

**Растениеводство, защита и биотехнология растений**

- Налбандян А.А., Федулова Т.П., Крюкова Т.И., Черепухина И.В., Куликова Н.В.**  
Полиморфные микросателлитные маркеры для изучения генетического разнообразия сахарной свеклы *Beta vulgaris* L 3
- Завалин А.А., Ньямбосе Д., Чернова Л.С., Баганова М.Е., Сапожников С.Н., Ипполитов М.А.**  
Использование яровой пшеницей азота удобрения при инокуляции семян биопрепаратами 9
- Черникова О.В., Мажайский Ю.А.**  
Влияние биостимуляторов на продуктивность многолетних трав, выращиваемых на основных типах почв 14
- Багринцева В.Н., Ивашенко И.Н.**  
Влияние некорневой подкормки растений удобрением Батр Цинк на формирование урожая кукурузы в Ставропольском крае 19
- Гладкова Е.В., Волкова Г.В., Игнатьева О.О.**  
Иммунологическая оценка сортов озимой пшеницы к стеблевой ржавчине пшеницы на юге России 22

**Агрочвоведение и агроэкология**

- Иванов Д. А., Тюлин В. А., Анциферова О. Н., Хархардинов Н. А.**  
Пространственно-временная динамика подземной биомассы агроценоза в пределах конечно-моренного холма 26
- Шихова Л.Н., Чеглакова О.А.**  
Изменение кислотности и состава ППК при длительном внесении возрастающих доз минеральных удобрений в дерново-подзолистой почве 32
- Аксенова Ю. В., Гиндемит А.М.**  
Состояние залежных земель степной зоны Омского Прииртышья и возможность их повторного введения в оборот 37

**Зоотехния и ветеринария**

- Лебедев С.В., Казакова Т.В., Маршинская О.В.**  
Оценка элементного состава сыворотки крови цыплят-бройлеров на фоне различной нутриентной обеспеченности рациона 45
- Челнокова М.И., Сулейманов Ф.И., Челноков А.А.**  
Синергетическое воздействие переменной температуры и красного светодиодного освещения во время инкубации на рост, метаболизм куриных эмбрионов и качество суточных цыплят яичного кросса 51
- М.В. Позовникова, В.Б. Лейбова, О.В. Тулинова, Е.А. Романова, Ю.С. Щербаков**  
Влияние количества соматических клеток с учетом их морфологической дифференциации на компонентный состав молока коров 57

**Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация**

- Лачуга Ю.Ф., Зинцов А.Н., Ковалев М.М., Перов Г.А.**  
Исследование процесса выравнивания ленты растений во второй фазе раздельной уборки льна-долгунца 63
- Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Старовойтов С.И., Квас С.А.**  
Конструктивная модернизация пневматических высевальных устройств 69

*Plant Growing, Plant Protection and Biotechnology*

- Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Kryukova T.I., Cherepukhina I.V., Kulikova N.V.**  
Polymorphic microsatellite markers to study sugar beet (*Beta vulgaris* L.) genetic diversity 3
- Zavalin A.A., Nyambose D., Chernova L.S., Baganova M.E., Sapozhnikov S.N., Ippolitov M.A.**  
Use of nitrogen fertilizer by spring wheat when inoculating seeds with biological preparations 9
- Chernikova O.V., Mazhaisky Yu.A.**  
The effect of biostimulants on the productivity of perennial grasses grown on the main types of soils 14
- Bagrintseva V.N., Ivashenenko I.N.**  
The influence of foliar plants fertilizing with fertilizer Batr Zinc on the corn yield formation in the Stavropol region 19
- Gladkova E.V., Volkova G.V., Ignatieva O.O.**  
Immunological evaluation of winter wheat varieties to wheat stem rust in the south of Russia 22

*Agricultural Soil Science and Agroecology*

- Ivanov D. A., Tyulin V. A., Antsiferova O. N., Kharkhardinov N. A.**  
Spatio-temporal dynamics of the underground biomass of agrocenosis within the finite moraine hill 26
- Shikhova L.N., Cheglakova O.A.**  
Change in acidity and composition of soil-absorbing complex at long-term application of increasing doses of mineral fertilizers into sod-podzolic soil 32
- Aksenova Yu. V., Gindemit A.M.**  
The state of the fallow lands of the steppe zone of the Omsk region and the possibility of their introduction into agricultural circulation 37

*Animal Science and Veterinary Medicine*

- Lebedev S.V., Marshinskaia O.V., Kazakova T.V.**  
Evaluation of the elemental composition of the blood serum of broiler chickens against the background of different nutrient supply of the diet 45
- Chelnokova M.I., Suleymanov F.I., Chelnokov A.A.**  
The synergistic effect of variable temperature and red led lighting during incubation on the growth, metabolism of chicken embryos and the quality of day-old egg-cross chickens 51
- Pozovnikova M.V., Leibova V.B., Tulinova O.V., Romanova E.A., Shcherbakov Yu.S.**  
Effect of the number of somatic cells, taking into account their morphological differentiation, on the component composition of cow's milk 57

*Mechanization, Electrification, Automation and Digitalization*

- Lachuga Yu. F., Zintsov A.N., Kovalev M. M., Perov G. A.**  
Investigation of the process of plant ribbon alignment in the second phase of fiber flax separate harvesting 63
- Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Starovoitov S.I., Kvas S.A.**  
Constructive modernization of pneumatic seeding devices 69

**Растениеводство, защита и биотехнология растений**

УДК 633.63:575.174.015.3

DOI: 10.31857/S2500262722060011, EDN: MIPBHN

**ПОЛИМОРФНЫЕ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫЕ МАРКЕРЫ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ *BETA VULGARIS* L.**

**А.А. Налбандян**, кандидат биологических наук, **Т.П. Федулова**, доктор биологических наук, **Т.И. Крюкова**, кандидат сельскохозяйственных наук, **И.В. Черепухина**, кандидат биологических наук, **Н.В. Куликова**

Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы и сахара имени А.Л. Мазлумова,  
396030, Воронежская обл., Рамонский район, п. ВНИИСС, 86  
E-mail: arpnal@rambler.ru

*Исследования проводили с целью выявления полиморфных микросателлитных маркеров для изучения генетического разнообразия сахарной свёклы. Материалом для исследования служили проростки мужско-стерильных (МС) линий сахарной свёклы, сростно- и раздельноплодных опылителей. В экспериментах использовали 11 полиморфных Unigenes-маркеров и 8 SSR-праймеров для тестирования исходных материалов. Диапазон длин, полученных ДНК-фрагментов, составляет от 80 до 3000 п.н. Большинство праймеров обеспечили стабильную амплификацию полиморфных фрагментов ДНК. Наибольший уровень полиморфного обеспечения (PIC) установлен для локусов, определенных с использованием праймеров: Unigene 27833 (PIC=0,89), Unigene 2305 (PIC=0,84), Unigene 17623 (PIC=0,84), Unigene 16898 (PIC=0,84), Unigene 24552 (PIC=0,64), Unigene 7492 (PIC=0,82), FD1002 (PIC=0,72), Sb15 (PIC=0,74). Эти локусы связаны с различными метаболическими процессами и играют большую роль в реализации защитных механизмов растений свёклы. Используемые праймеры позволили амплифицировать до 13 полиморфных полос на генотип. По SSR-локусу Unigene 27833 установлено 13 ПЦР-продуктов длиной 100...2800 п.н. Всего выявлено 162 ДНК-ампликона. Величина информационного полиморфизма (PIC) составила 0,89. Все включенные в анализ ядерные микросателлитные локусы у изученных образцов сахарной свёклы обнаруживают генетическую изменчивость, что позволяет рекомендовать их для использования при идентификации генотипов культуры. На основе выявленных аллелей рассчитана матрица генетической близости исследованных образцов сахарной свёклы, построены кластеры, рассчитано генетическое расстояние (по Эвклиду), в соответствии с алгоритмом программного обеспечения PAST составлены генетические паспорта. Наибольшее установленное генетическое расстояние (D) равно 5,83 отмечено между МС-формой и тетраплоидным опылителем Льговской селекции. С учетом удаленности исходных форм предложены родительские пары для создания гетерозисных гибридов сахарной свёклы.*

**POLYMORPHIC MICROSATELLITE MARKERS TO STUDY SUGAR BEET (*BETA VULGARIS* L.) GENETIC DIVERSITY**

**Nalbandyan A.A., Fedulova T.P., Kryukova T.I., Cherepukhina I.V., Kulikova N.V.**

A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar,  
396030, Voronezhskaya obl., Ramonskii raion, p. VNISS, 86  
E-mail: arpnal@rambler.ru

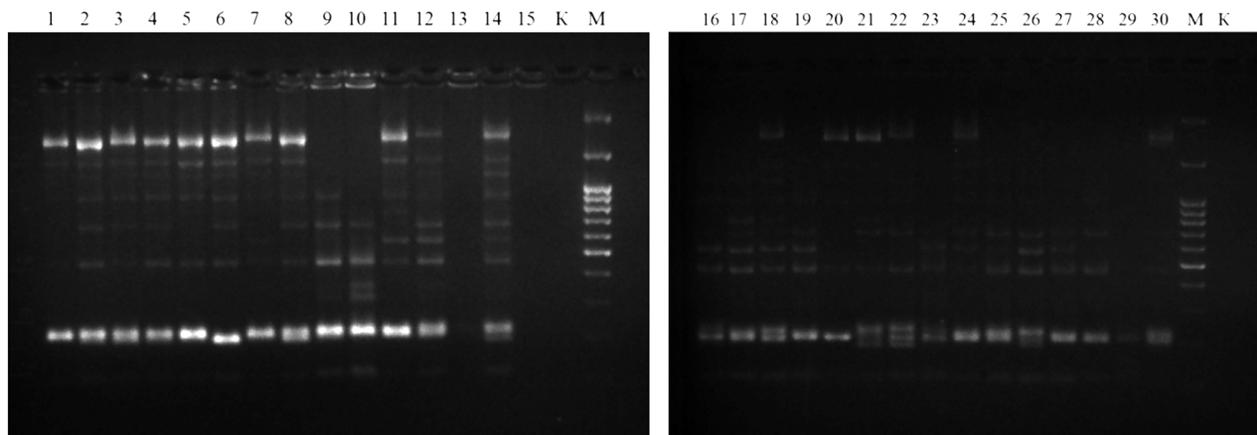
*Aim of the investigations is polymorphic microsatellite markers' revealing to study genetical diversity of sugar beet. Seedlings of sugar beet MS-lines, and multi- and monogerm pollinators have been the material for the investigation. In experiments, 11 polymorphic Unigenes-markers and 8 SSR-primers have been used to test starting materials. It has been determined that length range the obtained DNA-fragments is from 80 to 3000 b.p. Most of the primers have provided stable amplification of DNA polymorphic fragments. The greatest level of polymorphism information content (PIC) has been determined for the loci identified using the primers: Unigene 27833 (PIC=0,89), Unigene 2305 (PIC=0,84), Unigene 17623 (PIC=0,84), Unigene 16898 (PIC=0,84), Unigene 24552 (PIC=0,64), Unigene 7492 (PIC=0,82), FD1002 (PIC=0,72), Sb15 (PIC=0,74); and this enables clear differentiation of sugar beet breeding material. These loci have been related to various metabolic processes and play a large role in protective mechanisms of beet plants. The used primers make it possible to amplify up to 13 polymorphic bands per a genotype. In Unigene 27833, a SSR-locus, 13 PCR-products of 100-2800 b.p. in length have been identified. In total, 162 DNA-amplicons have been revealed. Value of polymorphism information content (PIC) is 0.89. From the data presented it follows that all nuclear microsatellite loci of the studied sugar beet samples included in the analysis show genetical variability that allows recommending them for use to identify genotypes of the crop. Based on the alleles revealed, the template of the investigated sugar beet samples' genetic affinity has been calculated, clusters have been constructed, and genetical distance (Euclidean) has been calculated. Genetical passports have been made according to PAST algorithm. The greatest determined genetical distance (D) is 5.83 between a MS-form and the tetraploid pollinator of developed by Lgovskaya Breeding Experimental Station. To produce sugar beet heterosis hybrids, parent pairs have been suggested taking into account distantly-related of initial forms.*

**Ключевые слова:** сахарная свёкла (*Beta vulgaris* L.), МС-формы, микросателлитные локусы, праймеры, полиморфизм, ПЦР-анализ, генетические расстояния

**Key words:** sugar beet (*Beta vulgaris* L.), MS-forms, microsatellite loci, primers, polymorphism, PCR-analysis, genetic distances

Генетическое разнообразие, природное или созданное человеком, служит основой для создания новых сортов и гибридов сельскохозяйственных растений. Один из основных подходов, которые лежат в основе современной селекции, – использование молекулярно-генетических маркеров, позволяющих оценить генетический ресурс растений. Молекулярные маркеры широко применяют при фило-

генетическом анализе, поиске функционально значимых генов, в маркерной селекции, паспортизации селекционных достижений, определении генетической чистоты линий и гибридов различных культур, в частности, сахарной свёклы. Современные технологии позволяют идентифицировать генетическое разнообразие сортов и гибридов, проводить картирование хромосом и характеристику генов [1, 2,



**Рис. 1.** Электрофоретическое разделение ПЦР-продуктов, полученных с праймерами к SSR-локусу *Unigene 27833*: 1...10 – МС, 11...20 – ОП (сростноплодный опылитель) 2х, 21...30 – ОП (сростноплодный опылитель) 4х, М – маркер молекулярных масс ДНК GeneRuler™ (ThermoScientific, США), К – (контроль, без ДНК).

3]. Сахарная свёкла в России в этом аспекте исследована не достаточным образом и представляет собой большой интерес, как для фундаментальной науки, так и в практических целях. В селекции этой культуры особое значение имеет стратегия отбора исходного материала, который должен содержать желаемые признаки и обладать достаточным уровнем дивергенции, чтобы обеспечить успех при создании высокопродуктивных гибридов. Использование ДНК-маркеров для оценки селекционных коллекций способно значительно ускорить процесс выделения перспективных форм с целью оптимизации подбора пар для скрещиваний. Создание новых гибридов сахарной свёклы связано с большими временными и экономическими затратами. Одним из перспективных подходов, позволяющих интенсифицировать селекционный процесс, – молекулярно-генетический анализ родительских гомозиготных линий и гибридов  $F_1$ . Среди различных методов молекулярного анализа полиморфных аллелей особенно выделяется система SSR-маркеров [4, 5, 6]. Микросателлитное маркирование эффективно для анализа родственных взаимосвязей и оценки генетического разнообразия растений [7, 8, 9]. Оценка генетического разнообразия и потока генов между дикими, культивируемыми и сорными формами *Beta vulgaris* L. с использованием RFLP и микросателлитных маркеров показала, что модели разнообразия конгруэнтны для обоих типов маркеров [10]. Генетическое разнообразие дикой свёклы оказалось более высоким и по аллельному числу, и по наблюдаемой гетерозиготности. Генофонд культурной свёклы был значительно меньше.

Одна из разновидностей микросателлитных маркеров – короткие tandemные повторы (STR), которые использовали Patil с соавторами [11]. Знание этих функциональных маркеров может быть непосредственно использовано для молекулярной селекции, поскольку они ярко выражены в экспрессируемых областях генома.

Цель исследований – выявление полиморфных ДНК-маркеров для изучения генетического разнообразия исходного материала сахарной свёклы и подбора дивергентных родительских пар для гибридизации.

**Методика.** Материалом для исследования служили генотипы сахарной свёклы селекции ФГБНУ «ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова» и Львовской опытно-селекционной станции: проростки МС-форм (91 линия), сростноплодных опылителей (51 линия, из них 10 – тетраплоидные и 41 – диплоидная). Для молекулярно-генетического анализа использовали по 5 проростков каждой линии.

