91622. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2014.00223/full> (дата обращения: 22.09.2024).
42. Zeitz J. O. et al. *Effects of dietary supplementation of the lignocelluloses FibreCell and OptiCell on performance, expression of inflammation-related genes and the gut microbiome of broilers* // *Poultry Science.* 2019. Vol. 98. No. 1. P. 287–297.
43. *Effect of feeding different levels of lignocellulose on performance, nutrient digestibility, excreta dry matter, and intestinal microbiota in slow growing broilers* / I. Röhe, F. Metzger, W. Vahjen, et al. // *Poultry Science.* 2020. Vol. 99. No. 10. P. 5018–5026. doi: 10.1016/j.psj.2020.06.053.
44. Belali M., Seidavi A., Bouyeh M. *Effects of short-term and combined use of thyme powder and aqueous extract on growth performance, carcass and organ characteristics, blood constituents, enzymes, immunity, intestinal morphology and fatty acid profile of breast meat in broilers* // *Large Animal Review.* 2021. Vol. 27. No. 4. P. 223–232.
45. *Phytogenic Feed Additives as an Alternative to Antibiotic Growth Promoters in Broiler Chickens.* / G. R. Murugesan, B. Syed, S. Haldar, et al. // *Front Vet Sci.* 2015. Vol. 2. P. 21. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2015.00021/full> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3389/fvets.2015.00021.
46. *Influence of toxic metal exposure on the gut microbiota (Review).* / F. Giambò, S. Italia, M. Teodoro, et al. // *World Academy of Sciences Journal.* 2021. Vol. 3. No. 2. P. 19. URL: <https://www.spandidos-publications.com/10.3892/wasj.2021.90> (дата обращения: 22.09.2024). doi: 10.3892/wasj.2021.90.
47. *Effects of a Combination of Xylanase, Amylase and Protease, and Probiotics on Major Nutrients Including Amino Acids and Non-Starch Polysaccharides Utilization in Broilers Fed Different Levels of Fibers.* / A. K. Singh, U. P. Tiwari, J. D. Berrocoso, et al. // *Poultry Science.* 2019. Vol. 98. No. 11P. 5571–5581. doi: 10.3382/ps/pez310.
48. Гречкина В. В., Лебедев С. В. *Влияние Цамакса и Ветома на биохимические показатели крови и содержание минеральных веществ в организме цыплят-бройлеров.* // *Животноводство и кормопроизводство.* 2022. Т. 105. № 2. С. 118–129. doi: 10.33284/2658-3135-105-2-118.

Поступила в редакцию 11.10.2024  
 После доработки 14.11.2024  
 Принята к публикации 07.02.2025

## СМЕСИ ФИТОХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ИЗМЕНЯЮТ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ОБЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗМА ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ

© 2025 г. Г. К. Дускаев, доктор биологических наук, Т. А. Климова, Ш. Г. Рахматуллин, М. Я. Курилкина, К. Н. Атландерова, кандидаты биологических наук, Д. Г. Дерябин, доктор медицинских наук

Федеральный научный центр биологических систем  
и агротехнологий Российской академии наук,  
460000, Оренбург, ул. 9 Января, 29  
E-mail: klimovat91@mail.ru

*Исследование проводили с целью оценки влияния фитохимических веществ, обладающих различными свойствами, на организм цыплят-бройлеров, а также изучения их синергетического действия в составе двух-, трехкомпонентных композиций. Объекты исследования – цыплята-бройлеры, коричный альдегид (КА), кверцетин (КВ), 7-гидроксикумарин (КУМ). Схема опыта включала следующие варианты: контрольная группа – основной рацион (ОР), I опытная – ОР + КА (30 мг/кг корма) + КВ (2,5 мг/кг корма), II опытная – ОР + КА (30 мг/кг корма) + КУМ (0,3 мг/кг), III опытная – ОР + КА (30 мг/кг корма) + КВ (2,5 мг/кг корма) + КУМ (0,3 мг/кг). На 42-й день исследования живая масса птиц в III опытной группе увеличилась на 30,83 % ( $p \leq 0,05$ ), среднесуточный прирост за период выращивания – на 35,78 %. Независимо от состава композиций расход корма на 1 кг прироста живой массы в опытных группах был ниже, чем в контроле, на 5,15...15,92 %, на фоне увеличения сохранности (на 2,0 %) и Европейского индекса продуктивности (на 29,6...107,9 п.,  $p \leq 0,05$ ). Использование композиции веществ КА+КВ+КУМ в составе рациона способствовало увеличению массы потрошенной тушки на 23,94 % ( $p \leq 0,05$ ), массы мышечной ткани – на 24,19 % ( $p \leq 0,05$ ). Количество лейкоцитов в крови птиц II и III опытных групп увеличилось в сравнении с контролем соответственно на 19,6 % ( $p \leq 0,05$ ) и 17,97 %, активность каталазы – на 64,05 % ( $p \leq 0,05$ ) и 57,48 % ( $p \leq 0,05$ ). В сыворотке крови цыплят-бройлеров III опытной группы содержание общего белка повысилось на 24,74 % ( $p \leq 0,05$ ). Одновременно наблюдали достоверное ( $p \leq 0,05$ ) увеличение концентрации альбумина, АСТ, железа и фосфора на фоне снижения общего билирубина. Наиболее перспективно использование в составе рационов цыплят-бройлеров композиции веществ КА+КВ+КУМ в изученных дозировках.*

## MIXTURES OF PHYTOCHEMICALS CHANGE THE PRODUCTIVITY AND GENERAL BODY CONDITION OF BROILER CHICKENS

G. K. Duskaev, T. A. Klimova, Sh. G. Rakhmatullin, M. Ya. Kurilkina, K. N. Atlanderova, D. G. Deryabin

Federal Scientific Center of Biological Systems  
and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences,  
460000, Orenburg, ul. 9 Yanvarya, 29  
E-mail: klimovat91@mail.ru

*The purpose of the research is to evaluate the effect of phytochemicals with various properties on the body of broiler chickens, their synergistic effect as part of two or three component compositions. Objects of research: broiler chickens, cinnamic aldehyde (CA), quercetin (KV), 7-hydroxycoumarin (CUM). Research scheme: (n=45) the control group's poultry received the basic ration (OR), the experimental group received OR + CA (30 mg/kg of feed) + KV (2,5 mg/kg of feed), II experimental – OR + CA (30 mg/kg of feed) + CUM (0,3 mg/kg), III experimental – OR + CA (30 mg/kg of feed) + KV (2,5 mg/kg of feed) + CUM (0,3 mg/kg). According to the research results, the live weight increased by 30,83 % on the 42nd day of the study in the III experimental group ( $p \leq 0,05$ ), the average daily increase over the growing period was 35,78 %. Regardless of the composition of the compositions, feed consumption per 1 kg of body weight gain in the experimental groups was lower than in the control – by 5.15...15.92 %, against the background of an increase in safety (by 2,0 %) and the European Productivity Index (by 29.6–107.9 points ( $p \leq 0,05$ )), compared with the control. Composition of KA+KV+CUM in the diet increased the mass of the gutted carcass in the III experimental group (by 23,94 % ( $p \leq 0,05$ )) and the mass of muscle tissue – by 24,19 % ( $p \leq 0,05$ ). In the blood of birds of experimental groups II and III, the number of leukocytes increased (by 19,6 % ( $p \leq 0,05$ ) and 17,97 %) and catalase activity increased by 64,05 % ( $p \leq 0,05$ ) and 57,48 % ( $p \leq 0,05$ ), compared with the control. In the blood serum of broiler chickens of the experimental group III, the content of total protein increased by 24,74 % ( $p \leq 0,05$ ) and albumin ( $p \leq 0,05$ ), AST ( $p \leq 0,05$ ), iron ( $p \leq 0,05$ ), phosphorus ( $p \leq 0,05$ ), against the background of a decrease in total bilirubin ( $p \leq 0,05$ ). Thus, the prospects of the composition of KA+KV+CUM have been established is included in the rations of broiler chickens.*

**Ключевые слова:** фитохимические вещества, цыплята-бройлеры, кормление, продуктивность, антиоксидантный статус.

**Keywords:** phytochemicals, broiler chickens, feeding, productivity, antioxidant status.

Стремительный рост производства антибактериальных веществ и открытие новых классов антибиотиков привели к значительному увеличению их доступности. Антибиотики стали использовать не только в медицине, но и в сельском хозяйстве, что способствовало росту резистентных видов микроорганизмов. Это, в свою очередь, повышает риск их накопления в продуктах животноводства, используемых

далее в питании человека. Поэтому на сегодняшний день ученые предполагают [1], что альтернативой антибиотикам могут стать кормовые добавки на основе растительных экстрактов.

Фитохимические вещества подавляют рост микроорганизмов, стимулируют обменные процессы и продуктивность сельскохозяйственной птицы. Одна из актуальных задач современной биологии – изучение

механизма действия фитохимических веществ, выделенных в том числе из лекарственных растений [1].

Анализ литературы показал перспективность применения фитохимических веществ в животноводстве. Например, включение в рацион бройлеров кверцетина может продлить срок хранения мяса благодаря снижению скорости окисления липидов. [2]. Также были получены положительные данные по влиянию фитохимических веществ (тимол и карвакрол) на организм цыплят-бройлеров (увеличение живой массы, гепатопротекторное действие, увеличение высоты ворсинок в кишечнике и др.), авторы считают их интересной альтернативой для повышения производительности птиц, заменяющей использование антимикробных препаратов [3]. Ранее было изучено влияние фитохимических веществ на организм цыплят-бройлеров [4, 5, 6], позволившее оценить их механизмы действия: изменение показателей клеток белой крови, антиоксидантного статуса, ферментов крови; влияние на представителей микрофлоры кишечника и др.

Цель исследований – оценка воздействия фитохимических веществ, обладающих различными свойствами, на организм цыплят-бройлеров и их влияния в составе двух-, трехкомпонентных композиций.

**Методика.** Работу проводили в условиях вивария центра коллективного пользования научным оборудованием ФНЦ БСТ РАН с февраля по август 2024 г. Объекты исследования: цыплята-бройлеры кросса Арбор Айкрес, коричневый альдегид (КА), кверцетин (КВ), 7-гидроксикумарин (КУМ).

Для эксперимента было отобрано 180 голов 7-дневных цыплят-бройлеров (петушков), которых методом аналогов разделили на 4 группы по 45 голов в каждой. Птица контрольной группы получала основной рацион (ОР), I опытной – ОР + КА (30 мг/кг корма) + КВ (2,5 мг/кг корма), II опытной – ОР + КА (30 мг/кг корма) + КУМ (0,3 мг/кг), III опытной – ОР + КА (30 мг/кг корма) + КВ (2,5 мг/кг корма) + КУМ (0,3 мг/кг).

Во время эксперимента вся птица находилась в одинаковых условиях группового содержания. Общий рацион (ОР) составляли с учетом рекомендаций ВНИТИП [7] (использовались комбикорма с учетом возраста птицы, которые включали пшеницу, кукурузу, шрот соевый, шрот подсолнечный, витаминно-минеральный премикс (макроэлементы Са, Р, Na, К, Cl, микроэлементы Fe, Cu, Zn, Mn, J, Se, витамины А, D3, Е, К3, В1-В6, В12, Вс, Н), кормление осуществляли 2 раза в сутки, учет поедаемости – ежесуточно групповым методом. Живую массу птицы определяли еженедельно (утром, до кормления) с использованием электронных весов. Декапитацию птицы под нембуталовым эфиром проводили на 42-е сут. Послеубойную анатомическую разделку тушек выполняли по методике ВНИТИП [7].