Выделение геномной ДНК из растительной ткани осуществляли с использованием 20 % SDS и 7,5 М ацетата аммония, а также наборами для выделения ДНК (ООО «Синтол») [12]. Качество выделенной ДНК определяли путем электрофореза в 1,2 %-ном агарозном геле в присутствии бромистого этидия. Полученную ДНК растворяли в 10 мМ трис-НСl-буфера с pH 8,0, содержащем 0,1 мМ ЭДТА, и использовали для ПЦР-анализа. Классическую полимеразную цепную реакцию проводили на амплификаторах «Genius» (Великобритания) и SimpliAmp (Сингапур). Условия проведения ПЦР-реакции оптимизировали в соответствии с характеристиками праймеров.

Американские ученые на основе транскриптома, полученного вследствие экспрессии генов сахарной свёклы, создали 43 пары SSR-маркеров для *Unigene*, которые проявляли высокий полиморфизм и эффективно различали генетическое разнообразие среди генотипов культуры [13]. Эти локусы связаны с различными метаболическими процессами и играют большую роль в реализации защитных механизмов у растений свёклы. Мы использовали для тестирования селекционных материалов 11 полиморфных *Unigenes*-маркеров и 8 SSR-праймеров. В работе использовали следующие 19 праймеров к микросателлитным локусам генома: *Unigene 26753*, *Unigene 24552*, *Unigene 2305*, *Unigene 17623*, *Unigene 14805*, *Unigene 62524*, *Unigene 7492*, *Unigene 16898*, *Unigene 18963*, *Unigene 22373*, *Unigene 27833* [13], *Bvv21*, *Bvv23*, *Bvv32* [14], *FD 1002*, *BQ584456*, *BQ584493* [15], *Sb04*, *Sb15* [16].

Расчитывали меру информационного полиморфизма (polymorphism information content — PIC), которую определяет способность маркера выявлять полиморфизм в популяции в зависимости от числа обнаруживаемых аллелей и распределения их частот [17]. Расчёт генетических расстояний между генотипами сахарной свёклы и кластерный анализ осуществляли в программе *PAST*.

**Результаты и обсуждение.** В результате проведенного ПЦР-анализа исходных родительских линий сахарной свёклы (МС-форм, сростноплодных опылителей) и их гибридов выявлено генетическое разнообразие и полиморфизм. Установлено, что диапазон длин полученных ДНК-фрагментов составляет от 80 до 3000 п.н. Большинство праймеров обеспечили стабильную амплификацию полиморфных фрагментов ДНК. Наибольший уровень полиморфного обеспечения (PIC) установлен для локусов, определенных с использованием праймеров *Unigene 27833* (PIC=0,89), *Unigene 2304* (PIC=0,84), *Unigene 17623*

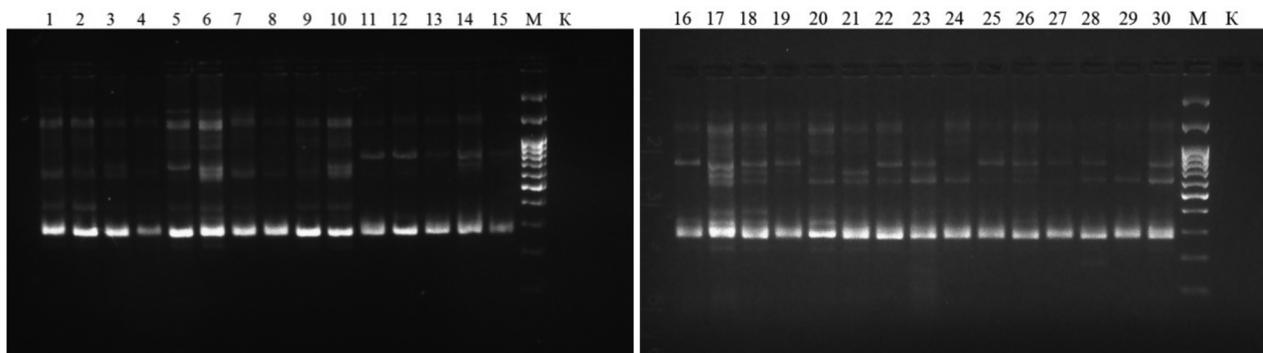


Рис. 2. Электрофоретическое разделение ПЦР-продуктов, полученных с праймерами к SSR-локусу Unigene 16898: 1...10 – МС, 11...20 – ОП 2х, 21...30 – ОП 4х. М – маркер молекулярных масс ДНК GeneRuler™ (ThermoScientific, США), К – (контроль, без ДНК).

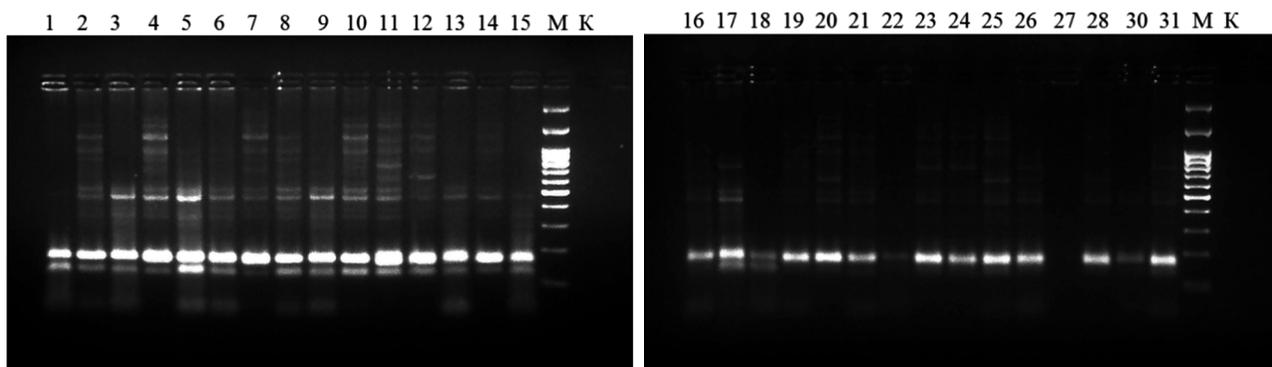


Рис. 3. Электрофоретическое разделение ПЦР-продуктов, полученных с праймерами к SSR-локусу Unigene 17623: 1...10 – МС, 11...20 – ОП 2х, 21...30 – ОП 4х. М – маркер молекулярных масс ДНК GeneRuler™ (ThermoScientific, США), К – (контроль, без ДНК).

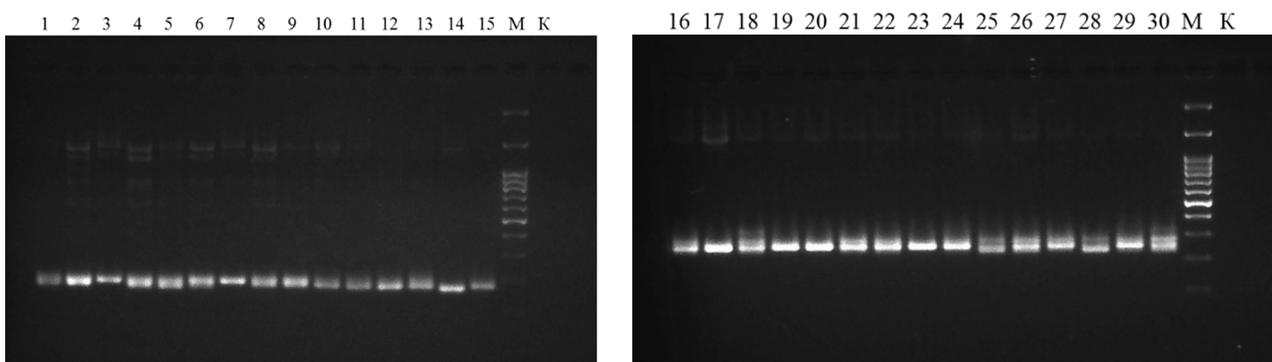


Рис. 4. Электрофоретическое разделение ПЦР-продуктов, полученных с праймерами к SSR-локусу Unigene 24552: 1...10 – МС, 11...20 – ОП 2х, 21-30 – ОП 4х. М – маркер молекулярных масс ДНК GeneRuler™ (ThermoScientific, США), К – (контроль, без ДНК).

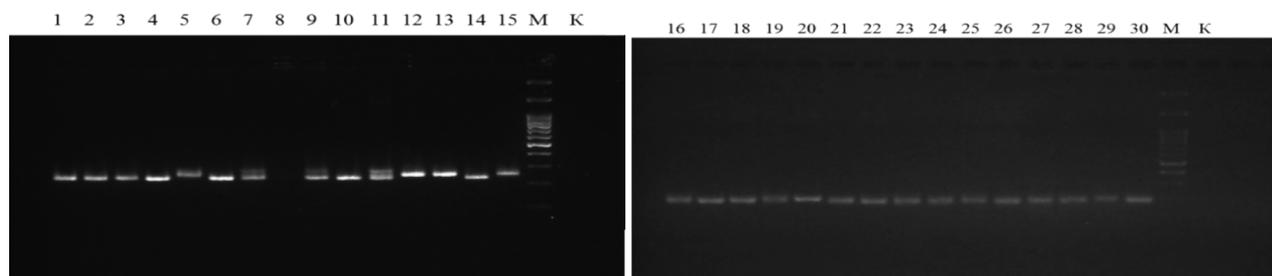


Рис. 5. Электрофоретическое разделение ПЦР-продуктов, полученных с праймерами к SSR-локусу Unigene 7492: 1...10 – МС, 11...20 – ОП 2х, 21-30 – ОП 4х. М – маркер молекулярных масс ДНК GeneRuler™ (ThermoScientific, США), К – (контроль, без ДНК).

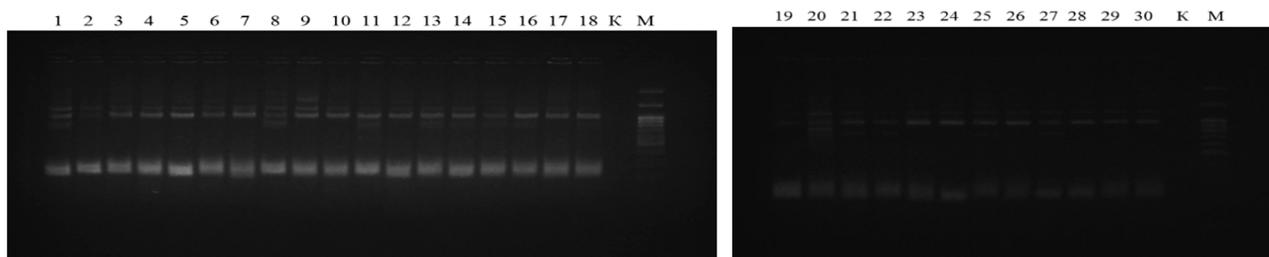


Рис. 6. Электрофоретическое разделение ПЦР-продуктов, полученных с праймерами к SSR-локусу FD1002: 1...10 – MC, 11...20 – ОП 2х, 21...30 – ОП 4х, М – маркер молекулярных масс ДНК GeneRuler™ (ThermoScientific, США), К – (контроль, без ДНК).

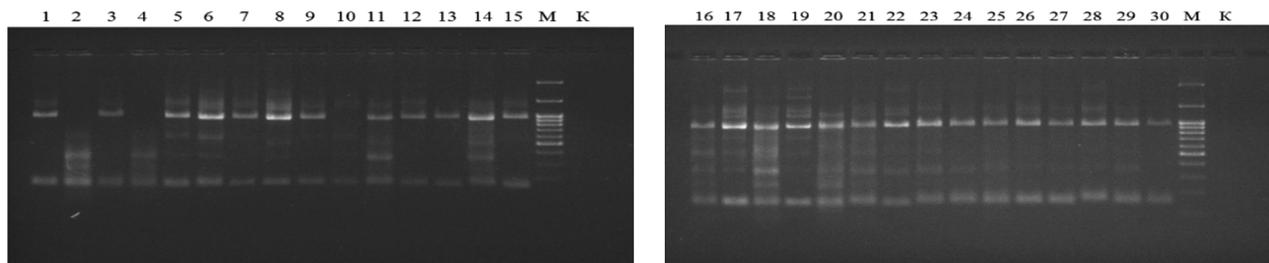
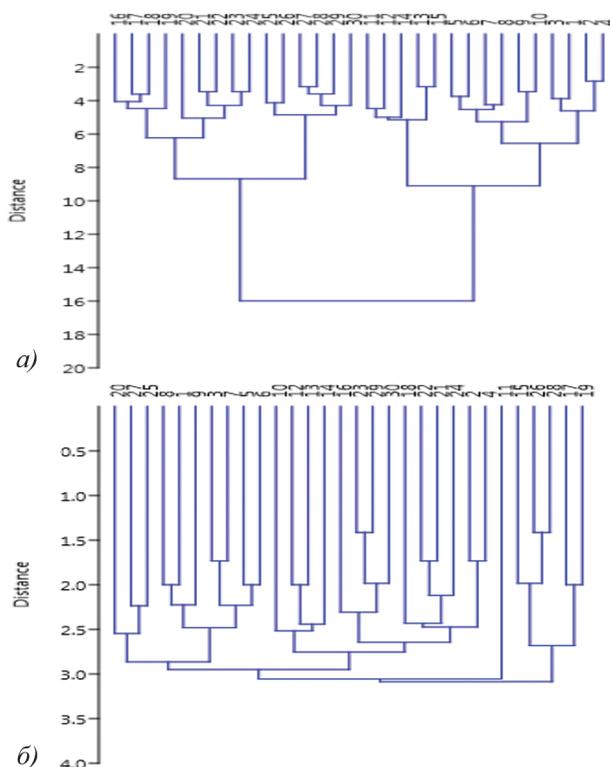


Рис. 7. Электрофоретическое разделение ПЦР-продуктов, полученных с праймерами к SSR-локусу SB15: 1...10 – MC, 11...20 – ОП 2х, 21...30 – ОП 4х, М – маркер молекулярных масс ДНК GeneRuler™ (ThermoScientific, США), К – (контроль, без ДНК).

Табл. 1. Характеристика SSR-маркеров

SSR-локус	Нуклеотидная последовательность 5' – 3'	Мотив	Размер, п.н.	PIC
Unigene 24552	F: AACAACTCACTCATCCTTCTTC R: ATGAAAAGCAAACGACTAGCAG	(CTT) <sub>14</sub>	180...1500	0,64
Unigene 17623	F: ATTACACCTCAATCTTCCAGC R: AATATTGGCAATCTACCAGC	(CAA) <sub>13</sub>	150...1500	0,84
Unigene 14805	F: ACATGTCAACTCTCAACAATCC R: TCACTAGGAGAAACCCCTTC	(TCA) <sub>7</sub>	200...1500	0,47
Unigene 7492	F: GCTTCTTCTCATTAGGAACAC R: CACGTATTGTTGCCATATCTC	(AAT) <sub>10</sub>	220...1500	0,82
Unigene 16898	F: AGAATTAGATTGTGACCTGCT R: GATGGGAAGAGAGATTAGTG	(CAA) <sub>8</sub>	250...1800	0,84
Unigene 27833	F: GAGTCATCAACACCAAACTACA R: ATTAGCCAAGAAAATCACCC	(ATA) <sub>7</sub>	100...2800	0,89
Unigene 22373	F: AAAGGAAAACCTACCCTACACT R: AAAGGAGAAAGAAGACATTGAG	(CCA) <sub>4</sub>	200...1800	0,69
Unigene 26753	F: GAGATACAAATTCACCCATC R: GTAGAGGAAGTAAAAGCACCA	(CAA) <sub>10</sub>	300...400	0,24
Unigene 2305	F: TACTTAAACCTACGAACTCCA R: TACAGCTGTGATTGTCAGAAGA	(TCA) <sub>7</sub>	100...800	0,84
Unigene 62524	F: GAGAATCATTACCTTGAC R: GGGACATGCTTAGTTTTGTTAG	(CAA) <sub>7</sub>	250...1000	0,78
Unigene 18963	F: CACTACCCCTGTTTATCTTCA R: GGAAAATCTTGCTTCATCC	(TGA) <sub>7</sub>	150...300	0
Bvv21	F: TTGGAGTCGAAGTAGTAGTGTAT R: GTTTATTCAGGGGTGGTGTGTTG	(GGC) <sub>13</sub>	200...400	0,76
Bvv23	F: TCAACCCAGGACTATCACG R: GTTTACTGACAAAAGCAAATGACCTACTA	(GA) <sub>16</sub>	80...100	0,12
Bvv32	F: AGAAGCCTTTAAAATCCAAT R: GTTTACATATGGAAC TTAATGAACAAGTGATAT	(CA) <sub>14</sub>	150	0
BQ 584456	F: CTGATCTTCTTGCCCTACTT R: ACTTACACAACCCACCTCTTT	–	200...2800	0,73
BQ 584493	F: ATGCCTGGTCTACTATTGA R: ACTCTTCTTCTACTCTGCT	–	2700...3000	0,39
FD1002	F: CCTTAAACCTAAAAACGCGCAGC R: GAAAACGGAGTTCAGTCAGGGA	–	200...1500	0,72
Sb04	F: ACC GAT CAC CAA TTC ACC AT R: GTT TTG TTT TGG GCG AAA TG	(GGC) <sub>4</sub>	200...1500	0,75
Sb15	F: CAC CCA GCC TAT CTC TCG AC R: GTG GTG GGC AGT TTT AGG AA	(CT) <sub>8</sub>	180...3000	0,74



**Рис. 8. Генетические взаимоотношения селекционных образцов на основе межгрупповых связей: а) по Unigenes, б) по SSR-праймам; 1...10 – МС-формы; 11...20 – ОП 2х; 21...30 – ОП 4х (компоненты Львовской селекции).**

(PIC=0,84), Unigene 16898 (PIC=0,84), Unigene 24552 (PIC=0,64), Unigene 7492 (PIC=0,82), FD1002 (PIC=0,72), Sb15 (PIC=0,74). Они позволили амплифицировать до 13 полиморфных полос на генотип. По SSR-локусу Unigene 27833 установлено 13 ПЦР-продуктов длиной 100...2800 п. н. (рис. 1). Всего выявлено 162 ДНК-ампликона. Величина информационного полиморфизма (PIC) была равна 0,89.

С использованием SSR-маркера Unigene 16898 в изученных образцах выявлено до 9 ДНК-ампликонов размером 250...1800 п. н. Полиморфизм по этому SSR локусу составил 0,84 (рис. 2).

При использовании праймеров для локуса Unigene 17623 отмечено формирование до 9 ДНК-фрагментов

длиной 150...1500 п. н. (рис. 3). Для исследуемых образцов с его помощью был выявлен полиморфизм по этому SSR локусу на уровне 0,84.

По SSR-локусу Unigene 24552 установлено до 4 ПЦР-продуктов длиной 180...1500 п. н. (рис. 4). Всего выявлено ~37 ДНК-ампликона. Величина информационного полиморфизма (PIC) составила 0,64.

При использовании праймеров для SSR-маркера Unigene 7492 отмечено формирование до 3 ДНК-фрагментов длиной 220-1500 п. н. (рис. 5). По данному локусу был выявлен полиморфизм 0,82.

При использовании праймеров для SSR-маркера FD1002 отмечено формирование до 5 ДНК-фрагментов длиной 200...1500 п. н. (рис. 6). Всего выявлено 98 ДНК-ампликонов. Этот праймер выявил полиморфизм исследуемых образцов по данному SSR локусу на уровне 0,72.

Амплификация с SSR-маркером Sb15 обнаружила до 7 ДНК-фрагментов длиной 180...3000 п. н. (рис. 7). Всего выявлено 73 ДНК-ампликона. Этот праймер для исследуемых образцов выявил полиморфизм на уровне 0,74.

Большинство включенных в анализ ядерных микросателлитных локусов (за исключением Unigene 18963 и BvV32) обнаруживают у изученных образцов сахарной свёклы генетическую изменчивость, что позволяет рекомендовать их для использования при идентификации генотипов культуры (табл. 1).

На основе выявленных аллелей рассчитана матрица генетической близости исследованных образцов сахарной свёклы, построены кластеры (рис. 8), рассчитано генетическое расстояние (по Эвклиду), в соответствии с алгоритмом PAST составлены генетические паспорта (табл.2). Наибольшее установленное генетическое расстояние (D) равно 5,92 (между МС-формой и тетраплоидным опылителем Львовской селекции, 2021 г.). Выявленный уровень генетической дифференциации изученных генотипов наглядно иллюстрирует их расположение на дендрограмме, полученной при многомерном шкалировании матрицы корреляционного сходства. Образцы, имеющие сходную генетическую структуру по изученным микросателлитным локусам ядерной ДНК, располагаются в непосредственной близости один от другого. Данные о генетической удаленности селекционных образцов можно использовать для более обоснованного подбора пар при гибридизации.

На основе генетической дивергенции с учетом удаленности исходных форм при проведении скрещиваний для создания гетерозисных гибридов предложены следующие родительские пары: МС(6) и ОП 4х (28); МС(7) и ОП 4х (26); МС(2) и ОП 4х (26); МС(4) и ОП 4х (26); МС(6) и ОП 2х (12).

**Табл. 2. Молекулярно-генетические паспорта селекционных материалов селекции Львовской ОСС\***

Образец	1.250 п.н.	1.280 п.н.	1.300 п.н.	1.400 п.н.	1.600 п.н.	1.700 п.н.	1.800 п.н.	1.1500п.н.	1.1800п.н.	2.150 п.н.	2.180 п.н.	2.480 п.н.	2.500 п.н.	2.600 п.н.	2.700 п.н.	2.1000п.н.	2.1300п.н.	2.1500п.н.	3.180 п.н.	3.200 п.н.	3.600 п.н.	3.800 п.н.	3.1300п.н.	3.1500п.н.
1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
2	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
3	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
4	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1
5	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
8	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
9	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0

\*по горизонтали SSR-праймеры (Unigenes) с размерами идентифицированных ДНК-фрагментов (п.н.): 1 – Unigene 16898; 2 – Unigene 17623; 3 – Unigene 24552. По вертикали селекционные образцы: 1...3 – МС; 4...6 – Оп 2х; 7...9 – Оп 4х

Таким образом, применение технологии генотипирования ДНК на основе микросателлитного анализа позволяет отбирать для гибридизации генетически однородный материал и контролировать селекционную работу, что имеет важное значение в практической селекции сахарной свёклы.

Установлена молекулярно-генетическая структура 91 генотипа селекционно-ценных номеров сахарной свёклы по 19-и SSR-маркерам, позволившая провести их идентификацию и паспортизацию для дальнейшего использования в маркер-ориентированной селекции. Наибольшим уровнем полиморфизма характеризуются праймеры к микросателлитным локусам Unigene 27833 (PIC=0,89), Unigene 2304 (PIC=0,84), Unigene 17623 (PIC=0,84), Unigene 16898 (PIC=0,84), Unigene 24552 (PIC=0,64), Unigene 7492 (PIC=0,82), FD1002 (PIC=0,72), Sb15 (PIC=0,74), которые рекомендуются для использования при проведении генотипирования селекционно-ценных образцов сахарной свёклы.

По результатам расчета генетических расстояний между MC-формами и сростноплодными опылителями наибольшая величина этого показателя составляет 5,92. Такие родительские образцы, находящиеся на значительном генетическом удалении один от другого, как MC(6) и 4X ОП(28); MC(7) и 4X ОП(26); MC(2) и 4X ОП(26); MC(4) и 4X ОП(26); MC(6) и 2X ОП(12) и другие рекомендуются для использования при создании гетерозисных гибридов.

Маркер-ассоциированная селекция позволяет ускорить и намного упростить процесс создания гибридов сахарной свёклы. Генетические маркеры играют исключительно важную роль в изучении наследственной конституции организма и, в особенности, в оценке исходного селекционного материала, поскольку облегчают контроль за включением «положительных/негативных» генетических факторов родительских форм в создаваемые гибриды.

#### Литература

1. Хлесткина Е.К. Молекулярные маркеры в генетических исследованиях и в селекции // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17. № 4(2). С. 1044-1054.
2. Чесноков Ю.В. Генетические маркеры: сравнительная классификация молекулярных маркеров // Научно-практический журнал «Овощи России». 2018. № 3 (41). С. 11-15 doi: 10.18619/2072-9146-2018-3-11-15
3. ДНК-маркеры в растениеводстве / К.Р. Канукова, И.Х. Газаев, Л.К. Сабанчиева и др. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2019. № 6(92). С. 221-232. doi: 10.35330/1991-6639-2019-6-92-220-232
4. Galewski P., McGrath M. Genetic diversity among cultivated beets (*Beta vulgaris*) accessed via population based whole genome sequences // BMC Genomics. 2020. Vol. 21. 189. URL: <https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-020-6451-1> (дата обращения: 27.09.2019) doi: 10.1186/s12864-020-6451-1
5. Дифференциация сортообразцов сахарной свёклы по SSR-маркерам для создания перспективных гибридов / А.А. Налбандян, А.С. Хуссейн, Т.П. Федулова и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. №4. С. 18-22. doi: 10.31857/S2500262720040043
6. A Simple and Rapid Method for Genomic DNA Extraction and Microsatellite Analysis in Tree Plants / A. Spadoni, S. Sion, S. Gadaleta, et al. // J. Agr. Sci. Tech. 2019. Vol. 21(5). P. 1215-1226
7. Mining and Development of Novel SSR Markers Using Next Generation Sequencing (NGS) Data in Plants / S. Taheri, L. Abdullah, M. Yusop, et al. // Molecules. 2018. Vol. 23 (2). 399. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/23/2/399> (дата обращения: 13.01.2018). doi: 10.3390/molecules23020399
8. Profiling of sugar beet genotypes for agronomical, sugar quality and forage traits and their genetic diversity analysis using SSR markers / K. Sandhu Surinder, K. Sarao Navraj, G. Meenakshi, et al. // Electronic Journal of Plant Breeding. 2016. Vol. 7. P. 253-266. doi: 10.5958/0975-928X.2016.00033.8
9. Genetic and Genomic Tools to Assist Sugar Beet Improvement: The Value of the Crop Wild Relatives / F. Monteiro, L. Frese, S. Castro, et al. // Front Plant Sci. 2018. Vol. 9. Article 74. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00074/full> (дата обращения: 11.11.2017) doi: 10.3389/fpls.2018.00074
10. Genetic diversity and gene flow between wild, cultivated and weedy forms of *Beta vulgaris* L. (Chenopodiaceae), assessed by RFLP and microsatellite markers / B. Desplanque, P. Boudry, K. Broomberg, et al. // Theor and Appl Genet. 1999. Vol. 98 (8). P. 1194-1201. doi: 10.1007/s001220051184
11. Patil V.U. Computational Analysis of Short Tandem Repeat (STR) Markers from Genome Wide Expression Regions of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) / V.U. Patil, G. Vanishree, V. Hegde, et al. // J Appl Bioinform Comput Biol. 2016. Vol. 5(2). URL: [https://www.scitechnol.com/peer-review/computational-analysis-of-short-tandem-repeat-str-markers-from-genome-wide-expression-regions-of-sugar-beet-beta-vulgaris-P4Dj.php?article\\_id=5106](https://www.scitechnol.com/peer-review/computational-analysis-of-short-tandem-repeat-str-markers-from-genome-wide-expression-regions-of-sugar-beet-beta-vulgaris-P4Dj.php?article_id=5106) (дата обращения: 20.02.2022). doi: 10.4172/2329-9533.1000125
12. Mahuku G.S. A simple extraction method suitable for PCR-based analysis of plant, fungal, and bacterial DNA // Plant Mol. Biol. Rep. 2004. Vol. 22. P. 71-81. doi: 10.1007/BF02773351
13. Fugate K. Generation and Characterization of a Sugar beet Transcriptome and Transcript-Based SSR Markers / K. Fugate, D. Fajardo, B. Schlautman, et al. // The Plant Genome. 2014. Vol. 7. No. 2. P. 1-13. URL: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.3835/plantgenome2013.11.0038> (дата обращения: 28.02.2022). doi: 10.3835/plantgenome2013.11.0038
14. Characterisation of sugar beet (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) varieties using microsatellite markers / M. Smulders, G. Esselink, G. Danny, et al. // BMC Genetics. 2010. Vol. 11-41. doi: 10.1186/1471-2156-11-41
15. An open-source first-generation molecular genetics map from a sugar beet x table beet cross and its extension to physical mapping / J.M. McGrath, D. Trebbi, A. Fenwick, et al. // Plant Gen. 2007. Vol. 1. P. 27-44, doi: 10.2135/cropsci2006-05-0339tpg
16. Polymorphic microsatellite markers for inferring diversity in wild and domesticated sugar beet (*Beta vulgaris*) / Ch. Richards, M. Brownson, Sh. Mitchell, et al. // Molecular Ecology Notes. 2004. Vol. 4. P. 243-245. doi: 10.1111/j.1471-8286.2004.00630.x
17. Nei M. Sampling variances of heterozygosity and genetic distance / M. Nei, A. Roychoudhury // Genetics. 1974. Vol. 76. P. 379-390. doi: 10.1093/genetics/76.2.379.

Поступила в редакцию 19.04.2022  
После доработки 01.08.2022  
Принята к публикации 04.10.2022

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ АЗОТА УДОБРЕНИЯ ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН БИОПРЕПАРАТАМИ\*

А.А. Завалин<sup>1</sup>, академик РАН, Д. Ньямбосе<sup>1</sup>, Л.С. Чернова<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, М.Е. Баганова<sup>2</sup>, С.Н. Сапожников<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, М.А. Ипполитов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 127434, Москва, ул. Прянишникова, 31а  
E-mail: zavalin.52@mail.ru

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии 196608, Санкт-Петербург -Пушкин, ш. Подбельского, 3

На темно-серой лесной почве оценивали использование яровой пшеницей <sup>15</sup>N азота удобрения при инокуляции семян новыми микробными биопрепаратами. Применение изучаемого приема повышало массу зерна на РК-фоне на 25...42%. Прибавки от инокуляции препаратами на основе штаммов diaзотрофов Ч-13 и V 167 были равноценны и составляли 78...97 г/м<sup>2</sup>. В варианте с V 417 прибавка достигала 132 г/м<sup>2</sup> и находилась на уровне использования N45 (143 г/м<sup>2</sup>). В сочетании с внесением N45 максимальной в опыте эффективность характеризовался биопрепарат на основе штамма Ч-13. При использовании биопрепаратов на РК-фоне накопление N в урожае возрастало на 2,33...2,64 г/м<sup>2</sup>, на NPK-фоне – на 1,33...1,70 г/м<sup>2</sup>. В вариантах с биопрепаратами урожаи на 20% формировались за счет биологического азота, при этом наибольшее его накопление (24,8%) происходило при использовании V 417. Максимальная в опыте доля <sup>15</sup>N (23,7%) в урожае отмечена при внесении N90. При использовании биопрепаратов в растениях накапливается около 8,5% «экстра»-N, наибольшее его содержание (11,5...12,1%) зафиксировано при внесении Naa. Азот минерального удобрения преимущественно накапливается в зерне (95...96%) и только 4...5% – в соломе яровой пшеницы. При внесении N45 и N90 растения используют соответственно 46 и 42% азота удобрения, применение биопрепаратов повышает величину этого показателя до 51...53%. В почве закрепляется 33...36% от внесенной дозы <sup>15</sup>N, при использовании биопрепаратов – до 30%. Потери <sup>15</sup>N достигают 33...36%, при внесении биопрепаратов они снижаются до 17...19%. Минимальное в опыте накопление азота удобрения в растениях (42%), максимальное закрепление в почве (36%) и потери (23%) наблюдали при внесении N90.