Образцы крови для гематологических исследований отбирали от 10 особей в вакуумные пробирки с антикоагулянтом (EDTA-K3), для биохимических исследований – в вакуумные пробирки с активатором свертывания (тромбин). Биохимический анализ сыворотки крови осуществляли на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай).

Статистическую обработку проводили с использованием программы «SPSS Statistics Version 20», рассчитывая среднюю величину (M), среднеквадратичное отклонение (σ), ошибку стандартного отклонения (m). Уровень значимости считали достоверным при  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и обсуждение.** На 4-й неделе исследования было установлено увеличение живой массы ( $p \leq 0,05$ ) по сравнению с контролем в I и III опытных

группах соответственно на 8,53 % и 12,85 % (табл. 1). На 5-й неделе достоверное увеличение живой массы отмечено только в III опытной группе, разница с контролем составила 30,83 % ( $p \leq 0,05$ ).

**Табл. 1. Ростовые показатели эксперимента, г/гол**

Период эксперимента	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Начало	295,2±12,4	295,2±11,2	295,2±12,0	295,2±7,7
1-я неделя	563,6±38,3	624,8±18,7	578,4±10,7	623,6±21,9
2-я неделя	917,6±51,0	1031,6±29,2	878,4±26,0	1 045,6±60,5
3-я неделя	1409,2±54,1	1529,5±47,0	1330,0±26,9	1 590,4±73,8
4-я неделя	1764,4±117,1	1966,6±26,8*	1781,5±49,4	2129,2±124,6*
5-я неделя	2135,5±168,2	2415,3±28,2	2236,0±118,5	2794,0±176,6*

\*Здесь и далее различия с контролем достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Наиболее высокий среднесуточный прирост в среднем за период выращивания отмечен в III опытной группе. Он был выше, чем в контроле, на 35,78 % (табл. 2).

**Табл. 2. Зоотехнические показатели эксперимента**

Показатель	Группа			
	контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Среднесуточный прирост за 5 недель, г	52,5±10,6	60,5±0,6	55,4±3,7	71,3±4,9
Абсолютный прирост, г	1840,3±168,2	2120,1±28,2*	1940,8±118,5	2498,8±176,6*
Поедаемость, г	3467,0	3771,3	3468,4	3959,0
Расход корма на прирост 1 кг живой массы, кг	1,884	1,779	1,787	1,584
Сохранность, %	96	98	98	98
Европейский индекс продуктивности (ЕИП)	268,4±26,3	333,7±4,4*	304,0±20,3*	441,7±32,1*

Абсолютный прирост живой массы цыплят-бройлеров I и III опытных групп за весь период выращивания превышал величину этого показателя в контроле соответственно на 15,21 %, и 35,78 % ( $p \leq 0,05$ ). Расход корма на 1 кг прироста живой массы в опытных группах был на 5,15...15,92 % ниже, чем в контроле.

Ранее было установлено, что использование смеси экстрактов чеснока и укропа повышало прирост живой массы и коэффициент конверсии корма цыплят-бройлеров [8]. Включение в рацион отдельно кверцетина [9] или 7-гидроксикумарина [10] способствовало увеличению живой массы цыплят-бройлеров. В нашем эксперименте их сочетание с КА обеспечивало аналогичные эффекты. Кроме того, известно о способности КА подавлять системы межклеточной коммуникации [11], что может частично объяснить его механизм действия в составе композиции.

Сохранность цыплят-бройлеров во всех трех опытных группах была больше, чем в контроле, на 2,0 %. Европейский индекс продуктивности у цыплят, получавших изучаемые добавки, превышал величину этого показателя в контроле на 29,6...107,9 п. ( $p \leq 0,05$ ).

Наибольшая предубойная живая масса отмечена во II и III опытных группах. Она была выше, чем в контрольной, на 13,1...23,56 % (табл. 3). Масса потрошенной тушки в III опытной группе была больше, чем в контрольной, на 23,94 % ( $p \leq 0,05$ ), масса мышечной ткани – на 24,19 % ( $p \leq 0,05$ ).

Установлено [12], что добавление экстракта древесины каштана посевного (содержащего в том числе в своем составе КУМ, КА и КВ) привело к увеличению

**Табл. 3. Убойные показатели цыплят-бройлеров**

Показатель	Группа			
	контроль-ная	I опытная	II опытная	III опытная
Предубойная живая масса, г	2135,5±44,8	2415,3±53,1	2236,0±64,8	2794,0±86,6
Потрошенная тушка, г	1568,8±48,6	1733,3±21,7	1647,5±79,5	2062,7±67,7*
Мышечная ткань, г	772,4±37,8	823,2±41,9	810,9±43,3	1018,9±91,2*
Костная ткань, г	451,0±17,6	511,5±17,9	470,8±22,3	591,4±23,3
Съедобная часть, г	1370,2±61,6	1546,3±75,7	1439,7±70,6	1827,9±93,2*
Несъедобная часть, г	634,4±38,7	716,2±34,4	655,0±4,3	837,3±24,3
Съедобная часть / несъедобная часть	2,2±0,04	2,2±0,01	2,2±0,03	2,2±0,1
Убойный выход, %	72,9±1,1	71,8±0,5	73,8±0,8	73,7±0,7

предубойной живой массы цыплят-бройлеров, что согласуется с нашими результатами во II и III опытных группах.

В крови птиц II и III опытных групп количество лейкоцитов превышало величину этого показателя в контроле соответственно на 19,6 % ( $p \leq 0,05$ ) и 17,97 % (табл. 4). Ранее было установлено [13], что введение фитобиотиков не оказывает существенного влияния на морфологические показатели крови, за исключением содержания лейкоцитов.

**Табл. 4. Морфологические показатели крови и показатели антиоксидантного статуса организма цыплят-бройлеров птицы**

Показатель	Группа			
	контроль-ная	I опытная	II опытная	III опытная
Лейкоциты, $10^9$ кл/л	43,4±2,3	32,6±3,2	51,97±2,8*	51,26±1,9
Нейтрофилы, $10^9$ кл/л	12,5±0,3	21,9±2,4*	26,10±0,6*	25,87±1,1*
Лимфоциты, $10^9$ кл/л	21,1±1,2	26,9±3,4	22,17±1,2	22,89±1,7
Моноциты, $10^9$ кл/л	1,1±0,1	0,7±0,1*	0,40±0,1*	0,63±0,02*
Эозинофилы, $10^9$ кл/л	3,9±0,1	0,4±0,1*	1,1±0,1*	5,6±0,5*
Базофилы, $10^9$ кл/л	0,3±0,02	0,1±0,01*	0,2±0,01*	0,2±0,03*
Эритроциты, $10^{12}$ кл/л	2,3±0,1	1,9±0,1	2,1±0,1	2,3±0,1
Гемоглобин, г/л	125,0±6,0	104,3±5,2	114,3±9,9	127,0±4,2
Гематокрит, %	27,6±1,4	23,1±1,1	25,4±2,2	27,9±1,1
Тромбоциты, $10^9$ кл/л	1,3±0,3	1,3±0,3	1,7±0,3	1,3±0,3
Малоновый диальдегид, мкмоль/л	2,7±0,1	2,7±0,1	2,3±0,2	3,5±0,2
Супероксиддисмутаза, %	84,4±1,7	88,5±0,8	86,9±1,8	68,1±2,4*
Каталаза, мкмоль $H_2O_2$ /мин	49,8±1,6	40,3±1,1	81,7±0,6*	78,4±0,7*

Кроме того, в нашем эксперименте во всех опытных группах отмечали повышение количества нейтрофилов, по сравнению с контрольной, на 74,86 % ( $p \leq 0,05$ ) – в I группе, на 108,3 % ( $p \leq 0,05$ ) – во II группе, на 106,4 % ( $p \leq 0,05$ ) в III группе, при одновременном уменьшении моноцитов соответственно на 34,9 % ( $p \leq 0,05$ ), 62,26 % ( $p \leq 0,05$ ), 40,56 % ( $p \leq 0,05$ ). Количество эозинофилов в I и II опытных групп достоверно снижалось соответственно на 88,97 % ( $p \leq 0,05$ ) и 72,3 % ( $p \leq 0,05$ ), в III опытной группе оно увеличивалось на 42,56 % ( $p \leq 0,05$ ). Показатели гематокрита во всех опытных группах находились на уровне контроля.

Ранее при использовании в рационе лабораторных животных производного кумарина (аураптен) наблюдали повышение количества клеток крови (нейтрофилов), связанное с изменением баланса Т-хелперов 1-го и 2-го уровня и увеличение уровня иммуноглобулинов [14].

Аналогичный эффект мы наблюдали у подопытной птицы, получавшей кумарин (I и III группы).

Коричный альдегид, обладая противовоспалительным эффектом, способен опосредованно влиять на количество моноцитов [15], базофилов [16], эозинофилов [17], что и было отмечено во всех опытных группах. Кверцетин может влиять на разнообразные биологические пути функционирования иммунных клеток (нейтрофилы, моноциты), ингибирует высвобождение гистамина и активацию ядерного фактора NF- $\kappa$ B и др. [18], что также обнаружено в I и III опытных группах, где использовали это соединение.

Достоверное ( $p \leq 0,05$ ) снижение активности супероксиддисмутазы, по сравнению с контролем, отмечали в III опытной группе (на 16,33 %), а повышение активности каталазы – во II и III опытных группах (соответственно на 64,05 % и 57,48 %). Такие изменения могут быть связаны с тем, что кумарины способны улавливать свободные радикалы и влиять на активность ферментов [19, 20]. В свою очередь, коричный альдегид может усиливать антиоксидантную защиту от активных форм кислорода, образующихся в условиях гипергликемии [21]. Кроме того, ранее было установлено, что введение в рацион 7-гидроксикумарина приводит к активации супероксиддисмутазы и каталазы [10]. Таким образом, в группах, которым скармливали эти вещества совместно (II и III опытных группах), обнаружено более высокое содержание фермента каталазы.

В сыворотке крови цыплят-бройлеров III опытной группы отмечено существенное увеличение содержания общего белка (табл. 5), по сравнению с контролем, на 24,74 % ( $p \leq 0,05$ ) и альбумина – на 20,03 % ( $p \leq 0,05$ ).