## USE OF NITROGEN FERTILIZER BY SPRING WHEAT WHEN INOCULATING SEEDS WITH BIOLOGICAL PREPARATIONS

Zavalin A.A.<sup>1</sup>, Nyambose D.<sup>1</sup>, Chernova L.S.<sup>1</sup>, Baganova M.E.<sup>2</sup>, Sapozhnikov S.N.<sup>1</sup>, Ippolitov M.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 127434, Moscow, ul. Pryanishnikova, 31a  
E-mail: zavalin.52@mail.ru

<sup>2</sup>All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology 196608, Sankt- Petersburg -Pushkin, sh. Podbel'skogo, 3

In dark gray forest soil, it was evaluated using spring wheat <sup>15</sup>N nitrogen fertilizer when seeds were inoculated with microbial biopreparations. Seed inoculation adds 25-42% to the mass of substances on the RK background, additives from the inoculation of preparations based on diazotrophic strains Ch-13 and V 167 are equivalent, and from V 417, the use of N45 was higher. With the entry of N45, the operational work of a biological product based on the Ch-13 strain will soon begin. When collecting biological preparations on the RC background, the accumulation of N in the crop increases by 2.33-2.64 g/m<sup>2</sup>, and on the RC background – by 1.33-1.70 g/m<sup>2</sup>. When harvesting biological products, the crop is formed by biological nitrogen by 20%, while its maximum accumulation (24.8%) is carried out using the biological product V 417. The maximum share of <sup>15</sup>N (23.7%) in the crop was obtained with the introduction of N90. About 8.5% of «extra»-N is collected in plants during the collection of biological products, its maximum accumulation (11.5-12.1%) was obtained during the transfer of Naa. Nitrogen of high concentration is absorbed in grain (95-96%) and only 4-5% – in spring wheat straw. When applying N45 and N90, plants use 46 and 42% of phosphorus nitrogen, the use of biological products adds this figure to 53-51%. In the soil, 33-36% of the applied dose of <sup>15</sup>N is oxidized; when using biological preparations, this figure reaches 30%. Losses of <sup>15</sup>N reach 33-36%, with the use of biological products, the average figure is up to 17-19%. Minimal accumulation of nitrogen in plants (42%), maximum fixation in the soil (36%) and loss (23%) upon detection of N90.

**Ключевые слова:** азотное удобрение, изотоп азота, яровая пшеница, использование азота, закрепление в почве, потери азота удобрения.

**Key words:** nitrogen fertilizer, nitrogen isotope, spring wheat, nitrogen use, soil fixation, fertilizer nitrogen losses

В последние годы использование азотных и других минеральных и органических удобрений не обеспечивает оптимального баланса азота в земледелии страны [1, 2, 3]. Поэтому осуществляется поиск дополнительных источников питания растений, среди которых важное место отводится микробным препаратам [4, 5]. Для этого согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации [6] предусмотрено увеличение использования в земледелии биологизированных форм удобрений. Применение биопрепаратов эндофитных микроорганизмов увеличивает использование растениями азота минерального удобрения на 8...12%, однако слабо влияет на иммобилизацию его в почве, которая

приводит к включению этого элемента в циклические минерализационно-ремобилизационные превращения [7, 8]. Применение биопрепаратов активизирует почвенную микрофлору, положительно влияет на ферментативный статус растений [9, 10, 11], ограничивает развитие патогенной микрофлоры [9, 10, 12]. Использование микробных препаратов, созданных на основе консорциума бактерий, в агротехнологиях выращивания зерновых культур снижает отрицательное действие пестицидов на полезные виды микроорганизмов [13], уменьшает пораженность растений патогенами, что создает перспективы для освоения ресурсосберегающего экологически безопасного растениеводства, в том числе

\*Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 22-26-00105

органического земледелия [14, 15, 16]. Обеспеченность растений азотом служит ключевым фактором формирования урожая и качества зерна яровой пшеницы, которое регулируется внесением азотных удобрений и применением биопрепаратов [5, 17]. В этой связи необходима оценка действия этих факторов химизации и биологизации на усвоение растениями азота удобрений и его потоки в агроэкосистеме [18].

Цель исследований – оценить использование яровой пшеницей азота удобрения при инокуляции семян биопрепаратами на темно-серой лесной почве с применением стабильного изотопа <sup>15</sup>N.

**Методика.** Работу проводили в микрополевым опыте в пластиковых сосудах площадью 0,0625 м<sup>2</sup> на Опытной станции ВНИИ агрохимии (Московская область) в 2020 и 2021 гг. В июне и июле 2021 г. выпало избыточное количество осадков (194 и 224 мм при среднемноголетней норме 63 и 78 мм соответственно), температура воздуха в конце мая и начале июня достигала 30...33 °С. В некоторых декадах апреля и июля 2020 г. количество атмосферных осадков превышало среднемноголетнюю норму в 2,5...3,5 раза. В целом вегетационный период 2020 г. оказался более благоприятным, чем 2021 г., однако действие изучаемых факторов на растения яровой пшеницы было идентичным в оба года, что позволяет рассматривать результаты эксперимента в среднем за 2 года.

В опыте высевали среднеспелый сорт яровой пшеницы Злата, который характеризуется быстрым ростом после всходов. Растения устойчивы к полеганию, характеризуются засухоустойчивостью. Сорт слабее стандарта поражается бурой ржавчиной и мучнистой росой и на уровне стандарта – септориозом. Средняя урожайность составляет около 3,1 т/га, максимальная – 5,4 т/га.

Набивку сосудов почвой проводили в начале мае. Темно-серая лесная почва перед закладкой опыта имела следующую агрохимическую характеристику: гумус (по Тюрину) – 2,9...3,0 %; рН<sub>KCl</sub> – 5,9...6,2; подвижные формы P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O (по Кирсанову) – соответственно 120...132 и 131...140 мг/кг; Нг (по Каппену) – 1,12...1,24 мг-экв/100 г. По степени агрохимической окультуренности некарбонатных почв [2], в частности по содержанию подвижного фосфора и калия, она относится к средне окультуренной, реакция почвенной среды – оптимальная.

В качестве азотного удобрения использовали аммиачную селитру, которую вносили в дозе 45 и 90 кг д.в./га, или 4,5 и 9,0 г/м<sup>2</sup>, что составляет соответственно 0,2812 г и 0,563 г N/сосуд. Для оптимизации фосфорно-

калийного питания растений фоном вносили двойной суперфосфат и хлористый калий в дозах по 45 кг/га действующего вещества или по 0,28 г P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O на сосуд. Изучали эффективность применения двух новых биопрепаратов. Биопрепарат V 417 создан на основе штамма эндофитных бактерий *Bacillus subtilis* V 417. Он обладает выраженной фунгицидной активностью против спектра фитопатогенных грибов родов *Fusarium* и *Alternaria*; бактерицидной активностью против фитопатогенных бактерий *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*, *Pseudomonas syringae*, ростстимулирующим эффектом по отношению к различным сельскохозяйственным культурам (яровая пшеница, кукуруза, сахарная свекла, картофель) [9]. Второй биопрепарат создан на основе штамма эндофитной бактерии *Bacillus amyloliquefaciens* V 167. Он обладает фунгицидной активностью против фитопатогенных грибов *Alternaria alternata*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*, *Fusarium sporotrichioides* и фитостимулирующим эффектом по отношению к различным сельскохозяйственным культурам (редис, горох, кукуруза, салат, вико-овсяная смесь, яровая пшеница). В качестве стандарта использовали препарата Экстрасол [7], созданный на основе штамма *Bacillus subtilis* Ч-13. Он обладает высокой конкурентоспособностью по отношению к другим почвенным микроорганизмам. Способен синтезировать в процессе своего роста вещества, которые подавляют развитие фитопатогенных грибов и бактерий – возбудителей болезней, благодаря активной колонизации бактериями штамма улучшает развитие корневых волосков и увеличивают их поглотительную способность фосфора, а также усиливает поглощение растениями элементов питания из удобрений, повышает устойчивость растений к пониженным температурам и засухе. Все изучаемые препараты способны фиксировать атмосферный азот. Инокуляцию семян проводили в день посева из расчета 600 г на гектарную норму посева, в качестве прилипателя использовали обезжиренное молоко. Расположение сосудов рендомизированное, повторность 4-х кратная. Для изучения использования растениями азота удобрения применяли меченую (<sup>15</sup>N) в обеих группах аммиачную селитру (<sup>15</sup>NH<sub>4</sub><sup>+</sup><sup>15</sup>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) с обогащением 47,5 ат.%. Закладку опыта, отбор проб почвы и растений проводили согласно методике [19, 20], в растительных и почвенных образцах N<sub>общ</sub> определяли с использованием элементного анализатора методом сухого озоления по Дюма, изотопный состав азота – на масс-спектрометре Delta V Advantage.

Табл. 1. Продуктивность яровой пшеницы (в среднем за 2 года)

Вариант	Зерно			Солома		
	масса	прибавка		масса	прибавка	
		г/м <sup>2</sup>	%		г/м <sup>2</sup>	%
РК-фон (Ф)	312	–	–	492	–	–
Ф+биопрепарат Ч-13	390	78	25	539	47	9
Ф+ биопрепарат V 167	409	97	31	513	21	4
Ф+биопрепарат V 417	444	132	42	544	52	11
Ф+N45	455	143	45	575	83	17
Ф+N45+биопрепарат Ч 13	480	168	53	555	63	13
Ф+N45+биопрепарат V 167	465	153	49	555	63	13
Ф+N45+биопрепарат V 417	450	138	44	580	88	18
Ф+N90	484	172	55	529	37	8
P, %	4,5			5,4		
НСР <sub>05</sub>	41			85		

Табл. 2. Потребление азота растениями яровой пшеницы в фазе полной спелости (в среднем за 2 года)

Вариант	Общий вынос, г/м <sup>2</sup>	В том числе азот, % от выноса			
		удобрения ( <sup>15</sup> N)	почвы		ассоциативный
			всего	в том числе «экстра»	
РК-фон (Ф)	10,17	–	100,0	–	–
Ф+биопрепарат Ч-13	12,50	–	81,3	–	18,7
Ф+ биопрепарат V 167	12,81	–	79,4	–	20,6
Ф+биопрепарат V 417	13,52	–	75,2	–	24,8
Ф+N45	13,82	14,9	85,1	11,5	–
Ф+N45+биопрепарат Ч 13	15,15	15,1	76,1	9,0	8,7
Ф+N45+биопрепарат V 167	15,52	15,4	73,6	8,1	10,9
Ф+N45+биопрепарат V 417	15,30	15,3	75,1	8,6	9,6
Ф+N90	15,86	23,7	76,3	12,1	–
P, %	2,5				
НСР <sub>05</sub>	0,8				

Статистическую обработку результатов проводили дисперсионным методом с использованием программы StatVIUA, достоверность различий оценивали по F-критерию Фишера.

**Результаты и обсуждение.** Продуктивность яровой пшеницы определяли условия азотного питания растений, связанные с применением азотного удобрения и инокуляции семян изучаемыми биопрепаратами (табл. 1). При урожае на РК-фоне 312 г/м<sup>2</sup> внесение N45 увеличило массу зерна на 45 %, при удвоении дозы она возросла на 55 %, при этом различия по массе зерна между дозами азота были не достоверны. Инокуляция семян биопрепаратами увеличила массу зерна, по отношению в РК-фону, на 25-42%. Прибавки от биопрепаратов на основе штаммов Ч-13 и V 167 находились на одном уровне. В варианте с V 417 прибавка была достоверно выше, чем при использовании стандартного препарата, и соответствовала внесению под яровую пшеницу N45.

При посеве инокулированными семенами и внесении азотного удобрения (N45) масса зерна яровой пшеницы изменялась, по сравнению с применением изучаемых биопрепаратов на фоне РК, не существенно и уступала варианту с использованием азотного удобрения в дозе N90. При этом наибольшей эффективностью в сочетании с внесением N45 характеризовался стандартный биопрепарат, изготовленный на основе штамма Ч-13.

При использовании азотного удобрения и инокуляции семян биопрепаратами, наряду с ростом массы зерна, отмечали увеличение массы соломы с 492 до 580 г/м<sup>2</sup>, прибавка достигала 17...18 % (см. табл. 1). Максимальной в опыте она было при внесении под яровую пшеницу удобрения в дозе N45 или при посеве семенами, инокулированными препаратом V417, в варианте с при-

менением N45. Использование других биопрепаратов в сочетании с N45 повышало массу соломы, по отношению к РК-фону, на 13 %.

Накопление азота в урожае яровой пшеницы определяется массой зерна и соломы и концентрацией этого элемента. С увеличением их массы накопление азота возрастало с 10,17 до 15,86 г/м<sup>2</sup>, а максимальный в опыте рост отмечен при внесении азотного удобрения в дозе N90. При инокуляции семян биопрепаратами накопление азота в урожае увеличилось, по сравнению с РК-фоном, на 2,33...2,64 г/м<sup>2</sup>, при этом оно было равноценным по всем биопрепаратам. В вариантах с внесением под яровую пшеницу N45 в сочетании с инокуляцией семян биопрепаратами накопление азота в урожае соответствовало применению N90, что свидетельствует об улучшении условий азотного питания растений [4, 7].

Применение изотопа <sup>15</sup>N [20] позволило выявить источники азота в формировании урожая яровой пшеницы (табл. 2). На РК-фоне оно происходило с участием только азота почвы. При использовании биопрепаратов в результате ассоциативной азотфиксации примерно 20 % урожая формировалось за счет биологического азота, при этом максимальное в опыте его накопление в яровой пшенице (24,8 %) отмечено в варианте с биопрепаратом V 417. При внесении Naa урожай формировался на 15 % за счет удобрения, использование биопрепаратов не изменяло относительную величину этого показателя. Максимальная в опыте доля <sup>15</sup>N (23,7 %) зафиксирована при внесении под пшеницу N90. Из-за увеличения минерализации почвенного азота при применении Naa [5, 20] растения использовали для формирования урожая при инокуляции семян биопрепаратами около 8,5 % «экстра»-N. Наибольшее его поступление в рас-

Табл. 3. Распределение накопленного азота в товарной и побочной продукции яровой пшеницы (в среднем за 2 года)

Вариант	Накопление азота удобрения, почвы и ассоциативного <sup>1</sup>		Накопление <sup>15</sup> N удобрения <sup>2</sup>	
	зерно	солома	зерно	солома
Ф + N45	10,06 / 73	3,77 / 27	1,98 / 96	0,09 / 4
Ф + N45 + биопрепарат Ч-13	10,96 / 72	4,19 / 28	2,18 / 95	0,11 / 5
Ф + N45 + биопрепарат V 167	11,33 / 73	4,19 / 27	2,28 / 95	0,11 / 5
Ф + N45 + биопрепарат V 417	11,29 / 74	4,00 / 26	2,24 / 96	0,09 / 4
Ф + N90	11,59 / 73	4,27 / 27	3,45 / 92	0,32 / 8

<sup>1</sup>в числителе – г/м<sup>2</sup>, в знаменателе – % от поглощенного азота удобрения, почвы и ассоциативного;  
<sup>2</sup>в числителе – г/м<sup>2</sup>, в знаменателе – % от поглощенного азота удобрения

Табл. 4. Баланс <sup>15</sup>N при возделывании яровой пшеницы (в среднем за 2 года)

Вариант	Накоплено в растениях		Иммобилизация в почве		Потери	
	г/м <sup>2</sup>	% от дозы удобрения	г/м <sup>2</sup>	% от дозы удобрения	г/м <sup>2</sup>	% от дозы удобрения
Ф + N45	2,07	46	1,45	33	0,99	21
Ф + N45 + биопрепарат Ч-13	2,29	51	1,47	33	0,74	17
Ф + N45 + биопрепарат V 167	2,40	53	1,36	30	0,74	17
Ф + N45 + биопрепарат V 417	2,34	52	1,3	30	0,83	19
Ф + N90	3,77	42	3,21	36	2,03	23

тения (11,5...12,1%) отмечено при внесении под яровую пшеницу Naa.