Концентрация эндогенного фермента аланинаминотрансфераза в сыворотке крови во II опытной группе уменьшилась, по сравнению с контролем, на 25,71 % ( $p \leq 0,05$ ), в III – на 33,59 % ( $p \leq 0,05$ ). Содержание эндогенного фермента аспартатаминотрансфераза в I опытной группе возросло на 32,46 % ( $p \leq 0,05$ ), в III – на 33,86 % ( $p \leq 0,05$ ). Одновременно уровень общего билирубина в I группе достоверно ( $p \leq 0,05$ ) увеличивался в 2,38 раза, во II – в 1,8 раза, в III – в 1,67 раза. Содержание триглицеридов (источник энергии для клеток организма) в сыворотке крови в I опытной группе повышалось,

**Табл. 5. Биохимические показатели сыворотки цыплят-бройлеров**

Показатель	Группа			
	контроль-ная	I опытная	II опытная	III опытная
Глюкоза, ммоль/л	10,9±0,6	7,4 ±0,4	14,2±0,5*	9,1±0,7
Общий белок, г/л	33,6±2,2	34,1±2,2	32,8±0,9	41,9±1,5*
Альбумин, г/л	13,3±0,3	15,3±1,2	14,0±0,6	16,0±0,6*
АЛТ, Ед/л	24,5±1,1	23,9±1,7	18,2±1,1*	16,3±0,7*
АСТ, Ед/л	290,8±8,1	385,2±19,9*	256,6±11,0	389,2±13,9*
Билирубин общий, мкмоль/л	3,2±0,1	7,6±0,2*	5,7±0,3*	5,3±0,1*
Холестерин, ммоль/л	2,7±0,1	2,3±0,2	2,8±0,2	2,8±0,2
Триглицериды, ммоль/л	0,2±0,01	0,3±0,03*	0,4±0,01*	0,1±0,01
Мочевина, ммоль/л	0,3±0,03	1,0±0,2	0,3±0,1	0,5±0,1
Креатинин, мкмоль/л	26,0±1,5	25,4±0,9	26,5±0,3	27,4±0,3
Мочевая кислота, мкмоль/л	141,3±12,2	156,2±14,8	187,4±17,4	197,6±19,2
Железо, мкмоль/л	11,7±1,3	15,9±0,4	12,0±0,2	15,7±0,7*
Магний, ммоль/л	0,8±0,01	0,8±0,01	1,1±0,1*	0,9±0,1
Кальций, мкмоль/л	3,5±0,2	3,6±0,1	3,9±0,1	3,5±0,2
Фосфор, ммоль/л	1,1±0,1	1,4±0,1*	1,0±0,1	1,2±0,1*

по сравнению с контролем, в 6,5 раза ( $p \leq 0,05$ ), во II – в 9,5 раза ( $p \leq 0,05$ ).

Ранее была выявлена взаимосвязь между содержанием кумариноподобных веществ в сыворотке крови и триглицеридов [22], изменения, отмеченные в нашем эксперименте, могут быть обусловлены проявлением дозозависимого эффекта. Коричный альдегид стимулирует липолиз и термогенез при окислении жирных кислот [21], что может способствовать увеличению количества триглицеридов в сыворотке крови.

Результаты наших исследований частично согласуются с данными других авторов. Например, добавление фитобиотической смеси (тимол и карвакрол) в рацион цыплят-бройлеров снизило уровень холестерина в сыворотке крови. Одновременно ее использование способствовало увеличению концентрации аспаратаминонотрансферазы и общего белка в сыворотке крови [23], что совпадает с результатами проведенных исследований.

Достоверное ( $p \leq 0,05$ ) повышение содержание железа в сыворотке крови, в сравнении с контролем, отмечали у птиц III опытной группы (на 33,58 %), магния – во II группе (на 32,09 %), фосфора – в I и III опытных группах (соответственно на 34,61 % и 14,42 %). Ранее было установлено, что добавление кверцетина в рацион бройлеров оказывает воздействие на гены, связанные с метаболизмом фосфора в сигнальном пути, влияя на его уровень в организме птиц [24], чем, на наш взгляд, может быть обусловлено более высокая циркуляция этого минерального элемента в сыворотке крови птицы I и III группы. Кроме того, кверцетин – экзогенный хелатор железа [25], что, вероятно, вызвало формирование комплексов кверцетин–железо и повышение концентрации последнего в сыворотке крови. Согласуется с нашими данными и увеличение уровня магния в сыворотке крови на фоне применения аналога кумарина (варфарин) отмечено другими исследователями [26].

**Выводы.** Дополнительное введение в рацион цыплят-бройлеров композиции веществ в составе коричного альдегида, кверцетина и кумарина оказало выраженное ростостимулирующее действие (увеличение живой массы на 30,83 %, среднесуточного прироста – на 35,78 %, мышечной массы – на 24,19 %), способствовало проявлению выраженных противовоспалительных эффектов в организме птицы (увеличение клеток белой крови – на 106,4 %), антиоксидантного статуса (на 57,48 %), белкового обмена (увеличение общего белка в сыворотке крови – на 24,74 %), активизации эндогенных ферментов (на 33,86 %), что в конечном итоге способствовало увеличению сохранности птицы (на 2 %) и эффективности использования корма (на 15,92 %).

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00036, <https://rscf.ru/project/22-16-00036>.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

Эксперименты с животными проводили в соответствии с протоколами Женевской конвенции, принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). Все процедуры над животными были выполнены согласно правилам Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН (протокол № 2 от 11.05. 2024 г).

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### Литература.

1. Vakili R., Toroghian M., Torshizi M. E. Saffron extract feed improves the antioxidant status of laying hens and the inhibitory effect on cancer cells (PC3 and MCF7) Growth // *Veterinary Medicine and Science*. 2022. Vol. 8. No. 6. P. 2494–2503. doi:10.1002/vms3.910.
2. The effects of quercetin dietary supplementation on broiler growth performance, meat quality, and oxidative stability / M. Goliomytis, D. Tsourekis, P. E. Simitzis, et al. // *Poultry Science*. 2014. Vol. 93. No. 8. P. 1957–1962. doi: 10.3382/ps.2013-03585.
3. Effects of phytogetic feed additive based on thymol, carvacrol and cinnamic aldehyde on body weight, blood parameters and environmental bacteria in broilers chickens / J. H. Reis, R. R. Gebert, M. Barreta, et al. // *Microbial Pathogenesis*. 2018. Vol. 125. P. 168–176. doi: 10.1016/j.micpath.2018.09.015.
4. Inchagova K. S., Duskaev G. K., Deryabin D. G. Quorum sensing inhibition in *Chromobacterium violaceum* by amikacin combination with activated charcoal or small plant-derived molecules (pyrogallol and coumarin) // *Microbiology*. 2019. Vol. 88. No. 1. P. 63–71. doi: 10.1134/S0026261719010132.
5. Evaluation of the impact of plant extracts in different concentrations on the ecosystem of broilers' intestine / E. Yausheva, D. Kosyan, G. Duskaev, et al. // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2019. Vol. 9. No. 4. P. 4168–4171. doi: 10.33263/BRIAC94.168171.
6. Duskaev G. K., Kvan O. V., Rakhmatullin S. G. Eucalyptus viminalis leaf extract alters the productivity and blood parameters of healthy broiler chickens // *Veterinary World*. 2020. Vol. 13. No. 12. P. 2673–2680. doi: 10.14202/vetworld.2020.2673-2680.
7. Методические указания по оптимизации рецептов комбикормов для сельскохозяйственной птицы / В. И. Фисинин, И. А. Егоров, Т. Н. Ленкова и др. // Методические указания по оптимизации рецептов комбикормов для сельскохозяйственной птицы. М.: ВНИТИП. 2009. 80 с.
8. Effect of dietary inclusion of atorvastatin, garlic, and dill on growth performance, antioxidant defense, gut, and cardio-pulmonary function, and lipogenesis in broiler chickens / S. Abaszadeh, B. Ahmadipour, N. Pirany, et al. // *Tropical Animal Health and Production*. 2023. Vol. 55. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-023-03639-8> (дата обращения: 23.11.2024).
9. Duskaev G. K., Kurilkina M. Ya., Zavyalov O. A. The effect of feeding quercetin on the productive qualities and blood parameters of broiler chickens // *Veterinaria i kormlenie*. 2023. No. 2. P. 24–28. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-2-6.
10. Оценка действия растительного кумарина и хлортетрациклина на показатели роста и антиоксидантный статус бройлеров / Т. А. Климова, Ш. Г. Рахматуллин, Г. К. Дускаев и др. // *Ветеринария и кормление*. 2023. № 6. С. 27–30. doi: 10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-6-6.
11. Влияние фитохимических веществ на сигнальные молекулы системы «quorum sensing» у бактерий / Л. В. Власенко, К. Н. Амландерова, Г. К. Дускаев, и др. // *Международный вестник ветеринарии*. 2023. № 2. С. 25–31. doi: 10.52419/issn2072-2419.2023.2.25.
12. Zaikina A. S., et al. Impact of Supplementing Phytobiotics as a Substitute for Antibiotics in Broiler Chicken Feed on Growth Performance, Nutrient Digestibility, and Biochemical Parameters // *Veterinary Sciences*. 2022. Vol. 9. URL: <https://www.mdpi.com/2306-7381/9/12/672> (дата обращения: 23.11.2024).

13. Buryakov N. P., et al. *The Role of Supplementing a Complex Phytobiotic Feed Additive Containing (Castanea sativa mill) Extract in Combination with Calcium Butyrate, Zinc-Methionine and Essential Oils on Growth Indicators, Blood Profile and Carcass Quality of Broiler Chickens* // *Veterinary Sciences*. 2023. Vol. 10. URL: <https://www.mdpi.com/2306-7381/10/3/212> (дата обращения: 23.11.2024).
14. Naseri S., Asgarpanah J., Ziai S. A. *Immunomodulatory and antioxidant effect of liposomal auraptene against cyclophosphamide-induced immunosuppression in BALB/c mice* // *Experimental gerontology*. 2024. Vol. 195. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0531556524001980> (дата обращения: 21.11.2024).
15. Kim B. H., et al. *Regulatory effect of cinnamaldehyde on monocyte/macrophage-mediated inflammatory responses* // *Mediators of Inflammation*. 2010. Vol. 2010. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1155/2010/529359> (дата обращения: 01.11.2024).
16. *Cinnamon extract inhibits allergen-specific immune responses in human and murine allergy models* / R. Ose, J. Tu, A. Schink, et al. // *Clinical and experimental allergy: journal of the British Society for Allergy and Clinical Immunology*. 2020. Vol. 50. No. 1. P. 41–50. doi: 10.1111/cea.13507.
17. *Cinnamaldehyde is an effective anti-inflammatory agent for treatment of allergic rhinitis in a rat model* / D. Hanci, H. Altun, E. A. Çetinkaya, et al. // *International journal of pediatric otorhinolaryngology*. 2016. Vol. 84. P. 81–87. doi: 10.1016/j.ijporl.2016.03.001.
18. Чиряпкин А. С., Золотых Д. С., Поздняков Д. И. Обзор биологической активности флавоноидов: кверцетина и кемпферола // *Juvenis scientia*. 2023. Т. 9. № 2. С. 5–20. doi: 10.32415/jscientia\_2023\_9\_2\_5-20.
19. Garg S., et al. *An insight into the therapeutic applications of coumarin compounds and their mechanisms of action* // *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020. Vol. 152. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092809872030213X> (дата обращения: 23.11.2024).
20. Gan J., Qian W., Lin S. *Umbelliferone Alleviates Myocardial Ischemia: the Role of Inflammation and Apoptosis* // *Inflammation*. 2018. Vol. 41. No. 2. P. 464–473. doi: 10.1007/s10753-017-0702-6.
21. Guo J., et al. *Advances in pharmacological effects and mechanism of action of cinnamaldehyde* // *Frontiers in pharmacology*. 2024. Vol. 6. No. 15. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2024.1365949/full> (дата обращения: 23.11.2024).
22. *Coumarin anticogulant requirement in relation to serum cholesterol and triglyceride level* / K. Pyörälä, E. A. Nikkilä, P. Vuopio, et al. // *Acta medica Scandinavica*. 1968. Vol. 183. No. 5. P. 437–443. doi: 10.1111/j.0954-6820.1968.tb10504.x.
23. *Effects of carboxy methyl cellulose and thymol + carvacrol on performance, digesta viscosity and some blood metabolites of broilers* / H. Hashemipour, H. Kermanshahi, A. Golian, et al. // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2014. Vol. 98. No. 4. P. 672–679. doi: 10.1111/jpn.12121.
24. Wang B., et al. *Quercetin Regulates Calcium and Phosphorus Metabolism Through the Wnt Signaling Pathway in Broilers*. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022. Vol. 8. URL: <https://www.frontiersin.org/journal/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2021.786519/full> (дата обращения: 01.11.2024).
25. Horniblow R. D., et al. *Modulation of iron transport, metabolism and reactive oxygen status by quercetin-iron complexes in vitro*. *Molecular Nutrition Food Research*. 2017. Vol. 61. No. 3. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mnfr.201600692> (дата обращения: 01.11.2024).
26. Ardahanli I., Akhan O., Celik M. *The Effect of Serum Magnesium Level on Stable Anticoagulation in Patients Using Warfarin for Various Cardiac Indications* / *Biological trace element research*. 2022. Vol. 200. No. 10. P. 4297–4302. doi: 10.1007/s12011-021-03036-y.