Основная доля почвенного и биологического азота накапливается (72...74%) в зерне (табл. 3), в соломе его значительно меньше (26...28%). Меченый (<sup>15</sup>N) азот удобрения также преимущественно накапливается в зерне (92...96%). С увеличением дозы азотного удобрения происходит перераспределение накопления <sup>15</sup>N в пользу соломы. Его доля возрастает с 4...5% в вариантах с N45 до 8% при внесении N90.

Эффективность использования азота в агроценозе характеризует состояние баланса <sup>15</sup>N [5, 20]. Чем больше растения потребляют азот на формирование урожая и чем меньше его неучтенные потери, относящиеся преимущественно к газообразным, тем устойчивее функционирует агроценоз. Определение статей баланса <sup>15</sup>N показывает (табл. 4), что при внесении на РК-фоне азотного удобрения в дозах N45 и N90 растения использовали на формирование урожая соответственно 46 и 42% от дозы N. Применение биопрепаратов повышало величину этого показателя на 5...7%. Иммобилизация (закрепление) азота удобрения в почве составляет 30...36% от внесенной дозы и возрастает по мере повышения дозы азотного удобрения. Применение новых биопрепаратов (V 167 и V 417) обеспечивает тенденцию к снижению закрепления азота удобрения в почве. В результате большего потребления растениями <sup>15</sup>N на формирование урожая при использовании биопрепаратов в сочетании с дозой N45 газообразные потери азота удобрения снижаются с 21 до 17...19%, максимальные потери (23% от внесенной дозы) отмечены при использовании под яровую пшеницу удобрения в дозе N90.

Таким образом, инокуляция семян биопрепаратами на основе штаммов ассоциативных диазотрофов увеличивает массу зерна яровой пшеницы, по отношению в РК-фону, на 25...42%. Прибавки от применения биопрепаратов на основе штамма *Bacillus subtilis* Ч-13 и штамма *Bacillus amyloliquefaciens* V 167 равноценны, от использования *Bacillus subtilis* V 417 она достоверно выше, чем при использовании стандартного препарата, и сравнима с внесением N45. При посеве инокулированными семенами в сочетании с применением N45 масса зерна яровой пшеницы остается на уровне использования только биопрепаратов и уступает урожаю, выращенному при внесении N90. Масса соломы яровой пшеницы возрастает при инокуляции семян биопрепаратом V 417 как отдельно, так и на фоне N45, от использования других она увеличивается на 13% только в сочетании с использованием азотного удобрения.

От применения биопрепаратов накопление азота в урожае яровой пшеницы на РК-фоне увеличивается на 2,33...2,64 г/м<sup>2</sup>, на НРК-фоне – на 1,33...1,70 г/м<sup>2</sup>, что равноценно внесению под культуру азотного удобрения в дозе N45. При использовании биопрепаратов урожай

на 20% формируется за счет биологического азота, при этом максимальное в опыте его накопление (24,8%) достигается при инокуляции V 417. При внесении Naa урожай на 15% формируется за счет удобрения, использование биопрепаратов не влияет на величину этого показателя. Максимальная доля <sup>15</sup>N (23,7%) в урожае яровой пшеницы отмечена в варианте с применением N90. В результате внесения Naa увеличивается минерализация почвенного азота, при использовании биопрепаратов в растениях накапливается около 8,5% «экстра»-N, наибольшая величина этого показателя (11,5...12,1%) отмечена при внесении под яровую пшеницу только Naa. Азот минерального удобрения преимущественно накапливается в зерне (95...96% от поглощенного) и только 4...5% в соломе яровой пшеницы. С увеличением дозы азотного удобрения доля накопления <sup>15</sup>N в зерне снижается, а в соломе возрастает. При применении N45 и N90 на РК-фоне растения используют на формирование урожая соответственно 46 и 42% от внесенного азота удобрения, применение биопрепаратов на фоне N45 увеличивает его накопление до 51...53% от внесенной дозы. В почве закрепляется 33...36% от внесенной дозы <sup>15</sup>N, использование для инокуляции биопрепаратов снижает величину этого показателя до 30%. Потери <sup>15</sup>N при внесении под яровую пшеницу Naa достигают 33...36%, применение биопрепаратов сокращает их до 17...19%. Минимальное в опыте накопление азота удобрения в растениях (42%), максимальное его закрепление в почве (36%) и потери (23%) наблюдаются при внесении N90.

### Литература

1. Кудеяров В.Н. Оценка питательной деградации пахотных почв России // Вестник Российской академии наук. 2015. Т. 85. № 9. С. 771-775.
2. Шафран С.А. Баланс азота в земледелии России и его регулирование в современных условиях // Агробиология. 2020. № 6. С. 14-21.
3. Мониторинг основных агрохимических показателей плодородия пахотных почв в Центрально-Черноземном районе России / Р.В. Некрасов, С.В. Лукин, Д.А. Куницын и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 9. С. 4-10.
4. Эндифитные бактерии древесных растений как основа комплексных микробных препаратов для сельского и лесного хозяйства / В.К. Чеботарь, А.В. Щербаков, Н.Н. Щербакова и др. // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 648-654. doi: 10.15389/agrobiology.2015.5.648rus
5. Завалин А.А. Биологический и минеральный азот в земледелии России. М.: Из-во ВНИИА, 2022. 256 с. doi: 10.256880/WNIA.2019/12/76/105
6. Указ Президента РФ от 01.12.2016 N 642 (ред. от 15.03.2021) «О Стратегии научно-технологического

- развития Российской Федерации». URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_207967/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967/) (дата обращения: 29.08.2022).
7. Эффективность применения эндофитных биопрепаратов и азотного удобрения / А.А. Алферов, Л.С. Чернова, А.А. Завалин и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 21-24.
  8. Endophytic colonization of *Vitisvinifera* L. by a plant growth-promoting bacterium, *Burkholderia* sp. strain PsJN / S. Comrant, B. Reiter, A. Sessitsch, et al. // Appl. Environ. Microbiol. 2005. Vol. 71. P. 1685-1693.
  9. Здоровая почва – условие устойчивости и развития агро- и социосфер (проблемно-аналитический обзор) / М.С. Соколов, В.М. Семенов, Ю.Я. Спиридонов и др. // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2020. № 1. С. 12-21. doi: 10.31857/S0002332920010142.
  10. Кожемяков А.П., Белоброва С.Н., Орлова А.Г. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных биопрепаратов комплексного действия // Сельскохозяйственная биология. 2011. №3. С. 112-115.
  11. Влияние полифункциональных биопрепаратов на микробиоту чернозёма обыкновенного в зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья / В.И. Фаизова, С.В. Цховребов, В.Я. Лысенко и др. // Земледелие. 2021. № 3. С. 4-8.
  12. Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Оценка эффективности биологических протравителей против семенной и почвенной инфекции на озимой пшенице // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 43-48.
  13. Оценка консорциума микроорганизмов с высокой биологической активностью и устойчивостью к пестицидному стрессу / Т.Ю. Мотина, И.А. Дектярева, А.Я. Давлетишина и др. // Агротехнический вестник. 2019. № 1. С. 46-54. doi: 10.24411/0235-2516-2018-10076.
  14. Авилова А.В. Каковы перспективы органического земледелия в России? // Вестник российской академии наук. 2016. Т. 86. № 3. С. 237-243. doi: 10.7868/S0869587316030038.
  15. Савченко И.В. Ресурсосберегающее экологически чистое растениеводство для получения продукции высокого качества // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 527-531. doi: 10.31857/S0869-5873895527-531.
  16. Агротехнологические основы создания усовершенствованных форм микробных биопрепаратов для земледелия / А.П. Кожемяков, Ю.В. Лактионов, Т.А. Попова и др. // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 3. С. 369-376. doi: 10.15389/agrobiology.2015.3.369rus.
  17. Kizilkaya R. Yield response and nitrogen concentrations of spring wheat (*Triticum aestivum*) inoculated with *Azotobacter chroococcum* strains // Ecological Engineering. 2008. Vol. 33(2). P. 150-156.
  18. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации в Российской Федерации // Плодородие. 2016. № 5 (92). С. 28-32.
  19. Оценка эффективности микробных препаратов в земледелии / под общ. ред. А.А. Завалина. М.: РАСХН, 2000. 82 с.
  20. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. М.: Агроконсалт, 1999. 296 с.

Поступила в редакцию 29.09.2022

После доработки 21.10.2022

Принята к публикации 08.11.2022

## ВЛИЯНИЕ БИОСТИМУЛЯТОРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ НА ОСНОВНЫХ ТИПАХ ПОЧВ

О.В. Черникова, кандидат биологических наук, Ю.А. Мажайский, доктор сельскохозяйственных наук

Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний,  
390036, Рязань, ул. Сенная, 1  
E-mail: chernikova\_olga@inbox.ru

*Исследования проводили с целью изучения влияния жидкофазного биопрепарата (ЖФБ) и наночастиц кобальта при предпосевной обработке семян на фоне внесения компоста (90 % навоза крупного рогатого скота и 10 % перепревшего птичьего помета) на продуктивность и качество зеленой массы травосмеси. Работу выполняли в Рязанской области в 2019–2021 гг. на почвах трех типов (чернозем выщелоченный, дерново-подзолистая и серая лесная). Схемы лизиметрических опытов предусматривали изучение следующих вариантов: без обработки семян (контроль), обработка жидкофазным биопрепаратом (1 %), обработка наночастицами кобальта (0,01 г на гектарную норму высева семян). Использование биопрепарата и наночастиц кобальта в комплексе с органическими удобрениями в дозе 20 т/га обеспечивало повышение урожайности, по отношению к контролю, на дерново-подзолистой почве на 6,3...23,3 %, на серой лесной почве – на 3,0...8,8 %, на черноземе выщелоченном – на 0,8...16,8 %. Замачивание семян в растворе наночастиц кобальта дало наилучший в опыте эффект на серой лесной почве, увеличение урожайности составило 8,8 %. Более отзывчивыми к действию ЖФБ оказались растения на дерново-подзолистой почве и черноземе выщелоченном, где прибавка урожайности составляла 23,3 % и 16,8 % соответственно. При этом не отмечено снижения питательной ценности многолетних трав (содержания обменной энергии, кормовых единиц, перевариваемого белка). Применение наночастиц кобальта привело к увеличению содержания каротина в многолетних травах, по сравнению с вариантом без предпосевной обработки семян, на дерново-подзолистой почве на 71,4 %, на серой лесной – на 37,5 %, на черноземе выщелоченном – на 25,0 %.*

## THE EFFECT OF BIOSTIMULANTS ON THE PRODUCTIVITY OF PERENNIAL GRASSES GROWN ON THE MAIN TYPES OF SOILS

Chernikova O.V., Mazhaisky Yu.A.

Academy of law management of the federal penal service of Russia,  
390036, Ryazan, ul. Sennaya, 1  
E-mail: chernikova\_olga@inbox.ru

*The purpose of the research is to study the effect of liquid-phase biological preparation (LPBP) and cobalt nanoparticles during pre-sowing seed treatment against the background of applying a minimum dose of compost (90% of cattle manure and 10% of rotted bird droppings) on the productivity and quality of the green mass of the grass mixture. The work was carried out in the Ryazan region in 2019–2021 on sod-podzolic, gray forest soils and leached chernozem. A lysimetric experiment was carried out, which assumed a variant without pre-sowing seed treatment with biostimulator, as well as variants using a liquid-phase biological product (1%) and cobalt nanoparticles (0,01 g per hectare seeding rate). Pre-sowing treatment of seeds with biopreparation and cobalt nanoparticles in combination with organic fertilizers at a dose of 20 t/ha provided an increase in yield, relative to control, on sod-podzolic soil by 6,3...23,3%, on gray forest soil – by 3,0...8,8%, on leached chernozem – by 0,8...16,8%. Soaking of seeds in nutritional value of perennial herbs: metabolic energy, feed units, digested protein. The use of cobalt nanoparticles led to an increase in the content of carotene in perennial grasses compared with the control version of the experiment (without pre-sowing seed treatment) on sod-podzolic soil by 71,4%, on gray forest – by 37,5%, on leached chernozem – by 25,0%.*

**Ключевые слова:** наночастицы кобальта, жидкофазный биопрепарат, овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds), райграс пастбищный (*Lolium perenne*), мятлик луговой (*Poa pratensis*), дерново-подзолистая почва, серая лесная почва, чернозем.

**Key words:** cobalt nanoparticles, liquid-phase biological product, meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds), pasture ryegrass (*Lolium perenne*), meadow bluegrass (*Poa pratensis*), sod-podzolic soil, gray forest soil, chernozem.

Развитие современного растениеводства в условиях ограниченности финансовых и материальных ресурсов требует совершенствования применяемых технологий для повышения урожайности и качества производимой продукции, снижения затрат на ее производство, а также обеспечения восстановления и сохранения почвенного плодородия. Одно из направлений решения этих проблем – применение биостимуляторов роста [1, 2, 3]. Это один из самых динамичных сегментов рынка препаратов для сельскохозяйственных культур.

Для повышения эффективности сельскохозяйственного производства, увеличения урожайности и качества выращенной продукции в последние годы стали широко использовать продукты нанотехнологий [4, 5, 6].

Управление биологическими процессами в агроценозах возможно через интродукцию агрономически ценных штаммов микроорганизмов в ризосферу растений, что усиливает полезное или ослабляет негативное

влияние нежелательных для реализации их потенциала факторов [7, 8, 9].

К основным механизмам положительного воздействия микроорганизмов на растения относят: повышение коэффициентов использования питательных элементов из удобрений и почвы; оптимизацию фосфорного и улучшение азотного питания; стимуляцию роста и развития растений (более быстрое развитие растений и созревание урожая); подавление развития фитопатогенов (контроль за развитием болезней и снижение поражённости ими растений, улучшение хранения продукции); повышение устойчивости к стрессовым условиям (возможность увеличения продуктивности растений на фоне водного дефицита, неблагоприятных температур, повышенной кислотности, засоления или загрязнения почвы) [10, 11, 12]. В отличие от химических средств биопрепараты обладают более выраженной избирательностью действия, они признаны безвредными для человека и животных.

Во ВНИИМЗ разработана ферментационно-экстракционная технология производства различных жидкофазных биосредств, в том числе жидкофазного биопрепарата (ЖФБ) для растениеводства и земледелия. Количество микроорганизмов (аммонифицирующих, амилолитических, фосфатмобилизующих, аминокислотсинтезирующих и др.) в свежем биопрепарате достигает  $n \times 10^9 \dots n \times 10^{12}$  КОЕ/мл, что позволяет отнести его к микробным биопрепаратам. В нем отсутствуют патогенная микрофлора и паразиты. Содержание общего азота в ЖФБ составляет 0,2...0,5 г/л, подвижных форм фосфора ( $P_2O_5$ ) и калия ( $K_2O$ ) – 10 и 9,5 г/л, соответственно. Кроме того, в его состав входят микроэлементы (медь, цинк, марганец, железо) и различные метаболиты микроорганизмов (сахара, ферменты, аминокислота триптофан и др.) [13, 14].