Поступила в редакцию 10.12.2024  
 После доработки 16.01.2025  
 Принята к публикации 06.02.2025

## БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС И СОСТАВ МОЛОКА КОРОВ ПРИ СКАРМЛИВАНИИ ИМ СЕМЯН МАСЛИЧНОЙ КУЛЬТУРЫ

© 2025 г. **О. Б. Филиппова**, доктор биологических наук, **А. И. Фролов**, кандидат сельскохозяйственных наук

*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники  
и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,  
392022, Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28  
E-mail: filippova175@yandex.ru*

*Рыжик посевной (Camelina sativa (L.) Crantz) – перспективная масличная культура для использования в животноводстве. Исследования проводили с целью определения изменений физиологического статуса коров и биохимического состава их молока под влиянием скармливания микронизированных семян рыжика. В Тамбовской области в условиях племенного репродуктора в соответствии с требованиями по подбору аналогов были сформированы 2 группы (контрольная и опытная) коров симментальской породы (живая масса 500 кг, суточный удой 18 кг) по 5 голов. Эксперимент проводили в стойловый период через 1,5...2 месяца после отела животных в возрасте 2...3 лактации. Для балансирования рациона коров опытной группы по содержанию протеина и энергии использовали семена рыжика, прошедшие предварительную термическую обработку (путем микронизации), в количестве 5 % от массы зерновой смеси. Определяли биохимические показатели крови животных и состав молока. У коров, которые потребляли семена рыжика, белково-углеводный и жировой обмен протекали более интенсивно. Концентрация глюкозы в их крови была выше на 0,26 ммоль/л, общего холестерина – на 0,64 ммоль/л, активность аланинаминотрансферазы (АЛАТ) – на 12,07 Ед/л, содержание мочевины – ниже на 1,44 ммоль/л. Массовая доля жира в молоке под влиянием скармливания семян рыжика увеличилась, по сравнению с использованием традиционного рациона, на 0,35 %. Одновременно в его составе увеличилось содержание таких особо ценных для организма ненасыщенных жирных кислот, как линолевая (до 1,3 раза) и линоленовая (до 2,7 раза).*

## BIOCHEMICAL STATUS AND COMPOSITION OF COW'S MILK WHEN FEEDING THEM WITH OIL SEEDS

**O. B. Filippova, A. I. Frolov**

*All-Russian Scientific Research Institute of Use of Machinery and Oil Products in Agriculture,  
392022, Tambov, per. Novo-Rubezhnyi, 28  
E-mail: filippova175@yandex.ru*

*False flax (Camelina sativa (L.) Crantz) is a promising oilseed crop for use in animal husbandry. The aim of the work was to determine the physiological status of cows and the biochemical composition of their milk under the influence of feeding micronized seeds of Camelina sativa. In the Tambov region, 2 groups (control and experimental) of Simmental cows (live weight 500 kg, daily milk yield 18 kg) were formed in accordance with the requirements for the selection of analogues in a breeding reproducer. The experiment was carried out in the stable period after 1.5...2 months after calving of animals aged 2...3 lactation. For balancing the ration of cows of the experimental group in terms of protein and energy content were used seeds of Camelina sativa, previously heat-treated (by micronization), in the amount of 5 % by weight of the grain mixture. Biochemical parameters of animals' blood and milk composition were studied in the experiment. In cows that consumed false flax seeds in the diet, protein-carbohydrate and fat metabolism were more intense. The concentration of glucose in their blood was higher by 0.26 mmol/l, total cholesterol – by 0.64 mmol/l, alanine aminotransferase activity (ALAT) – by 12.07 U/l, urea content – lower by 1.44 mmol/l. The mass fraction of fat in milk under the influence of feeding ginger seeds increased by 0.35 % compared to the traditional diet. At the same time, the content of such especially valuable unsaturated fatty acids as linoleic acid (up to 1.3 times) and linolenic acid (up to 2.7 times) increased in its composition.*

**Ключевые слова:** рыжик посевной *Camelina sativa (L.) Crantz*, дойные коровы, биохимический состав крови и молока.

**Keywords:** false flax *Camelina sativa (L.) Crantz*, dairy cows, biochemical composition of blood and milk.

Накопленный опыт в сфере ведения молочного скотоводства свидетельствует о необходимости решать в первую очередь задачи кормозаготовки и использования высококачественных кормов. Без полноценного кормления животных невозможно реализовать их генетический потенциал продуктивности.

Согласно литературным источникам, во всем мире интенсифицировались исследования по определению потребности животных и птицы в жирных кислотах, в том числе незаменимых, для метаболизма и нормального функционирования организма [1, 2]. Все жирные кислоты служат энергетическим субстратом в процессах обмена веществ, при этом к незаменимым относится ряд различных полиненасыщенных жирных кислот. В растениях, в том числе кормовых, к их числу относятся линоленовая,

линолевая и олеиновая. Если большинство заменимых жирных кислот в процессе метаболизма может преобразовываться одна в другую и даже синтезироваться в организме заново из более простых соединений, то незаменимые должны обязательно поступать с кормами. У жвачных животных превращения ненасыщенных жирных кислот в насыщенные (главным образом в стеариновую и пальмитиновую) в основном происходят в рубце под воздействием ферментов, выделяемых рубцовой микробиотой. Далее насыщенные жирные кислоты используются организмом в качестве энергетического субстрата и при синтезе различных веществ [3].

Главный источник белка и жира в рационах сельскохозяйственных животных и птицы – зерно бобовых и масличных культур, в том числе продукты их

переработки при производстве масел [4]. Например, в практике кормления достаточно давно используют рыжиковые жмыхи и шроты, которые способствуют увеличению продуктивности и улучшают качество продукции [5]. Рыжиковый жмых по своему зоотехническому составу занимает лидирующее место среди аналогичных кормовых средств по обменной энергии и усвояемости, а по аминокислотному составу близок к льняному жмыху.

Техническая масляная культура рыжик посевной (*Camelina sativa* (L.) Crantz) относится к семейству крестоцветных (*Brassicaceae*). В его семенах содержится значительное количество масла (от 26 до 46 %), в состав которого входит большое разнообразие полиненасыщенных жирных кислот, в том числе гондоиновой, линоленовой и линолевой [6, 7]. При этом одно из характерных для растений семейства крестоцветных антипитательных соединений – эруковая кислота – находится в семенах этой культуры в небольшом количестве – порядка 1,5...3,0 %. Такое низкое ее содержание вполне отвечает требованиям, предусмотренным для пищевых растительных масел (не более 5 %) [8].

Кроме того, в семенах рыжика содержится значительное количество белковых соединений, обладающих высокой биологической ценностью. В их состав входят все известные незаменимые аминокислоты, в том числе лизин и лейцин в количествах, превосходящих содержание в других масличных и зерновых культурах [7].

Для улучшения поедаемости кормов, а также обеззараживания и устранения различных антипитательных факторов их подвергают термической обработке, например, путем микронизации [9]. Микронизация – тепловая обработка инфракрасными лучами (ИК), которая вызывает интенсивный нагрев семян до 110...150 °С и повышает внутреннее давление паров воды. В процессе такой обработки вследствие резонансного поглощения энергии излучения молекулами белков и полисахаридов в них происходят структурные и биохимические изменения, которые способствуют повышению усвояемости питательных веществ корма. Есть данные, что скармливание дойными коровам зерна, обработанного ИК-излучением, способствовало увеличению их среднесуточного надоя на 5,6...11,3 % благодаря лучшему усвоению высокоценных кормов рациона [10].

Из всего разнообразия ненасыщенных жирных кислот наибольшее физиологическое значение для организма человека и животных имеют кислоты из групп омега-3, -6 и -9. Отличительный признак рыжикового масла – высокое содержание гондоиновой (эйкозеновой) кислоты, одной из мононенасыщенных кислот из группы омега-9 [11]. В проведенных ранее исследованиях [9] было установлено, что в состав масла семян рыжика сорта Барон входит около 37 % эйкозеновой жирной кислоты. В целом на группу мононенасыщенных жирных кислот, включая олеиновую, приходится 53,8 % от суммы всех кислот. Доля полиненасыщенных жирных кислот составляет 37,2 %, наибольшая часть из которых приходится на линолевую и  $\alpha$ -линоленовую кислоты.

В результате термической обработки содержание суммы ненасыщенных жирных кислот в семенах существенно не менялось по отношению к их содержанию в натуральных семенах [9]. При этом после микронизации количество пальмитиновой кислоты увеличилось на 0,4 %, линолевой – на 0,5 %. Содержание олеиновой и эйкозеновой кислот, напротив, уменьшилось на 0,5 %. Вероятно, нагрев повлиял на процессы трансформации, полимеризации жирных кислот и частичное испарение некоторых низкомолекулярных соединений.

Табл. 1. Состав зерносмесей, %

Наименование	Контрольная группа (№ 1)	Опытная группа (№ 2)
Ячмень	70	65
Пшеница	20	20
Овес	5	5
Горох	5	5
Рыжик	-	5
Содержание в 1 кг:		
ЭКЕ	1,10	1,12
обменной энергии, МДж	10,9	11,2
сухого вещества, г	874	876
сырого протеина, г	141	148
переваримого протеина, г	108	114,7
сырого жира, г	19,2	37,5
сырой клетчатки, г	55,7	59,4
кальция, г	0,6	0,8
фосфора, г	3,2	3,3

Цель исследований – изучение изменений физиологического статуса коров и биохимического состава их молока под влиянием скармливания микронизированных семян рыжика для повышения продуктивности крупного рогатого скота и улучшения качества производимой продукции.

Методика. Научно-производственный опыт проводили на дойных коровах симментальской породы (живая масса 500 кг, суточный удой 18 кг). Для его постановки на базе молочной фермы СХПК «Вирятинский» Сосновского района Тамбовской области в стойловый период через 1,5...2 месяца после отела были сформированы 2 группы коров по 5 голов (опытная и контрольная) в возрасте 2...3 лактации. Содержание животных привязное.

Скармливание коровам сравниваемых зерносмесей в составе кормовой смеси проводили в течение 35 дней. В кормосмесь также входили грубые корма (силос кукурузный, сено злаковое) и минерально-витаминные добавки (премикс, соль поваренная, источник кальция и фосфора).

Предварительно термически обработанные (путем микронизации) семена рыжика были включены в состав зерновой смеси № 2, по питательности она превосходила вариант зерносмеси № 1 (контроль) – 11,2 против 10,9 МДж/кг (табл. 1). В связи с этим количество зерносмеси в рационе опытной группы животных было уменьшено на 0,2 кг (с 7,2 до 7,0 кг). В результате обе группы коров получали полностью сбалансированные и идентичные по энергетической питательности рационы.

Для проведения микронизации семян рыжика использовали модернизированную установку УТЗ-4, состоящую из нагревательной камеры с кварцевыми галогенными лампами мощностью 1 кВт, расположенной над ленточным транспортером из жаропрочного материала. Под транспортером располагаются нагревательные тены мощностью 1 кВт. Время нахождения семян на ленте транспортера в зоне обработки – 70 с.

Контроль физиологического состояния коров осуществляли путем исследований крови, взятой из яремной вены в последний день экспериментального скармливания, проанализированной с использованием биохимического анализатора (Mindray VA-88A). Жирнокислотный состав молока коров определяли на газовом хроматографе «Хроматэк-Кристалл 5000» по ГОСТ 32915, качественные показатели молока – на анализаторах КЛЕВЕР-2 и СОМАТОС-мини, согласно нормативной документации (ТР ТС 033-2013, ТР ТС 021-2011, ГОСТ 31449-2013, ГОСТ Р 52054-2003). Различия между изучаемыми показателями рассматривали как статистически значимые начиная с уровня вероятности ошибки  $p \leq 0,05$ .

**Табл. 2. Биохимические показатели крови коров**

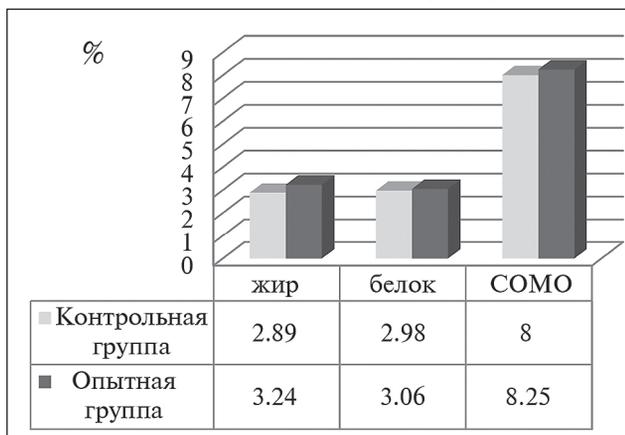
Показатель	Референтный диапазон	Группа	
		контрольная	опытная
Общий белок, г/л	72...86	83,77 ± 1,27	86,73 ± 1,10
Глюкоза, ммоль/л	2,22...3,88	1,41 ± 0,09	1,67 ± 0,08*
Мочевина, ммоль/л	1,65...6,5	3,07 ± 1,50	1,63 ± 0,18*
Билирубин общий, мкмоль/л	0,5...10,0	6,77 ± 0,49	5,73 ± 0,40
Билирубин прямой, мкмоль/л	0,2...5,2	1,17 ± 0,05	1,07 ± 0,08
Билирубин непрямой, мкмоль/л	0,5...10,0	5,60 ± 0,46	4,67 ± 0,40
Холестерин общий, ммоль/л	1,3...6,1	5,29 ± 0,15	5,93 ± 0,10*
Триглицериды, ммоль/л	0,050...0,600	0,557 ± 0,210	0,290 ± 0,008
АлАТ, Ед/л	5,0...48,0	34,90 ± 4,03	46,97 ± 0,77*
АсАТ, Ед/л	28,0...154,0	79,13 ± 8,70	103,70 ± 9,31
Коэффициент де Ритиса	0,6...2,8	2,32 ± 0,24	2,21 ± 9,31
ГГТ, Ед/л	4,0...36,0	20,67 ± 2,72	19,33 ± 0,62
Щелочная фосфатаза, Ед/л	42...200	244,0 ± 25,5	252,3 ± 22,7

\*Различия с контрольной группой достоверны при  $p \leq 0,05$ .

Результаты и обсуждение. По данным биохимических показателей крови можно судить об интенсивности обменных процессов и, следовательно, об уровне молочной продуктивности животных. В наших исследованиях все изучаемые показатели крови у коров обеих групп находились в пределах физиологической нормы, соответствующей начальной стадии лактации – раздою. В этот период на фоне усиливающейся лактации в крови высокопродуктивных коров может снижаться уровень глюкозы и общего белка, повышаться содержание мочевины [12]. Содержание общего белка в крови коров опытной группы было выше величины аналогичного показателя в контрольной группе на 3 г/л ( $p > 0,05$ ), или на 3,5 % (табл. 2). Об успешном усвоении питательных веществ корма свидетельствовали изменения других величин показателей белково-углеводного обмена. Так, содержание глюкозы в крови коров опытной группы было выше на 0,26 ммоль/л ( $p \leq 0,05$ ), или на 18,4 %, а уровень мочевины, напротив, был ниже на 1,44 ммоль/л ( $p \leq 0,05$ ), или на 47 %, по отношению к аналогичным показателям в контрольной группе животных.

Известно, что, чем выше уровень мочевины и ниже уровень глюкозы в крови новотельных коров, тем напряженнее у них протекает азотистый обмен [3, 13]. Следовательно, у коров, потреблявших семена рыжика в составе концентратов, белково-углеводный обмен складывался лучше.

Среди различных ферментов, связанных с обменом аминокислот и белков, особый интерес представляют



**Качественные показатели молока коров.**

аспаратаминотрансфераза (АсАТ) и аланинаминотрансфераза (АлАТ). Они играют ключевую роль в обмене веществ, объединяя белковый, углеводный, жировой обмен и цикл трикарбоновых кислот, катализируя взаимопревращение аминокислот и  $\alpha$ -кетокислот при переносе аминогрупп. Соотношение активности трансаминаз АсАТ и АлАТ (коэффициент де Ритиса) изменяется при патологических состояниях [14]. Например, при гепатитах активность АлАТ увеличивается, а коэффициент снижается до 0,6. В нашем исследовании в крови животных обеих групп соотношение активностей ферментов находилось практически на одном уровне, что указывает на безвредность использования семян рыжика для организма коров. При этом необходимо отметить, что у животных опытной группы активность аминотрансфераз была значительно выше, чем у особей контрольной группы: АсАТ – на 24,57 Ед/л ( $p > 0,05$ ), АлАТ – на 12,07 Ед/л ( $p \leq 0,05$ ), что составляет 31 и 34,6 % соответственно по отношению к показателям в контроле. Такие изменения, по-видимому, связаны с увеличением количества жирных кислот в корме.

Показатели активности щелочной фосфатазы, обеспечивающей обмен фосфора в организме, и гамма-глутамилтрансферазы (ГГТ), участвующей в обмене аминокислот, в обеих группах находились на одном уровне.

Физиологически нормальное содержание общего холестерина в крови крупного рогатого скота находится

**Табл. 3. Жирнокислотный состав молока коров, %**

Группа жирных кислот (тривиальные названия)	Группа / период отбора молока		
	контрольная	опытная	
		в конце периода скармливания	перед опытным кормлением
Сумма насыщенных жирных кислот (пальмитиновая, стеариновая, миристиновая, масляная, капроновая, лауриновая, каприновая, каприловая, арахидовая, бегеновая)	67,5 ± 0,90	67,2 ± 0,80	66,0 ± 0,91
Сумма мононенасыщенных жирных кислот (олеиновая, пальмитолеиновая, миристолеиновая, капролеиновая, эруковая)	23,6 ± 0,51	24,2 ± 0,58	23,8 ± 0,39
Сумма полиненасыщенных жирных кислот:	2,7 ± 0,11	2,5 ± 0,05	3,6 ± 0,22**
линолевая	2,3 ± 0,10	2,2 ± 0,07	2,8 ± 0,13*
линоленовая (сумма изомеров)	0,4 ± 0,06	0,3 ± 0,05	0,8 ± 0,15*
Сумма других кислот, количество которых в составе молочного жира менее 0,05 %	6,2 ± 0,17	6,1 ± 0,19	6,6 ± 0,15

\*Различия с контрольной группой достоверны при  $p \leq 0,05$ ;

\*\*при  $p \leq 0,01$ .

в пределах 2,5...6,1 ммоль/л, триглицеридов (нейтральных жиров) – 0,22...0,60 ммоль/л [15]. Величины этих показателей напрямую зависят от состава кормов рациона, а также от уровня молочной продуктивности. В крови коров, потреблявших семена рыжика, уровень общего холестерина был выше на 0,64 ммоль/л ( $p \leq 0,05$ ), а триглицеридов, напротив, ниже на 0,267 ммоль/л ( $p > 0,05$ ) по отношению к соответствующим показателям в контроле. Повышение концентрации холестерина и одновременно снижение концентрации триглицеридов в крови у коров молочного типа в послеродовой период служат признаками раннего восстановления репродуктивной функции и гормонального баланса [16]. Вероятно, скармливание семян рыжика оказало поло-

жительное влияние и на липидный обмен в организме коров опытной группы.

Состояние гепатобилиарной системы у животных характеризует в том числе показатель содержания билирубина (свободного и связанного). Свободный (непрямой) билирубин – токсичный продукт распада гемоглобина, связанный (прямой) билирубин – прошедший через печень и связавшийся с глюкуроновой кислотой теряет токсичность [15]. В крови коров опытной группы свободного билирубина было меньше, чем у животных контрольной, на 0,93 мкмоль/л ( $p > 0,05$ ), или на 16,6 %, что свидетельствует о тенденции к повышению эффективности утилизации этого метаболита.

По результатам исследования жирнокислотного состава молока коров, потреблявших семена рыжика, установлено увеличение общего количества полиненасыщенных жирных кислот на 0,9...1,1 % ( $p \leq 0,01$ ). В частности, содержание незаменимой линолевой кислоты возросло, по сравнению с величинами этого показателя в опытной группе до начала эксперимента и контрольной группе, на 0,5...0,6 % ( $p \leq 0,05$ ), линолевой – на 0,4...0,5 % ( $p \leq 0,05$ ) (табл. 3). Основная роль этих кислот заключается в том, что они могут быть биохимическими предшественниками некоторых длинноцепочечных полиненасыщенных жирных кислот (с 20 или 22 атомами углерода), необходимых для поддержания нормального функционирования клеток и синтеза ряда гормонов [17].

Организм коров в период раздоя на фоне интенсивного расхода запасных питательных веществ собственного тела для синтеза молока испытывает повышенную метаболическую нагрузку даже при потреблении качественных кормов. Физиологическое состояние животных характеризуется интенсивной мобилизацией жира для поддержания энергетического баланса в организме при усиливающейся лактации. В результате сдвигов в обмене веществ у коров, особенно старшего возраста, повышается риск метаболических нарушений [18, 19], связанных с дефицитом энергии и питательных веществ [20]. При этом для обеспечения усиленного синтеза молока расходуются липопротеиды тканей, что приводит к уменьшению живой массы новотельных коров, возникновению кетозов, гепатозов и других заболеваний [21], обуславливающих снижение молочной продуктивности, ухудшение функции воспроизводства [22].

Молоко коров обеих групп соответствовало нормативным требованиям по содержанию жира, белка, сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), плотности, в нем отсутствовали признаки заболеваний вымени (маститы) – количество соматических клеток находилось в диапазоне  $1,72...2,42 \times 10^5/\text{см}^3$ . Использование в рационе дойных коров семян рыжика способствовало увеличению содержания в их молоке жира, по отношению к контрольной группе (см. рисунок), на 0,35 % ( $p \leq 0,05$ ), белка – на 0,08 % ( $p > 0,05$ ), СОМО – на 0,25 % ( $p \leq 0,05$ ).

Полученные данные согласуются с результатами скармливания дойным коровам в качестве белково-энергетической добавки некондиционных семян подсолнечника. Отмечалось повышение концентрации жира в сборном молоке, по отношению к рациону со жмыхом подсолнечным, на 0,2 % [23].