Наночастицы различного типа, размера и морфологии считаются потенциальными компонентами удобрений, регуляторов роста и пестицидов [15]. Они могут повышать продуктивность растений, поскольку стимулируют прорастание, нанокапсулы используют для доставки гербицидов и борьбы с вредителями [16]. Наноструктурированные (имеющие наноразмерную форму) микроэлементы, такие как Cu, Fe, Ni, Mn, Si, Co, Se и Zn, играют важную роль в повышении устойчивости растений к болезням путем активации ферментов и в увеличении эффективности производства энергии фотосинтетическими процессами для реализации защитных механизмов [10].

Кобальт в тканях растений содержится в ионных и комплексных соединениях. В оптимальных концентрациях этот микроэлемент способствует увеличению толщины и объема мезофилла в листьях. Он влияет на формирование и функционирование фотосинтетического аппарата растений. Этот микроэлемент способствует концентрации хлоропластов и пигментов в листьях, что связано с увеличением объема пластидного аппарата благодаря репликации и роста органелл [17]. Связь кобальта с синтезом белка может быть обусловлена участием в регулировании структуры и стабильности рибосом, а также функционировании РНК [18]. И хотя необходимое для растений количество этого микроэлемента очень невелико (до 12 мг/кг сухой массы), а его незаменимость для растений строго не доказана, кобальтовые удобрения все же способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур и улучшают качество продукции. Кроме того, кобальт способствует повышению общего содержания воды в растениях, чем повышает их засухоустойчивость [19].

Цель исследований – оценка влияния биостимуляторов и наночастиц кобальта на продуктивность многолетних трав, выращиваемых на основных типах почв (дерново-подзолистая, серая лесная, чернозем выщелоченный).

**Методика.** Работу выполняли на почвенном стационаре Опытной агротехнологической станции ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П. А. Костычева», входящем в состав учебно-научного инновационного центра «Агротехнопарк» (Рязанский район, Рязанской области). Исследования проводили в четырехкратной повторности на трех типах почв (дерново-подзолистая – ДПП, серая лесная – СЛП, чернозем выщелоченный – Ч) в лизиметрах конструкции ВНИИГиМ с ненарушенным почвенным профилем (см. рисунок).

Площадь стационарных полевых лизиметров составляла 1,13 м<sup>2</sup>. Почвы характеризовались следующими агрохимическими показателями: дерново-подзолистая –

$pH_{KCl}$  6,0 ед., содержание гумуса – 2,3 %, подвижного фосфора и калия (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО) – соответственно 200 мг/кг и 198 мг/кг почвы, общего азота (ГОСТ Р 58596-2019) – 0,023 %; серая лесная –  $pH_{KCl}$  6,2 ед., содержание гумуса – 2,6 %, подвижного фосфора и калия (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО) – соответственно 204 мг/кг и 219 мг/кг почвы, общего азота (ГОСТ Р 58596-2019) – 0,11 %; чернозем выщелоченный –  $pH_{KCl}$  6,2 ед., содержание гумуса – 3,2 %, подвижного фосфора и калия (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО) – соответственно 229 мг/кг и 250 мг/кг почвы, общего азота (ГОСТ Р 58596-2019) – 0,14 %. Как видно из агрохимических показателей почвы всех трех типов характеризовались низкой обеспеченностью органическим веществом и азотом и высокой подвижным калием и фосфором для выращивания зерновых культур [20].

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов обработки семян биостимуляторами – без обработки (0), жидкофазный биопрепарат (ЖФБ), наночастицы кобальта (НЧСо).

В качестве фона вносили компост, включавший 90 % навоза крупного рогатого скота и 10 % перепревшего птичьего помета, в дозе 20 т/га. Семена перед посевом замачивали в течение 60 минут, согласно вариантам, в дистиллированной воде, в 1 %-ном жидкофазном биопрепарате и растворе наночастиц кобальта из расчета 0,01 г на гектарную норму посева семян.

В эксперименте высевали травосмесь многолетних трав на зеленый корм следующего состава: овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds) – 50 %, райграс пастбищный (*Lolium perenne*) – 40 %, мятлик луговой (*Poa pratensis*) – 10 %. После установления стабильного уровня грунтовых вод имитировали ранневесеннюю

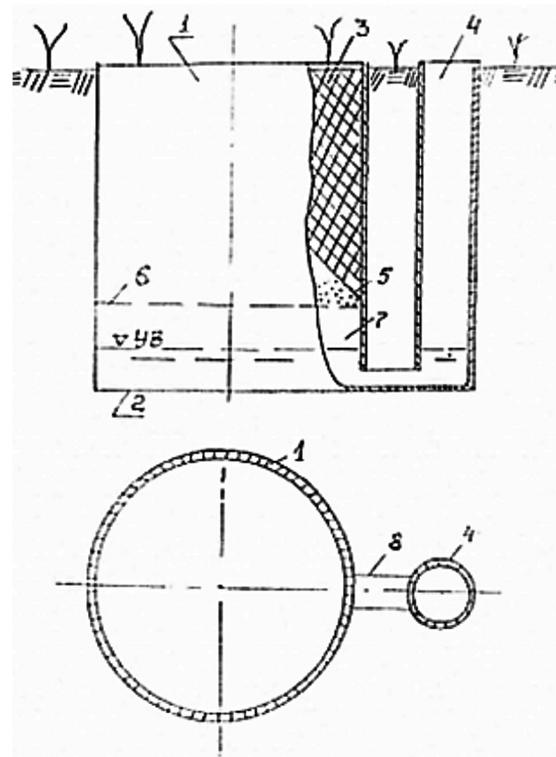


Схема водобалансового лизиметра: 1 – корпус, 2 – дно лизиметра, 3 – монолит грунта, 4 – карман для отбора воды, 5 – гравийная засыпка, 6 – сетчатый фильтр, 7 – уровень грунтовых вод, 8 – канал сообщения.

**Табл. 1. Урожайность злакового сена на основных типах почв при применении биостимуляторов в годы исследований**

Тип почвы	Обработка семян	Урожайность, т/га			
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее
ДПП	0	2,98	3,01	3,00	3,00
	ЖФБ	3,97	3,92	3,83	3,91
	НЧСо	3,20	3,17	3,19	3,19
	среднее	3,38	3,37	3,34	3,36
	НСР <sub>0,95</sub>	0,13	0,14	0,13	0,14
СЛП	0	3,30	3,29	3,28	3,29
	ЖФБ	3,38	3,42	3,37	3,39
	НЧСо	3,62	3,57	3,55	3,58
	среднее	3,44	3,43	3,40	3,52
	НСР <sub>0,95</sub>	0,13	0,13	0,14	0,11
Ч	0	3,69	3,60	3,58	3,62
	ЖФБ	4,41	3,91	4,38	4,23
	НЧСо	3,95	3,93	3,94	3,94
	среднее	4,02	3,81	3,97	3,93
	НСР <sub>0,95</sub>	0,15	0,16	0,15	0,17
Среднее	0	3,32	3,30	3,29	3,30
	ЖФБ	3,92	3,75	3,86	3,84
	НЧСо	3,59	3,56	3,56	3,57
	среднее	3,61	3,54	3,57	3,57

вспашку на глубину 0...25 см, непосредственно перед которой в почву вносили рассчитанную норму компоста с равномерным распределением вручную по поверхности лизиметра. Семена высевали в 7 рядков на глубину 1...2 см и прикапывали. Уборку урожая проводили в фазе колошения – начала молочной спелости семян [21]. Растения срезали на высоте 1...2 см от уровня почвы.

В лаборатории надземный урожай высушивали до постоянной массы. Содержание сухого вещества определяли в соответствии с ГОСТ 31640-2012 высушиванием при температуре 105 °С, количество обменной энергии, кормовых единиц и переваримого белка – в соответствии с методическими указаниями по оценке качества и питательной ценности кормов [22]. Содержание каротина определяли по ГОСТ 13496.17-2019 фотометрическим методом с растворением в петролейном эфире или бензине и фотометрическим измерением интенсивности окраски, нитратов – ионометрическим методом, который основан на их экстракции раствором алюмокалиевых квасцов с последующим измерением молярной концентрации с использованием ионоселективного электрода (ГОСТ 13496.19-2015).

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием аналитических пакетов «STATISTICA» и «VARIANCE».

**Результаты и обсуждение.** Применение биостимуляторов на фоне внесения органических удобрений способствует повышению урожайности [23]. На дерново-подзолистой почве и черноземе выщелоченном наилучший в опыте эффект обеспечило использование жидкофазного биопрепарата (табл. 1). Отмечено увеличение урожайности, по сравнению необработанным вариантом, соответственно на 0,91 т/га (23,3 %) и 0,61 т/га (16,8 %).

Более ранние исследования Смирновой Ю. Д. [24] также показали, что применение ЖФБ на яровой пшенице, выращенной на минеральном фоне (N<sub>50</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>), увеличивало урожай зерна на 15 %, а на органическом фоне – на 27 %. ЖФБ способствовал увеличению массы 1000 зерен на 13 %, продуктивного кущения на 10 %. Отмечено значительное увеличение содержания сырого протеина в зерне яровой пшеницы в обоих вариантах с применением удобрений.

Предпосевная обработки семян наночастицами кобальта обеспечила наилучший в опыте эффект на серой лесной почве: прибавка, в сравнении с необработанным вариантом, составила 0,29 т/га (8,8 %). Исследования, проведенные Полищук С. Д. с соавторами [25] в полевых условиях, показали, что предпосевная обработка семян пшеницы наночастицами кобальта обеспечивала увеличение урожайности в среднем на 14 %, по отношению к необработанному варианту.

Питательную ценность корма характеризует, прежде всего, содержание в нем влаги и сухого вещества. В нашем исследовании массовая доля сухого вещества составляла от 88,2 % до 89,4 % при норме не менее 83,0 % (табл. 2).

При интенсивном ведении животноводства средняя энергетическая питательность корма должны составлять не менее 9 МДж ОЭ (0,70 корм.ед.) в 1 кг сухого вещества. Этим требованиям соответствовала продукция, выращенная в следующих вариантах: на дерново-подзолистой почве при применении жидкофазного биопрепарата (9,23 МДж обменной энергии и 0,75 корм.ед.); на серой лесной почве и черноземе выщелоченном при использовании наночастиц кобальта в предпосевной обработке семян (9,30 МДж обменной энергии и 0,70 корм.ед.). В целом следует отметить,

**Табл. 2. Питательная ценность многолетних трав (среднее за 2019–2021 гг.)**

Тип почвы	Обработка семян	Влажность, %	Сухое вещество, %	Обменная энергия, МДж	Кормовые единицы
ДПП	0	10,63	88,83	9,13	0,68
	ЖФБ	10,83	89,14	9,23	0,75
	НЧСо	11,51	88,48	9,16	0,72
	среднее	10,99	88,82	9,17	0,72
	НСР <sub>0,95</sub>	0,51	–	–	0,03
СЛП	0	10,59	89,43	9,12	0,68
	ЖФБ	11,56	88,46	9,18	0,68
	НЧСо	11,37	88,63	9,30	0,71
	среднее	11,17	88,84	9,20	0,69
	НСР <sub>0,95</sub>	0,54	–	–	–
Ч	0	11,77	88,23	9,10	0,68
	ЖФБ	11,41	88,61	9,20	0,69
	НЧСо	11,76	88,26	9,30	0,70
	среднее	11,65	88,37	9,20	0,69
	НСР <sub>0,95</sub>	-	–	–	–
Среднее	0	11,00	88,83	9,12	0,68
	ЖФБ	11,27	88,74	9,20	0,71
	НЧСо	11,55	88,46	9,25	0,71
	среднее	11,27	88,67	9,19	0,70

**Табл. 3. Химический состав многолетних трав (среднее за 2019–2021 гг.)**

Тип почвы	Обработка семян	Переваримый протеин, г/кг	Каротин, мг/кг	Нитраты, г/кг
ДПП	0	12,0	7,0	0,59
	ЖФБ	29,0	8,0	1,00
	НЧСо	29,0	12,0	0,41
	среднее	23,3	9,0	0,67
	НСР <sub>0,95</sub>	1,5	1,3	0,03
СЛП	0	19,0	8,0	2,96
	ЖФБ	26,0	11,0	0,40
	НЧСо	23,0	11,0	0,64
	среднее	22,7	10,0	1,33
	НСР <sub>0,95</sub>	1,86	1,3	0,08
Ч	0	22,0	8,0	2,63
	ЖФБ	30,0	10,0	4,62
	НЧСо	27,0	10,0	0,56
	среднее	26,3	9,3	2,49
	НСР <sub>0,95</sub>	1,2	1,2	0,12
Среднее	0	17,7	7,7	2,06
	ЖФБ	29,7	9,7	2,01
	НЧСо	26,3	11,0	0,54
	среднее	24,1	9,4	1,50

что энергетическая ценность представленных образцов достаточно высокая.

Как известно, основным лимитирующим элементом в рационах животных выступает протеин. Недостаток белковых веществ всегда ведет к перерасходу кормов, недополучению и снижению качества продукции. Часть протеина, которая переваривается (используется животным) называется переваримым протеином. Это понятие применимо к моногастричным животным, так как у них можно четко определить, какая часть протеина от принятого с кормом количества была усвоена.

Содержание переваримого протеина в корме с необработанных вариантов на всех трех типах почв было ниже, чем при использовании биостимуляторов. Наибольшее содержание белка отмечено в продукции в вариантах ЖФБ (ДПП) и НЧСо (ДПП) – 29 г/кг, что выше, чем без обработки семян, на 58,6 %. При использовании ЖФБ на серой лесной почве величина этого показателя составила 26 г/кг, что выше, чем без обработки, на 36,4 %. На черноземе выщелоченном при использовании для предпосевной обработки семян жидкофазного биопрепарата разница составила 24,1 %. Применение наночастиц кобальта способствовало росту величины этого показателя на 22,7 % (табл. 3).

Нитраты – это промежуточная форма в процессе трансформации азота в протеин, которая содержится в травах в низких концентрациях, а в организме животного перерабатывается в нитриты. Высокое количество нитритов опасно, так как они прикрепляются к красным кровяным тельцам (корпускулам), что может привести к внезапной смерти животного. Допустимое содержание нитратов <7,5 г/кг сухого вещества. В наших экспериментах вся продукция соответствовала требованиям и была безопасна для кормления животных.

Содержание каротина – важный показатель, характеризующий качество кормов, поэтому при составлении рациона животных следует учитывать величину этого показателя. Попадая в организм животного каротин преобразуется в жизненно необходимые вещества ретиноиды (витамин А, ретиноевая кислота и др.) [26].

Использование наночастиц кобальта для предпосевной обработки семян способствовало повышению содержания каротина в вегетативной массе растений на всех трех типах почв. На дерново-подзолистой почве оно было больше, чем в необработанном варианте, на 71,4 %, на серой лесной – на 37,5 %, на черноземе выщелоченном – на 25,0 %. Благодаря высокой диффузной подвижности частиц, валентности ненасыщенных металлов и образованию большого набора хелатных соединений кобальт обеспечивает высокую биологическую эффективность. Можно предположить, что его наночастицы способствовали активации процессов синтеза каротина в зеленой массе многолетних трав.

Таким образом, биостимуляторы роста, применяемые для предпосевной обработки семян (жидкофазный биопрепарат или наночастицы кобальта), на фоне минимальной дозы органических удобрений обеспечивают повышение урожайности злаковой травосмеси на дерново-подзолистой почве на 6,3...23,3 %, на серой лесной почве – на 3,0...8,8 %, на черноземе выщелоченном – на 8,8...16,8 %. На дерново-подзолистой почве и черноземе выщелоченном лучший эффект обеспечивает жидкофазный биопрепарат, на серой лесной почве – наночастицы кобальта. При этом не происходит снижения пищевой и энергетической ценности, а сама продукция остается безопасной. Использование наночастиц кобальта приводит к достоверному увеличению содержания каротина вне зависимости от типа почв на 25,0...71,4 %, а жидкофазный биопрепарат способствует повышению его накопления на серой лесной почве и выщелоченном черноземе на 25,0...37,5 %.

#### Литература.

1. Васин В. Г., Вершинина О. В. Продуктивность и кормовые достоинства гороха и нута при применении современных биостимуляторов // *Кормопроизводство*. 2017. № 9. С. 28–32.
2. Приемы повышения эффективности применения биологических препаратов в растениеводстве / Г.Н. Азиева, Л.С. Нижегородцева, Р.Ж.К. Диабанкана и др. // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 15. № 4 (60). С. 5–9.
3. Яхин О. И., Лубянов А. А., Яхин И. А. Физиологическая активность биостимуляторов и эффективность их применения // *Агрохимия*. 2016. № 6. С. 72–94.
4. Об эффективности предпосевной обработки семян озимой пшеницы наночастицами металлов / Т. А. Юрина, Г. В. Дробин, О. А. Богословская и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 1. С. 135–145.
5. Показатели яровой пшеницы в ответ на обработку семян наночастицами металлов / Н. В. Давыдова, С. П. Замана, И. И. Крохмаль и др. // *Российские нанотехнологии*. 2019. Т. 14, № 11–12. С. 64–74.
6. Юрина Т. А., Глуценко Н. Н., Богословская О. А. Анализ исследований по применению препаратов на основе современных био- и нанотехнологий // *Техника и оборудование для села*. 2020. № 11 (281). С. 12–15.
7. Современные биопрепараты и стимуляторы роста в технологии возделывания подсолнечника на масло-семена / Р.М. Низамов, С.Р. Сулейманов, Ф.Н. Сафиоллин и др. // *Вестник Казанского государственного*

- аграрного университета. 2018. Т. 13. № 1 (48). С. 38–40.
8. Соболева О. М. Роль ризосферных бактерий в повышении экологизации агроценозов // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 5. С. 19–22.
  9. Влияние обработки растительных остатков сельскохозяйственных культур биопрепаратами на подвижные гумусовые вещества чернозема типичного слабоэродированного / Н.П. Масютенко, А.В. Кузнецов, М.Н. Масютенко и др. // *Земледелие*. 2020. № 5. С. 14–18.
  10. Черникова О. В., Амплеева Л. Е., Мажайский Ю. А. Формирование урожая кукурузы при обработке семян наночастицами селена // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 2. С. 24–27.
  11. Черемисин А.И., Кумпан В.Н. Изучения влияния применения биопрепаратов и стимуляторов роста на полезную микрофлору и продуктивность картофеля // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 13. № 4 (51). С. 91–95.
  12. Завалин А. А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: Изд-во ВНИА, 2005. 302 с.
  13. Рабинович Г. Ю., Смирнова Ю. Д., Фомичева Н. В. Исследование различных технологических приемов применения биопрепарата ЖФБ на яровой пшенице // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 5 (196). С. 20–26.
  14. Рабинович Г. Ю., Ковалев Н. Г., Смирнова Ю. Д. Применение новых биоудобрений и биопрепаратов при возделывании яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и картофеля (*Solanum tuberosum* L.) // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. Т. 50. № 5. С. 665–672.
  15. Vuong L. D. Nanoparticles for the Improved Crop Production. In: Panpatte D., Jhala Y. (eds) *Nanotechnology for Agriculture: Crop Production & Protection*. Springer, Singapore. 2019. С.85–106. URL: [https://doi.org/10.1007/978-981-32-9374-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9374-8_5) (дата обращения 22.10.2022).
  16. Емельянова А. А., Новикова А. А. Регуляторы роста, наночастицы и микроудобрения как факторы повышения урожайности растений путём обработки по вегетации в условиях стресса // *Животноводство и кормопроизводство*. 2022. Т. 105, № 1. С. 130–138.
  17. Armstrong G. A. Eubacteria show their true colors: Genetics of carotenoid pigment biosynthesis from microbes to plants // *Journal of Bacteriology*. 1994. Vol. 176 (16). С. 4795–4802.
  18. Liaaen-Jensen S. Carotenoids in chemosystematics / eds. G. Britton, S. Liaaen-Jensen, H. Pfander. // *Biosynthesis and Metabolism: Carotenoids*. Vol. 3. Basel: Birkhauser Verlag, 1998 P. 217–247.
  19. Ecologic-biological effects of cobalt, cuprum, copper oxide nano-powders and humic acids on wheat seeds / S. D. Polishchuk, A. A. Nazarova, M. V. Kutskir, et al. // *Modern Applied Science*. 2015. Vol. 9. No. 6. P. 354–364.
  20. Самофалова И. А. Агрочововедение: учебно-методическое пособие. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2021. 127 с.
  21. Методические указания по селекции многолетних злаковых трав / В. М. Косолапов, С. И. Костенко, С.В. Пилипко и др. М.: РГАУ МСХА, 2012. 53 с.
  22. Методические указания по оценке качества и питательности кормов. М.: ЦИНАО, 2002. 76 с
  23. Features of the influence of copper nanoparticles and copper oxide on the formation of barley crop / T. Seregina, O. Chernikova, Y. Mazhayskiy, et al. // *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18. (1). С. 1010–1017.
  24. Смирнова Ю. Д. Влияние биопрепарата ЖФБ на урожайность и качество сельскохозяйственных культур // *Дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук.* – РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. М.: 2017. 166 с.
  25. Investigation of the long-term toxic effect of nanoparticles of different physical-chemical characteristics / D. G. Churilov, S. D. Polischuk, G. I. Churilov, et al. // *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18 (3). С.1973–1991.
  26. Дронова Т. Н., Бурцева Н. И., Молоканцева Е. И. Научные результаты исследований по многолетним травам // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2017. № 3 (47). С. 46–56.

Поступила в редакцию 25.07.2022  
 После доработки 26.08.2022  
 Принята к публикации 29.09.2022

## ВЛИЯНИЕ НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ РАСТЕНИЙ УДОБРЕНИЕМ БАТР ЦИНК НА ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ КУКУРУЗЫ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ

**В.Н. Багринцева**, доктор сельскохозяйственных наук,  
**И.Н. Ивашенко**, кандидат сельскохозяйственных наук

*Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы,  
357528, Пятигорск, ул. Ермолова, 14б  
E-mail: maize-techno@mail.ru*

*Исследования проводили с целью изучения влияния некорневой подкормки растений кукурузы цинковым микроудобрением Батр Цинк на формирование хозяйственно ценных признаков гибридов Машук 220 МВ и Машук 355 МВ. Работу выполняли в 2019–2021 гг. в Ставропольском крае. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в слое почвы 0...20 см среднее (4,0 %). Обеспеченность почвы нитратным азотом (по Грандваль-Ляжу) перед подкормками низкая (17,0 мг/кг), подвижным фосфором и калием (по Мачигину) – соответственно низкая (11 мг/кг) и средняя (244 мг/кг). Схема полевого эксперимента предполагала изучение следующих вариантов: без листовых подкормок – контроль, листовая подкормка удобрением Батр Цинк (1,0 л/га). Некорневое внесение удобрения осуществляли в фазе 7...8 листьев кукурузы опрыскивателем ОП-2500. Учет урожая в початках проводили вручную с последующим обмолом на молотилке. В зоне достаточного увлажнения на черноземе обыкновенном карбонатном мощном тяжелосуглинистом фолитарное внесение микроудобрения Батр Цинк в дозе 1,0 л/га в фазе 8 листьев кукурузы оказывало положительное воздействие на рост и урожайность гибридов. Некорневая подкормка в 2019–2021 гг. обеспечивала увеличение высоты растений гибрида кукурузы Машук 220 МВ на 5...15 см (2,6...7,3 %), Машук 355 МВ – на 7...14 см (3,0...6,2 %), по отношению к контролю. Одновременно урожайность зеленой массы гибрида Машук 220 МВ возрастала на 5,1...8,7 т/га (17,5...31,4 %), Машук 355 МВ – на 3,1...5,7 т/га (10,2...18,9 %), зерна – соответственно на 0,54...0,90 т/га (9,9...21,8 %) и 0,31...1,17 т/га (4,0...26,1 %).*

## THE INFLUENCE OF FOLIAR PLANTS FERTILIZING WITH FERTILIZER BATR ZINC ON THE CORN YIELD FORMATION IN THE STAVROPOL REGION

**Bagrintseva V.N., Ivashenko I.N.**

*All-Russian research scientific institute of corn  
357528, Pyatigorsk, ul. Ermolova, 14b  
E-mail: maize-techno@mail.ru*

*The purpose of the research was to study the effect of foliar feeding of corn plants with zinc microfertilizer Batr Zinc on the formation of economically valuable traits of cultivating hybrids Mashuk 220 MV and Mashuk 355 MV. The experiments were conducted in 2019–2021 in the Stavropol Territory. The experiment involved the study of the following options: 1 – control without foliar application, 2 – foliar application of Batr Zinc fertilizer (1.0 L/ha). Foliar fertilization was applied in the phase of 7–8 corn leaves using an OP-2500 sprayer. The harvest was accounted by ear manually, followed by threshing on the threshing machine. It has been established that in the zone of sufficient moisture on ordinary calcareous heavy loamy chernozem, foliar application of the microfertilizer Batr Zinc at a dose of 1.0 l/ha in the phase of 8 maize leaves had a positive effect on the growth and yield of the hybrids. In 2019–2021 foliar top dressing increased the average height of plants of the corn hybrid Mashuk 220 MV by 5...15 cm; the height of the hybrid Mashuk 355 MV increased by 7...14 cm. The yield of green mass of the hybrid Mashuk 220 MV increased by 5.1...8.7 t/ha; for the hybrid Mashuk 355 MV this indicator increased by 3.1...5.7 t/ha. Fertilizing plants of the corn hybrid Mashuk 220 MV provided an increase in grain yield by 0.54...0.90 t/ha; for the hybrid Mashuk 355 MV grain yield increased by 0.31...1.17 t/ha.*

**Ключевые слова:** кукуруза (*Zea mays* L.), гибрид, микроудобрение, Батр Цинк, высота, урожайность, зеленая масса, зерно, эффективность.

**Key words:** corn (*Zea mays* L.), hybrid, microfertilizer, Batr Zinc, height, productivity, green mass, grain, efficiency.

Кукуруза проявляет высокую потребность в микроэлементе Zn, который играет важную метаболическую роль в растениях и влияет на их рост и развитие. Цинк выступает активным элементом в биохимических процессах, происходящих в растительных организмах. Он участвует в таких физиологических функциях, как поддержание структурной и функциональной целостности биологических мембран, усиление синтеза белков и экспрессии генов, влияет на структуры ферментов и др. [1]. Цинк способствует значительному увеличению концентрации хлорофилла в листьях, общего сухого вещества, сырого белка и растворимых углеводов [2].

Повышенная потребность кукурузы в Zn и высокая эффективность цинкостойких удобрений установлены во многих странах. В экспериментах, проводившихся в восьми штатах США, кукуруза положительно отзывалась на цинковое удобрение. Средняя урожайность зерна увеличивалась с 10,5 т/га без его внесения до 11,5 т/га при использовании цинкового удобрения [3].

Опрыскивание посевов микроэлементами и Zn способствовало повышению урожайности зерновой кукурузы в Иране [4]. Внесение Zn в почву, обработка им семян или некорневая подкормка улучшали рост и развитие растений кукурузы, увеличивали выход сухого вещества и урожайность зерна в Индии. Эффективность цинковых удобрений увеличивалась при совместном применении с NPK [5].

Использование цинкостойких удобрений способствует увеличению листовой поверхности, высоты растений, урожайности зерна кукурузы [6, 7, 8]. Высокая эффективность цинкового микроудобрения на кукурузе установлена на дерново-среднеподзолистой почве Удмуртской Республики [7], серой лесной почве [9], лугово-черноземной почве Омской области [8], на черноземах Краснодарского края [10].

Запасы подвижного Zn в корнеобитаемом слое большинства почв бывшего СССР недостаточны для питания растений [11, 12]. В Ставропольском крае 99,4 % пашни отно-

**Табл. 1. Влияние некорневой подкормки удобрением Батр Цинк на высоту растений гибридов кукурузы, см**

Вариант	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
<b>Машук 220 МВ</b>				
Без подкормки	206	193	214	204
Батр Цинк (1,0 л/га)	221	198	224	214
НСР <sub>05</sub>	5	3	3	3
<b>Машук 355 МВ</b>				
Без подкормки	235	203	227	222
Батр Цинк (1,0 л/га)	242	215	241	233
НСР <sub>05</sub>	7	14	9	5

сится к группе с низким содержанием подвижного Zn (менее 2,0 мг/кг) [13].

Поэтому количественные и качественные показатели урожая кукурузы во многом зависят от содержания Zn в почве. Его положительное влияние на продуктивность этой культуры бывает соизмеримым с эффективностью азотного удобрения [9].

НПЦ «Сервис-Агро» (Татарстан) производит ряд эффективных органоминеральных удобрений для подкормки растений, содержащих помимо макроэлементов микроэлементы, в том числе Zn. Батр Цинк – новое жидкое микроудобрение для листовых подкормок сельскохозяйственных культур. Преимущества этого микроудобрения состоят в том, что оно содержит 6 % цинка в доступной для растений хелатной форме. Удобрение содержит также янтарную, лимонную, аскорбиновую кислоты, комплекс активных органических компонентов. Согласно рекомендациям производителя, нормы применения удобрения составляют 0,5...1,0 л/га [14].

Цель исследований – установить влияние микроудобрения Батр Цинк в максимальной рекомендуемой дозе 1,0 л/га на рост растений, формирование початков и урожайность кукурузы в условиях Ставропольского края.

**Методика.** Работу выполняли на опытном поле Всероссийского НИИ кукурузы, расположенном на высоте 541 м над уровнем моря, 44° с.ш., 43° в.д. в четвертой зоне (достаточного увлажнения) Ставропольского края. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный карбонатный мощный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса в слое почвы 0...20 см среднее (4,0 %). Перед подкормками кукурузы ее обеспеченность нитратным азотом (по Грандваль-Ляжу) была низкой (17,0 мг/кг), подвижным фосфором и калием (по Мачигину) – соответственно низкой (11 мг/кг) и средней (244 мг/кг).

Исследования проводили на гибридах кукурузы селекции ВНИИ кукурузы: среднеранний Машук 220 МВ (ФАО 220) и среднеспелый Машук 355 МВ (ФАО 350).

Посев выполняли в оптимальный срок 28...30 апреля сеялкой УПС-8 с повышенной нормой высева (90 тыс. шт./га). Способ посева широкорядный, с шириной междурядий 70 см. После появления всходов в фазе 3...5 листьев формировали оптимальную густоту стояния растений: 70 тыс. шт./га для гибрида Машук 220 МВ, 60 тыс. шт./га для гибрида Машук 355 МВ.

Предшественником кукурузы была озимая пшеница. Основная обработка почвы отвальная. С целью защиты от сорных растений в фазе 3-х листьев осуществляли обработку гербицидом Аденго 0,5 л/га. Для рыхления почвы в фазе 7...8 листьев проводили междурядную культивацию. Некорневую подкормку гибридов кукурузы в фазе 7...8 листьев агрохимикатом Батр Цинк осуществляли поперек посева опрыскивателем ОП-2500 при расходе рабочего раствора 250 л/га.