Выводы. Добавление в рацион коров семян рыжика не вызывало каких-либо функциональных нарушений в организме и физиологического напряжения в органах пищеварения коров. У животных, потреблявших семена рыжика, белково-углеводный и жировой обмены протекали более интенсивно. Концентрация глюкозы в их крови была выше на 0,26 ммоль/л, общего холестерина

– на 0,64 ммоль/л, активность ферментов переаминирования, в частности, АЛАТ – на 12,07 Ед/л, содержание мочевины – ниже на 1,44 ммоль/л.

Таким образом, для балансирования рационов лактирующих коров возможно использование зерносмеси, включающей семена рыжика посевного, прошедшие предварительную термическую обработку, в количестве 5 %. Добавление их в рацион в качестве источника энергии и протеина обеспечило повышение массовой доли жира в молоке коров на 0,35 %. Одновременно в его составе увеличилось содержание ряда полиненасыщенных жирных кислот, ценных для организма животных и человека: линолевой – до 1,3 раза, линоленовой – до 2,7 раза.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Всероссийского научно-исследовательского института использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

Образцы крови были отобраны опытными ветеринарными врачами при выполнении стандартных ветеринарных процедур согласно Решению Совета Евразийской экономической комиссии от 10 ноября 2017 года N 80, (в ред. от 14.12.2022 N 162) «Об утверждении Правил организации проведения лабораторных исследований (испытаний) при осуществлении ветеринарного контроля (надзора)» (<https://www.alt.ru/tamdoc/17sr0080/>). Порядок работы и протоколы с использованием животных были одобрены на заседании Ученого Совета ФГБНУ ВНИИТиН (протокол N 2 от 14 февраля 2024 г.) как соответствующие нормам и принципам биоэтики.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### Литература.

1. *Effect of a whey protein and rapeseed oil gel feed supplement on milk fatty acid composition of Holstein cows* / K. E. Kliem, D. J. Humphries, A. S. Grandison, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102. No. 1. P. 288–300. doi: 10.3168/jds.2018-15247
2. *Effects of feeding unprocessed oilseeds on methane emission, nitrogen utilization efficiency and milk fatty acid profile of lactating dairy cows* / C. Muñoz, R. Sánchez, A. M. T. Peralta, et al. // *Animal Feed Science and Technology*. 2019. Vol. 249. P. 18–30. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2019.01.015
3. Харитонов Е. Л. Физиология и биохимия молочного скота. Боровск: Изд-во «Оптима Пресс», 2011. 372 с.
4. Филиппова О. Б., Кийко Е. И., Маслова Н. И. Натуральное зерно люпина в рационах коров // *Зоотехния*. 2016. № 12. С. 11–15.
5. Николаев С. И., Кучерова И. А., Чехранова С. В. Использование рыжикового жмыха в кормлении телят // *Научный журнал КубГАУ*. 2014. № 101. С. 1330–1343.
6. *Изучение закономерностей предварительной экструзионной подготовки масличных культур к процессу пресования* / Л. Н. Фролова, В. Н. Василенко, И. В. Драган и др. // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2015. № 2. С. 27–29.
7. Прахова Т. Я., Турина Е. Л., Прахов В. А. Жирнокислотный состав озимого рыжика в зависимости от региона возделывания // *Таврический вестник аграрной науки*. 2020. № 4 (24). С. 152–160.

8. Изменчивость хозяйственно ценных признаков масличных культур при эколого-географических испытаниях / В. А. Гаврилова, А. Г. Дубовская, Н. Г. Конькова и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2007. № 5. С. 26–41.
9. К вопросу о термической обработке семян рыжика посевного для использования в животноводстве / О. Б. Филиппова, А. Н. Машков, А. И. Фролов и др. // *Наука в центральной России*. 2023. № 4(64). С. 28–36.
10. Мишуров Н. П. Перспективная технология производства комбикормов с микронизированными зерновыми компонентами // *Техника и технологии в животноводстве*. 2014. № 1(13). С. 12–18.
11. Зеленина О. Н., Прахова Т. Я. Жирно-кислотный состав маслосемян озимого рыжика сорта Пензяк // *Масличные культуры*. 2009. № 2(141).
12. Требухов А. В. Изменения биохимических показателей крови у коров и телят при нарушении углеводного и жирового обмена // *Ветеринария*. 2021. № 5. С. 50–54.
13. Боголюбова Н. В., Романов В. Н., Багиров В. А. Метаболический профиль коров при коррекции питания в конце сухостойного периода и начале лактации // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 1. С. 47–50.
14. Диагностическое значение биохимических показателей крови при гепатопатологиях / Е. В. Кузьминова, М. П. Семенов, Е. А. Старикова и др. // *Ветеринария Кубани*. 2013. № 5. С. 11–13.
15. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник / под ред. проф. И. П. Кондрахина. М.: КолосС, 2004. 520 с.
16. Репродуктивный статус и биохимические показатели крови у голштинских коров с разной молочной продуктивностью в связи с обменом липидов в послетельный период / И. Ю. Лебедева, В. Б. Лейбова, А. А. Соломахин и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 6. С. 1180–1189.
17. Гладышев М. И. Незаменимые полиненасыщенные жирные кислоты и их пищевые источники для человека // *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. 2012. Т. 5. № 4. С. 352–386.
18. Disturbed bovine mitochondrial lipid metabolism: a review / J. H. Han van der Kolk, J. J. Gross, V. Gerber, et al. // *Vet. Quart.* 2017. Vol. 37 (1). P. 262–273. doi: 10.1080/01652176.2017.1354561.
19. Plasma metabolite changes in dairy cows during parturition identified using untargeted metabolomics / Z. Z. Luo, L. H. Shen, J. Jiang, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102. No. 5. P. 4639–4650. doi: 10.3168/jds.2018-15601.
20. McGuffey R. K. A 100-Year Review: Metabolic modifiers in dairy cattle nutrition // *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100. No. 12. P. 10113–10142. doi: 10.3168/jds.2017-12987.
21. Considering choline as methionine precursor, lipoproteins transporter, hepatic promoter and antioxidant agent in dairy cows / I. H. R. Abbasi, F. Abbasi, R. N. Soomro, et al. // *AMB Express*. 2017. Vol. 7(1). P. 214. doi: 10.1186/s13568-017-0513-z.
22. Influence of lipoproteins at dry-off on metabolism of dairy cows during transition period and on postpartum reproductive outcomes / M. Crociati, L. Sylla, C. Floridi, et al. // *Theriogenology*. 2017. Vol. 94. P. 31–36. doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.02.007.
23. Филиппова О. Б., Куйко Е. И., Зазуля А. Н. Включение в рацион молочных коров некондиционных семян подсолнечника в качестве энергетической добавки // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2018. № 3. С. 26–30.

Поступила в редакцию 19.08.2024  
 После доработки 01.10.2024  
 Принята к публикации 14.01.2025

**Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация**

УДК 631.51

DOI 10.31857/S2500262725010123 EDN CTGRTQ

**ДЕФОРМАЦИЯ РЕБЕР И СМЯТИЕ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПЛАСТА ПРИ ЕГО ОБОРОТЕ В СОБСТВЕННОЙ БОРОЗДЕ**© 2025 г. **Ю. С. Ценч**, доктор технических наук, **Я. П. Лобачевский**, доктор технических наук, академик РАН, **В. В. Шаров**, кандидат технических наук, **Н. В. Алдошин**, доктор технических наук*Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,  
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5  
E-mail: vimasp@mail.ru*

*Почвенный пласт в процессе своего оборота подвергается сложным деформациям, под воздействием которых происходит его смятие и разрушение. Выявление характера и величин деформаций почвенного пласта в процессе оборота позволяет осуществлять проектирование плужных поверхностей с наиболее рациональными конструктивно-технологическими параметрами. Перспективный прием обработки почвы, обеспечивающий слитную выровненную поверхность пашини, – оборачивание почвенного пласта на 180 °С в собственную борозду. Технология вспашки с оборотом пласта в собственную борозду обеспечивает разрушение пласта по линиям наименьших почвенных связей. Цель исследований – количественная оценка деформационных изменений почвенного пласта при обороте в собственной борозде. Изучены деформация ребер и смятие поперечного сечения пласта в зависимости от его параметров и интенсивности закручивания при обороте. Проведена оценка величины смятия почвенного пласта в зависимости от его размерных характеристик. Обнаружены новые деформационные явления, возникающие в процессе его целенаправленного движения и установлены закономерности влияния геометрических параметров пласта на деформацию ребер и смятие поперечного сечения. В результате оптимизации параметров пласта возможен подбор варианта, когда почва будет разрушаться в основном под воздействием растягивающих деформаций, что выгодно с энергетической точки зрения.*

**DEFORMATION OF THE RIBS AND CRUMPLING OF THE SOIL LAYER CROSS-SECTION DURING ITS ROTATION IN ITS OWN FURROW****Yu. S. Tsench, Ya. P. Lobachevsky, V. V. Sharov, N. V. Aldoshin***Federal Scientific Agroengineering Center VIM,  
109428, Moskva, 1-i Institutskii proezd, 5  
E-mail: vimasp@mail.ru*

*In the process of its turnover, the soil layer undergoes complex deformations, under the influence of which it crumples and collapses. The identification of the nature and magnitude of deformations of the soil layer during turnover allows the design of plough surfaces with the most rational structural and technological parameters. A promising method of soil treatment, providing a cohesive leveled surface of arable land, is to wrap the soil layer by 180 °C into its own furrow. The technology of plowing with the turnover of the formation into its own furrow makes it possible to ensure the destruction of the formation along the lines of the least soil connections. The purpose of the work is to quantify the deformation changes of the soil layer during its rotation in its own furrow. Deformations of the ribs and crumpling of the cross-section of the formation are studied depending on its parameters and the intensity of twisting during rotation. The amount of crumpling of the soil layer has been estimated depending on its dimensional characteristics. Theoretical and experimental studies of the turnover of the soil stratum into its own furrow have made it possible to detect new deformation phenomena that occur during its purposeful movement and to establish patterns of influence of the geometric parameters of the stratum on the deformation of the ribs and the crumpling of the cross section. As a result of optimizing the formation parameters, it is possible to select an option when the soil will collapse mainly under the influence of tensile deformations, which is beneficial from an energy point of view.*

**Ключевые слова:** обработка почвы, гладкая вспашка, оборот пласта, собственная борозда, деформация, смятие, конструктивные параметры.

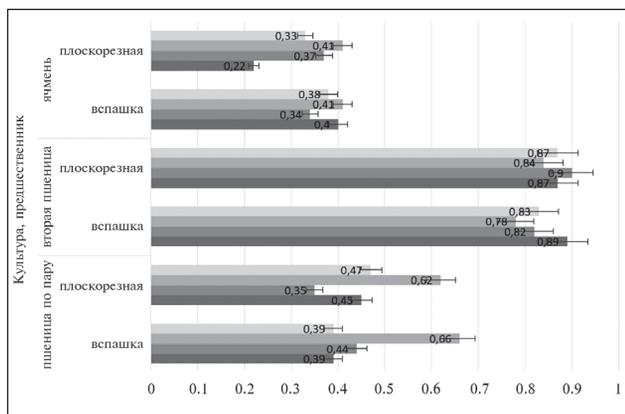
**Keywords:** tillage, smooth plowing, reservoir turnover, own furrow, deformation, crumpling, structural parameters.

Существенным шагом в уменьшении энергоемкости и повышении качества процесса вспашки является технология, обеспечивающая оборот почвенных пластов на 180° с укладкой их в свои собственные борозды (рис. 1). При таком способе вспашки разрушение пласта происходит в основном за счет деформаций растяжения по линиям наименьших почвенных связей, что обеспечивает некоторую экономию энергии на вспашке [1, 2].

Технология вспашки с оборотом пласта в собственную борозду сулит и агротехнические преимущества: возможна полная заделка растительных остатков, минеральных и органических удобрений на глубину вспашки; поле приобретает выровненный характер без развальных

борозд и свальных гребней; эрозионно-опасные частицы, которые накапливаются на поверхности поля после многократной поверхностной обработки и воздействия движителей трактора, заделываются на дно борозды; сокращается время основной обработки поля за счет четкого способа движения агрегата и исключения разбивки поля на загоны перед началом работы [3].

В процессе оборота при вспашке пласт почвы подвергается сложным деформациям, под воздействием которых происходит его смятие и разрушение. Деформации возникают как от растяжения, так и от сжатия пласта. Зона сжимающих усилий, возникающих в пласте при его обороте в соседнюю борозду, находится в районе опорного ребра Д, относительно которого происходит вра-



**Рис. 1. Схема оборота теоретического пласта в собственную борозду: ABCD – начальное положение поперечного сечения пласта, A'B'C'D' – положение поперечного сечения пласта при повороте на 90°, A''B''C''D'' – положение поперечного сечения пласта при повороте на 180°. ZXY – оси прямоугольной системы координат. S – расстояние, на котором происходит оборот поперечного сечения пласта на 180°.**

щение. Величина зоны сжатия очерчивается радиусом вращения центра тяжести поперечного сечения пласта и зависит от его параметров: ширины (соответствует ширине корпуса плуга) и высоты (глубина обработки) [4, 5].

Исследование характера и величины деформаций почвенного пласта позволит осуществлять проектирование плужных поверхностей с наиболее рациональными конструктивно-технологическими параметрами, обеспечивающими требуемые воздействия на обрабатываемую среду [6, 7].

Такой подход согласуется с подходом основоположника земледельческой механики, академика В. П. Горячкина, изложенной в работе, посвященной поверхности отвала. Он писал: «Рациональный способ проектирования поверхностей отвала должен заключаться в следующем: сначала надо было бы выяснить ту деформацию, которую должен претерпеть пласт при прохождении по отвалу, а затем подобрать подходящую, математически правильную поверхность. Но пока этот идеал является недостижимым. Можно поставить обратную задачу: задаться какой-либо поверхностью и рассмотреть задачу о том, как эта поверхность может деформировать пласт...» [8].

Цель исследований – количественная оценка деформационных изменений ребер и сечения почвенного пласта при его обороте в собственной борозде.

**Методика.** Рассмотрим деформацию характерных ребер теоретического пласта. Зная длину ребра до ( $L_0$ ) и после закрутки пласта ( $L_i$ ), можно определить его деформацию  $E_r$  (удлинение или сжатие):

$$E_r = \frac{L_i - L_0}{L_0} \cdot 100\% = \left( \frac{L_i}{L_0} - 1 \right) \cdot 100\%. \quad (1)$$

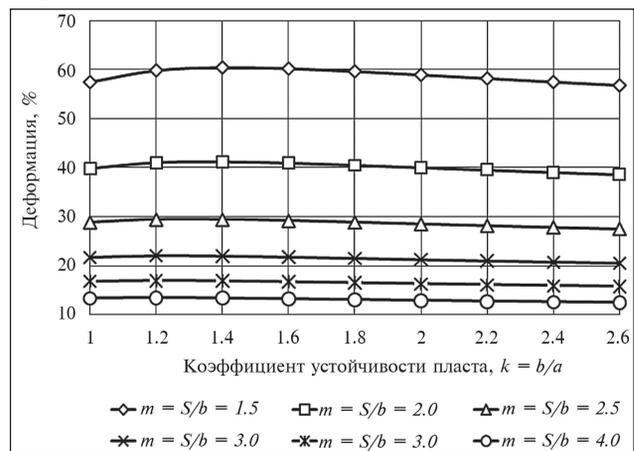
Деформации ребер A-A'-A'', B-B'-B'', C-C'-C'', D-D'-D'' определялись при различной толщине пласта (0,15; 0,20; 0,25; 0,30 м) и с изменяющимися параметрами коэффициента устойчивости пласта  $k$  (отношение ширины пласта  $b$  к его толщине  $a$ ) в интервале 1,0...2,6 с шагом 0,2 и коэффициента закрутки пласта  $\mu$  (отношение длины, на которой пласт оборачивается  $S$  к его ширине  $b$ ) в интервале 1,5...4,0 с шагом 0,5. Многовариантные расчеты проводились на ЭВМ с помощью программы электронных таблиц Excel.

Выполненные с помощью математических моделей исследования кинематики полного (на 180°) оборота пласта в свою борозду на длине  $S$  с размерами,  $a \times b \times L_0$  позволили определить виды и значения возникающих деформаций характерных ребер и их зависимости от геометрических параметров. Установлено, что в интервале от 0 до  $\pi/2$  рад. все ребра пласта подвергаются растяжению. Динамика деформаций различна, но в итоге суммарные деформации в интервале от 0 до  $\pi$  радиан у ребер A-A'-A'' и B-B'-B'' равны между собой, также как и у ребер C-C'-C'' и D-D'-D''.

Наибольший интерес представляет исследование деформаций, возникающих на участке от 0 до  $\pi/2$  рад., так как именно на нем происходит основное разрушение почвенного пласта в процессе оборота.

Анализ проведенных расчетов показывает, что величины деформаций ребер пласта идентичны для всех значений толщины пласта  $a$  при условии, что коэффициенты  $k$  и  $\mu$  одинаковы.

Ребра A-A'-A'' и B-B'-B'' в интервале от 0 до 90° имеют различные значения деформаций. Так, при  $k = 1,0$  и  $\mu = 1,5$  деформация ребра B-B'-B'' максимальна и составляет 77,37 %, что на 25,70 % больше, чем деформация ребра A-A'-A''. При  $k = 2,6$  и  $\mu = 4,0$  деформация ребра B-B'-B'' минимальна (12,33 %), что на 0,64 % меньше, чем деформация ребра A-A'-A''. Примерно одинаковые значения деформаций ребер A-A'-A'' и B-B'-B'' отмечается при  $k = 2,0$  и  $\mu = 4,0$ , соответственно, 12,84 % и 12,75 %. Графические зависимости деформации ребра A-A'-A'' в зависимости от коэффициента устойчивости пласта  $k$  в интервале оборота от 0 до 90° приведены на рис. 2.



**Рис. 2. Зависимости деформаций ребра A-A'-A'' теоретического пласта от коэффициента устойчивости пласта  $k$  при различных значениях  $\mu$  в интервале от 0 до 90°.**

С ростом коэффициента  $\mu$  от 1,5 до 4,0 деформация ребра B-B'-B'' уменьшается по плавной зависимости с 77,25 % до 18,13 %, при  $k = 1$ , то есть ее величина изменяется на 76,53 % (рис. 3).

При  $k = 2,6$  деформация ребра B-B'-B'' уменьшается на 78 %, с 56,05 % до 12,33 %. При одних и тех же значениях  $\mu$ , но с увеличением коэффициента  $k$  деформация ребра B-B'-B'' уменьшается на 27,53 %, с 77,25 % ( $k = 1$ ) до 56,05 % ( $k = 2,6$ ) при  $\mu = 1,5$ . При  $\mu = 4,0$  деформация ребра B-B'-B'' с ростом  $k$  уменьшается на 31,99 %, с 18,13 % ( $k = 1$ ) до 12,33 % ( $k = 2,6$ ). Интенсивность изменения деформации ребра B-B'-B'' с ростом коэффициента  $k$  замедляется.

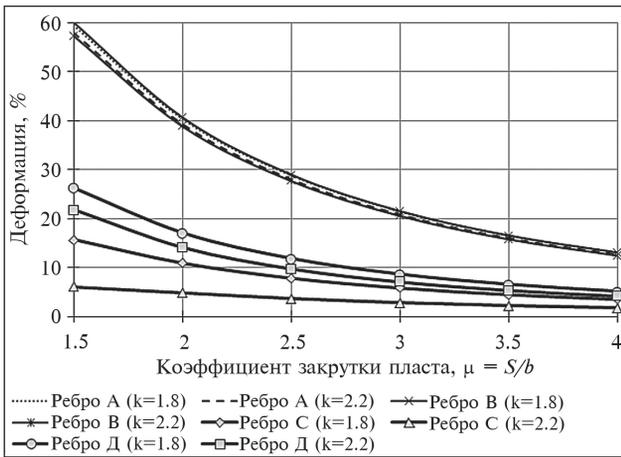


Рис. 3. Зависимости деформаций ребер А-А'-А'', В-В'-В'', С-С'-С'' и Д-Д'-Д'' теоретического пласта от его геометрических параметров в интервале от 0 до 90°.

Примерно такие же процентные показатели деформации, как у ребра В-В'-В'', присущи и деформации ребру А-А'-А'', а их характеры графических зависимостей аналогичны.

Ребра С-С'-С'' и Д-Д'-Д'' деформируются в меньшей степени, чем ребра А и В, а при возрастании коэффициента  $k$  свыше 2,5 проявляется сжатие ребра С-С'-С''. Деформация ребра С-С'-С'' максимальна при  $k = 1,0$  и  $\mu = 1,5$ , ее значение составляет 57,37 %. Ребро Д-Д'-Д'' в этом случае деформируется на 42,13 %. Минимальное значение деформации ребра С-С'-С'' составляет 0,32 % (ребро сжимается) при  $k = 2,6$  и  $\mu = 1,5$ , при этом деформация ребра Д-Д'-Д'' составляет 18,55 %. Деформации ребер С-С'-С'' и Д-Д'-Д'' примерно одинаковы. При значениях  $k = 1,4$  и  $\mu = 2,5$  их величины соответственно равны 14,97 % и 15,02 %.

**Результаты и обсуждение.** Проведенные исследования показывают, что ребра пласта деформируются в довольно большом диапазоне. Манипулируя параметрами  $k$  и  $\mu$ , всегда можно подобрать необходимую величину деформации, при которой пласт остается цельным или

разрушается. Так, при проектировании отвала для работы на задерненных почвах необходимо стремиться к минимальной деформации ребер пласта, это дает возможность оборачивать его сплошной неразрывной лентой, что обеспечивает выровненную поверхность пашни. Наоборот, при вспашке старопахотных почв деформация должна быть максимальной, при которой обеспечивается разрушение целостности пласта на отдельные структурные агрегаты.

Суммарные деформации ребер А-А'-А'' и В-В'-В'' пласта в интервале от 0 до 180° так же, как и ребер С-С'-С'' и Д-Д'-Д'', равны между собой.

Величина деформаций ребер зависит от геометрических параметров пласта  $a$ ,  $b$  и длины  $S$ , на которой происходит оборот пласта. Анализ расчетных данных показывает, что величина деформаций ребер А-А'-А'', В-В'-В'' больше, чем ребер С-С'-С'', Д-Д'-Д'' в 2,2...2,3 раза. Это существенная разница в принципе указывает на то, что в процессе оборота пласта на 180° по его объему создаются неодинаковые растягивающие деформации, что может привести к неравномерному крошению почвы в пахотном слое [9].

Проведенными исследованиями установлено, что все ребра пласта А-А'-А'', В-В'-В'', С-С'-С'' и Д-Д'-Д'' подвергаются деформациям растяжения. Отсюда можно сделать вывод о разрушении почвенного пласта преимущественно под воздействием растягивающих усилий, что является рациональным с энергетической точки зрения.

Однако при осуществлении оборота в собственную борозду в пласте присутствует зона (в районе центральной линии пласта), в которой деформации сжатия и растяжения близки к нулю. Это значит, что в этом месте разрушение почвы минимально или вообще не происходит (во многом это зависит от физико-механических свойств почвы) [10, 11] (рис. 4).

Выявленные теоретические зависимости деформаций ребер пласта создают предпосылку к обоснованию рациональных параметров лемешно-отвальных поверхностей на стадии проектирования. При этом на первом этапе создания нового корпуса плуга можно задаваться необходимой деформацией почвенного пласта, а затем уже проектировать под эти условия рабочую поверхность.

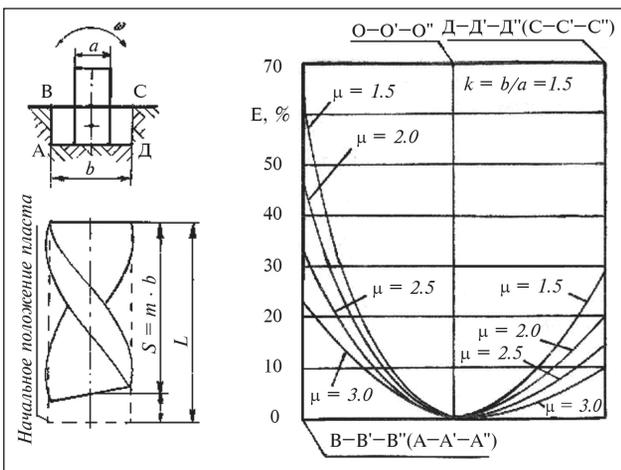


Рис. 4. Деформации ребер А-А'-А'', В-В'-В'', С-С'-С'', Д-Д'-Д'' теоретического пласта при его обороте в собственную борозду на 180°:  $a$  – толщина пласта,  $b$  – ширина пласта,  $L$  – первоначальная длина пласта,  $S$  – расстояние, на котором происходит полный оборот пласта,  $\Delta L$  – продольное перемещение поперечного сечения пласта,  $E$  – деформация ребер пласта.

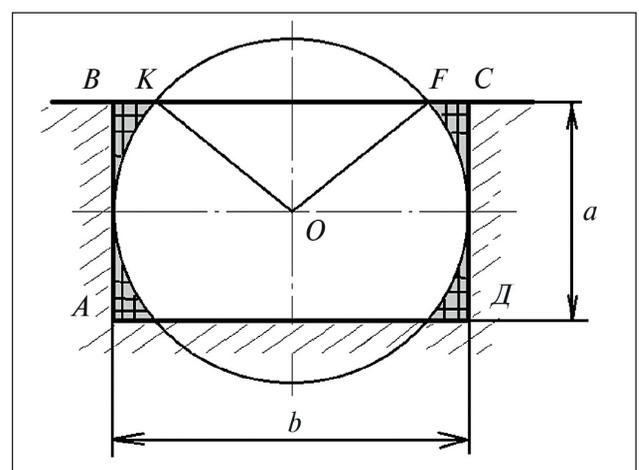


Рис. 5. Места смятия (заштрихованы) поперечного сечения пласта размером  $a \times b$  в процессе оборота: АВСД – поперечное сечение пласта, О – центр поперечного сечения пласта, точки К и F – места пересечения окружности (с центром в точке О) радиусом  $b/2$  с гранью поперечного сечения пласта ВС.

**Смятие поперечного сечения пласта.** Анализ оборота поперечного сечения пласта в габаритах собственной борозды показывает, что его поперечные габариты выходят за границы стенок борозды (рис. 5).

При осуществлении вспашки это может привести либо к уплотнению (смятию) поперечного сечения пласта, либо к частичному скалыванию сминаемого объема и перераспределению его по другим местам. В любом случае это должно сказываться на качественных и энергетических показателях работы плуга, поэтому целесообразно провести теоретические исследования такого явления применительно к различным размерам пласта [12, 13, 14].

Величину смятия поперечного сечения пласта можно определить как часть деформируемой площади, выраженной в процентах от полной площади поперечного сечения пласта:

$$\delta = \frac{S_{CM}}{S_{\Pi}} \cdot 100\% \quad (2)$$

где  $S_{\Pi}$  – полная площадь поперечного сечения пласта,  $m^2$ ;  $S_{CM}$  – часть площади поперечного сечения пласта, сминаемой в процессе оборота,  $m^2$ .

На рис. 5 показана величина площади смятия  $S_{CM}$  поперечного сечения пласта при его обороте на  $180^{\circ}$ . Площадь смятия определяется как разность между площадью прямоугольника ABCD –  $S_{\Pi}$  и площадью части круга  $S_{KP}$  радиусом  $b/2$ , отсекаемой большими сторонами AD и BC прямоугольника ABCD. Часть площади круга определяется как разность между площадью круга  $S_{KP}$  и площадями двух сегментов, отсекаемых от круга сторонами AD и BC прямоугольника ABCD.

В формализованном виде определение площади смятия можно записать следующим образом:

$$S_{CM} = S_{\Pi} - S_{KP} + 2 \cdot S_{CEK.OKF} - 2 \cdot S_{TP.OKF} \quad (3)$$

где  $S_{KP}$  – площадь круга радиусом  $R = b/2$ ,  $m^2$ ;  $S_{CEK.OKF}$  – площадь сектора OKF,  $m^2$ ;  $S_{TP.OKF}$  – площадь треугольника OKF,  $m^2$ .

Выразив значение площадей через толщину пласта  $a$  и коэффициент устойчивости  $k$ , формула по определению смятия поперечного сечения  $SCM$  примет вид:

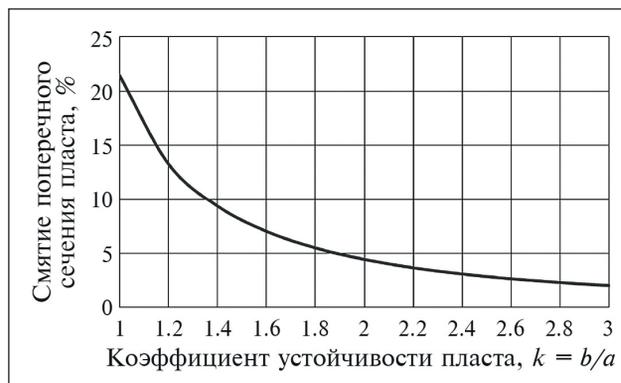
$$S_{CM} = k^2 \cdot a^2 \cdot \left( \frac{1}{k} - \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \cdot \arccos \frac{1}{k} - \frac{1}{2 \cdot k^2} \cdot \sqrt{k^2 - 1} \right). \quad (4)$$

Процентное содержание сминаемой площади поперечного сечения пласта составит:

$$\delta = k \cdot \left( \frac{1}{k} - \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \cdot \arccos \frac{1}{k} - \frac{1}{2 \cdot k^2} \cdot \sqrt{k^2 - 1} \right) \cdot 100\%. \quad (5)$$

Зависимость смятия поперечного сечения пласта  $\delta$  от значения коэффициента его устойчивости  $k$  носит плавный, ниспадающий характер (рис. 6). При  $k = 1$  значение процентного смятия поперечного сечения пласта максимально и равняется 21,5 %, при  $k = 3$  величина смятия поперечного сечения пласта равно 2 %. То есть при изменении  $k$  в три раза величина смятия изменяется в 10,5 раза.

Таким образом, при осуществлении оборота пласта в собственной борозде важное значение имеет величина отношения ширины пласта  $b$  к его толщине  $a$ . Согласно зависимости (рис. 6), чем больше величина  $k$ , тем меньше деформация поперечного сечения пласта, а значит, больше вероятность его оборота без заклини-



**Рис. 6.** Изменение смятия поперечного сечения пласта  $\delta$  в зависимости от значения коэффициента устойчивости пласта  $k$ .

вания в габаритах борозды. Однако при обосновании размеров поперечного сечения необходимо учитывать, что с ростом коэффициента устойчивости  $k$  возрастают подъем центра тяжести и продольное перемещение пласта, а также увеличивается неравномерность деформаций его ребер.

Явление смятия поперечного сечения пласта необходимо учитывать при проектировании лемешно-отвальных поверхностей с целью обеспечения точного оборота пласта, исключения забивания корпусов плуга почвой.

**Выводы.** Теоретические исследования оборота почвенного пласта в собственную борозду позволило оценить деформационную картину, возникающую в процессе его целенаправленного движения, и установить закономерности влияния геометрических параметров пласта на деформацию ребер и смятие поперечного сечения. Установлено, что путем варьирования параметров пласта возможен подбор режима его оборота, когда почва будет разрушаться в основном под воздействием растягивающих деформаций, что выгодно с энергетической точки зрения.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Исследования выполнены по госзаданию. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

#### СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

#### Литература.

1. Лобачевский Я. П., Ценч Ю. С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. № 4. С. 4–10.
2. *Агрономические основы инженерного обеспечения биологизации земледелия* / В. М. Косолапов, А. С. Цыгуткин, Н. В. Алдошин и др. // *Кормопроизводство*. 2022. № 3. С. 41–47.
3. Бейлис В. М., Ценч Ю. С. Методологические аспекты стандартизации машинных технологий производства продукции растениеводства // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. № 1(34). С. 61–67.

4. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы / С. И. Старовойтов, Ю. С. Ценч, В. М. Коротченя и др. // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. № 1. С. 16–21.
5. Justification of the soil dem-model parameters for predicting the plow body resistance forces during plowing / S. G. Mudarisov, Ya. P. Lobachevsky, I. M. Farkhutdinov, et al. // *Journal of Terramechanics*. 2023. Vol. 109. P. 37–44.
6. Развитие технологий полосной энергоресурсосберегающей обработки почвы / Б. Х. Ахалая, Ю. Х. Шогенов, Ю. С. Ценч и др. // *Технический сервис машин*. 2018. Т. 132. С. 232–237.
7. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного мобильного агрегата / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, Ю. С. Ценч и др. // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. № 4. С. 63–68.
8. Сақун В. А., Лобачевский Я. П., Сизов О. А. Современный этап и пути дальнейшего развития пахотных агрегатов // *Техника в сельском хозяйстве*. 1991. № 3. С. 9–12.
9. Шаров В. В. Оборота пласта без поперечного и продольного смещения (кинематика) // *Совершенствование рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных машин: сборник научных трудов*. М.: МИИСП, 1986.
10. Лобачевский Я. П. Разработка технологических основ создания фронтальных плугов для гладкой вспашки. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М, 1987. 245 с.
11. Теоретические аспекты оборота пласта в габаритах собственной борозды / Я. П. Лобачевский, В. В. Шаров, Н. В. Алдошин и др. // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. № 4. С. 4–9.
12. Ценч Ю. С., Шаров В. В., Миронова А. В. Обоснование длины отвала плужного корпуса винтового типа // *Технический сервис машин*. 2024. Т. 62. № 4. С. 123–129.
13. Миронова А. В. Технологические и физико-механические свойства задерненных почв // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. № 1. С. 63–68.
14. Технология восстановления целинных и залежных земель / А. В. Миронова, И. В. Лискин, А. И. Панов // *Технический сервис машин*. 2020. № 2 (139). С. 111–121.

**Поступила в редакцию 14.12.2024**  
**После доработки 18.01.2025**  
**Принята к публикации 11.02.2025**