Общая площадь делянки составляла 19,6 м<sup>2</sup>, учетная – 9,8 м<sup>2</sup>. Повторность в опыте 4-кратная. Учет урожая в початках проводили вручную, с последующим обмоломом на молотилке.

**Табл. 2. Влияние некорневой подкормки удобрением Батр Цинк на урожайность зелёной массы гибридов кукурузы, т/га**

Вариант	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
<b>Машук 220 МВ</b>				
Без подкормки	27,7	29,2	32,6	29,8
Батр Цинк (1,0 л/га)	36,4	34,3	39,1	36,6
НСР <sub>05</sub>	2,3	6,5	4,2	2,1
<b>Машук 355 МВ</b>				
Без подкормки	30,8	30,2	30,4	30,5
Батр Цинк (1,0 л/га)	35,5	35,9	33,5	35,0
НСР <sub>05</sub>	3,8	3,7	1,8	1,3

В 2019 г. за май–сентябрь выпало 302,1 мм осадков, в том числе в мае 50,6 мм, в июне 71,0 мм, июле 114,0 мм, августе 16,0 мм, сентябре 50,5 мм. 2020 г. характеризовался меньшим количеством осадков за период вегетации (272,3 мм). По месяцам суммы осадков составляли соответственно 138,7; 45,0; 18,0; 65,1; 5,5. В 2021 г. из трех лет исследований выпало больше всего осадков (382,2 мм). При этом их распределение по месяцам было равномернее, суммарное количество осадков за май составило 94,3 мм, июнь – 63,9 мм, июль – 73,5 мм, август – 78,1 мм, сентябрь – 72,5 мм.

**Результаты и обсуждение.** Полученные в опытах данные позволили оценить, насколько некорневая подкормка цинк-содержащим микроудобрением изменяет биометрические показатели растений. В фазе цветения установлено положительное влияние удобрения на высоту растений. По годам исследований у гибрида Машук 220 МВ она увеличивалась на 5...15 см, у Машук 355 МВ – на 7...14 см. Растения гибридов

**Табл. 3. Влияние некорневой подкормки удобрением Батр Цинк на элементы структуры урожая гибридов кукурузы**

Вариант	Длина початка, см				Число зерен в початке, шт.				Масса початка, г			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее
<b>Машук 220 МВ</b>												
Без подкормки	16,8	13,7	16,0	15,5	405	285	410	367	139,2	89,5	106,3	111,7
Батр Цинк (1,0 л/га)	17,5	15,3	16,3	16,4	436	363	417	405	150,0	100,7	115,7	122,1
НСР <sub>05</sub>	0,2	0,7	0,4	0,4	38	67	8	25	11,1	13,4	9,0	4,1
<b>Машук 355 МВ</b>												
Без подкормки	17,4	14,0	15,5	15,6	440	332	390	387	160,9	118,3	134,9	138,0
Батр Цинк (1,0 л/га)	17,2	15,0	15,9	16,0	462	365	402	410	162,6	138,6	146,2	149,1
НСР <sub>05</sub>	1,9	1,4	1,5	0,7	66	76	73	26	8,9	12,8	13,7	6,6

**Табл. 4. Влияние некорневой подкормки удобрением Батр Цинк на урожайность зерна гибридов кукурузы, т/га**

Вариант	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее
<b>Машук 220 МВ</b>				
Без подкормки	6,98	4,13	5,47	5,53
Батр Цинк (1 л/га)	7,55	5,03	6,01	6,20
НСР <sub>05</sub>	0,77	1,11	0,25	0,30
<b>Машук 355 МВ</b>				
Без подкормки	7,71	4,14	4,49	5,45
Батр Цинк (1 л/га)	8,02	4,82	5,66	6,17
НСР <sub>05</sub>	0,48	0,74	1,93	0,50

различались по высоте, но прирост в среднем за 3 года различался всего на 1 см.

Высота растений кукурузы изучаемых гибридов была наименьшей в 2020 г., что, вероятно, связано с дефицитом влаги в июне и июле во время интенсивного роста (табл. 1). Прирост в высоту вследствие подкормки не зависел от количества осадков в указанные месяцы. Так, в 2019 г. при сумме осадков за июнь–июль 185 мм, высота растений гибрида Машук 355 МВ увеличивалась – на 7 см, а в 2020 г. при величине этого показателя 63 мм – на 12 см. В 2021 г., когда осадков выпало 137 мм, высота растений увеличилась на 14 см.

Положительное влияние удобрения Батр Цинк на растения кукурузы проявлялось в увеличении урожайности зеленой массы (табл. 2). У гибрида Машук 220 МВ ее сбор в 2019 г. увеличился на 8,7 т/га (31,4 %), в 2020 г. – на 5,1 т/га (17,5 %), в 2021 г. – на 6,5 т/га (19,9 %). Прибавки урожая гибрида Машук 355 МВ по годам составляли соответственно 4,7 т/га (15,3 %); 5,7 т/га (18,9 %); 3,1 т/га (10,2 %). Как в отдельные годы, так и в среднем, прибавка урожая зеленой массы гибрида Машук 220 МВ была выше, чем гибрида Машук 355 МВ.

Недостаточное количество осадков в 2020 г. негативно повлияло на формирование початков, их длина, число зерен и масса были значительно меньше, чем в другие более благоприятные по увлажнению годы (табл. 3). Во все годы отмечено увеличение показателей структуры урожая от подкормки растений удобрением Батр Цинк. В среднем за 2019–2021 гг. длина початка гибрида Машук 220 МВ увеличивалась на 0,9 см, гибрида Машук 355 МВ – на 0,4 см, число зерен – соответственно на 38 и 23 шт., масса початка – на 10,4 и 11,1 г.

Изменения показателей структуры урожая подтверждают положительное действие некорневой подкормки удобрением Батр Цинк на формирование початков у кукурузы. В 2019 г. прибавки урожая зерна гибрида Машук 220 МВ составляли 0,57 т/га (8,16%), Машук 355 МВ – 0,31 т/га (4,02 %), в 2020 г. – соответственно 0,90 и 0,68 т/га (21,79 и 16,43 %), в 2021 г., – 0,54 и 1,17 т/га (9,87 и 26,06 %). При этом эффективность некорневой подкормки цинксодержащим удобрением не зависела от влагообеспеченности растений кукурузы в июне, когда происходит интенсивный рост растений, а также в июле во время цветения. Так, в июне 2019 г. выпало 71,0 мм осадков, в 2020 г. – 45,0 мм, в 2021 г. – 73,5 мм, в июле – соответственно 114,0; 18,0; 73,5 мм (табл. 4).

Таким образом, некорневая подкормка кукурузы удобрением Батр Цинк положительно влияла на рост растений и увеличивала высоту среднераннего гибрида Машук 220 МВ в среднем за 3 года на 10 см, среднеспелого гибрида Машук 355 МВ – на 11 см. Более интенсивный рост растений обеспечивал существенное увеличение урожайности зеленой массы в фазе молочно-восковой спелости зерна, прибавки в среднем составили соответственно 6,8 т/га (22,7 %) и 4,5 т/га (14,8 %).

Применение удобрения Батр Цинк для некорневой подкормки положительно повлияло на формирование

початков кукурузы, в среднем их длина у гибрида Машук 220 МВ увеличилась на 0,9 см, у гибрида Машук 355 МВ – на 0,3 см, число зерен возросло соответственно на 38 и 23 шт., масса початка – на 10,4 и 11,4 г. В результате отмеченных изменений урожайность зерна гибрида Машук 220 МВ повысилась на 0,67 т/га (12,1 %), гибрида Машук 355 МВ – на 0,72 т/га (13,2 %).

#### Литература.

1. Mousavi S., Galavi M., Rezaei M. Zinc (Zn) importance for crop production – a review // *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 2013. Vol. 4. No. 1. P. 64–68.
2. Sharifi R., Mohammadi K., Rokhzadi A. Effect of seed priming and foliar application with micronutrients on quality of forage corn (*Zea mays*) // *Environmental and Experimental Biology*. 2016. Vol. 14. No. 2. P. 151–156.
3. Ruffo M., Olson R., Daverede I. Maize yield response to zinc sources and effectiveness of diagnostic indicators // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2016. Vol. 47. No. 2. P. 137–141.
4. Safyan N., Naderidarbaghshahi M., Bahari B. The effect of microelements spraying on growth, qualitative and quantitative grain corn in Iran // *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*. 2012. Vol. 3. P. 2780–2784.
5. Palai J.B., Jena J., Lenka S.K. Growth, yield and nutrient of maize as affected by zinc application – A Review // *Indian Journal of Pure Applied Biosciences*. 2020. Vol. 8. No. 2. P. 332–339.
6. Азаренко Ю. А., Ермохин Ю. И., Аксенова Ю. В. Цинк в почвах агроценозов Омского Прииртышья и эффективность применения цинковых удобрений // *Земледелие*. 2019. № 2. С. 13–17.
7. Эффективность foliarной обработки посевов кукурузы комплексными и микробиологическими удобрениями / С. И. Коконев, Р. Д. Валиулина, Т. Н. Рябова и др. // *Кормопроизводство*. 2020. № 5. С. 26–29.
8. Склярва М. А. Эффективность различных приемов применения цинка под кукурузу на лугово-черноземной почве Омской области // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2014. № 4. С. 28–31.
9. Никитишен В. И., Личко В. И., Остроумов В. Е. Потребность в микроэлементах кукурузы, выращиваемой на длительно удобряемой серой лесной почве // *Агрохимия*. 2012. № 5. С. 3–8.
10. Кукуруза : Агротехнические основы возделывания на черноземах Западного Предкавказья / Т.Р. Толорая, Н.Ф. Лавренчук, М.В. Чумак, и др.; (Науч. ред.: П.П. Васюков; А.А. Романенко); Рос. акад. с.-х. наук, Краснодар. НИИ сел. хоз-ва им. П.П. Лукьяненко, ООО НПО "Кубаньзерно". Краснодар, 2003. 310 с.
11. Жуйков Д. В. Мониторинг содержания микроэлементов (Mn, Zn, Co) в агроценозах юго-западной части центрально-черноземного района России // *Земледелие*. 2020. № 5. С. 9–13.
12. Изменение физико-химических показателей черноземов Центрального Предкавказья при сельскохозяйственном использовании / В. И. Фаизова, В. С. Цховребов, А. М. Никифорова и др. // *Агрохимический вестник*. 2017. № 4. С. 17–19.
13. Динамика содержания цинка в почвах Ставропольского края / А. И. Подколзин, А. Ю. Олейников, М. С. Сигида и др. // *Агрохимический вестник*. 2018. № 4. С. 51–57.
14. BATR Zn // *Сервис Агро*. URL: <http://npsagro.ru/catalogue/show/Batr-Zn> (дата обращения: 11.11.2022 г.).

Поступила в редакцию 06.04.2022  
 После доработки 15.06.2022  
 Принята к публикации 27.08.2022

## ИММУНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОРТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ К СТЕБЛЕВОЙ РЖАВЧИНЕ ПШЕНИЦЫ НА ЮГЕ РОССИИ\*

Е.В. Гладкова, кандидат сельскохозяйственных наук, Г.В. Волкова, член-корреспондент РАН, О.О. Игнатьева, аспирант

Федеральный научный центр биологической защиты растений,  
350039, Краснодар, п/о 39  
E-mail: galvol.bpp@yandex.ru

На территории России стеблевая ржавчина ежегодно встречается на Северном Кавказе, в Западной Сибири, Поволжье, Центральном Черноземье, Зауралье, Московской области. Поэтому ежегодные мероприятия по мониторингу ее распространения и прогнозу особенно актуальны для предотвращения возможных эпифитотий. Объект исследований – 25 районированных сортов озимой пшеницы селекции Научного центра зерна (НЦЗ) имени П.П. Лукьяненко (г. Краснодар), 2 сорта Федерального Ростовского аграрного научного центра (Ростовская область) и 1 сорт Аграрного научного центра «Донской» (Ростовская область). Оценку проводили на полевом стационаре с искусственным заражением стеблевой ржавчиной Федерального научного центра биологической защиты растений (г. Краснодар) в 2018–2020 гг. Критериями оценки служили тип реакции растений на заражение в баллах, степень поражения в процентах, площадь кривой развития болезни (ПКРБ) в условных единицах. Инокуляцию растений, учет типа реакции и степени развития осуществляли по стандартным методикам. По результатам иммунологической оценки показали устойчивость со степенью поражения до 10 % и типом реакции 1 балл сорта Антонина, Афина, Безостая 100, Васса, Грация, Жива, Курень, Утриш. К среднеустойчивым относились Сорта Адель, Доля, Дмитрий, Еремеевна, Сила, Трио, Юбилейная 100, Юка, Этнос, которые поразились до 30 % с типом реакции 2 балла. К средневосприимчивым отнесены сорта Гром, Губернатор Дона, Дон мира, Есаул, Калым, Станичная, Таня, степень поражения до 60 %, тип реакции 3 балла. Восприимчивыми были сорта Ермак, Лауреат, Лебедь, они поразились более 60 %, тип реакции 4 балла. Сорта, показавшие устойчивую реакцию к *Puccinia graminis* на полевом стационаре с искусственным заражением, могут быть рекомендованы к использованию в сельскохозяйственном производстве в зонах постоянного проявления патогена и в качестве источников устойчивости для включения в селекционные программы.

## IMMUNOLOGICAL EVALUATION OF WINTER WHEAT VARIETIES TO WHEAT STEM RUST IN THE SOUTH OF RUSSIA

Gladkova E.V., Volkova G.V., Ignatieva O.O.

Federal Research Center of Biological Plant Protection,  
350039, Krasnodar, p/o 39  
E-mail: galvol.bpp@yandex.ru

On the territory of Russia, stem rust is found annually in the main grain-producing regions: the North Caucasus, Western Siberia, the Volga region, the Central Chernozem region, the Trans-Urals, and the Moscow region. Therefore, annual measures to monitor the spread and forecast of stem rust are especially relevant to prevent possible epiphytotic. The object of research was 25 released varieties of winter wheat bred at the National Grain Center named after P.P. Lukyanenko named after P.P. Lukyanenko (Krasnodar), 2nd grade Federal Rostov Agrarian Scientific Center (Rostov Region) and 1st grade of the Agrarian Scientific Center «Donskoy» (Rostov region). The evaluation was carried out at a field station with artificial infection of stem rust of the Federal Research Center of Biological Plant Protection (Krasnodar) in 2018–2020. The evaluation criteria were the type of plant reaction to infection in points, the degree of damage in percent, area of the disease development curve in conventional units. Plant inoculation, taking into account the type of reaction and the degree of development was carried out according to standard methods. According to the results of the immunological evaluation of the varieties Antonina, Afina, Bezostaya 100, Vassa, Gratsiya, Zhiva, Kuren, Utrish showed resistance, the degree of damage up to 10%, with a reaction type of 1 points. 9 cultivars (Adel, Dolya, Dmitry, Eremeevna, Sila, Trio, Yubileynaya 100, Yuka, Ethnos) were moderately resistant, having been affected up to 30%, the reaction type was 2 points. 7 varieties (Grom, Governor of the Don, Don mira, Esaul, Kalym, Stanichnaya, Tanya) were classified as moderately susceptible, the degree of damage was up to 60%, the type of reaction was 3 points. Susceptible revealed 3 varieties (Ermak, Laureat, Lebed), they were affected above 60%, the type of reaction was 4 points. Varieties that showed a resistant reaction to *Puccinia graminis* in a field station with artificial infection of stem rust can be recommended for use in agricultural production in areas of constant manifestation of the pathogen and as sources of resistance for inclusion in breeding programs.

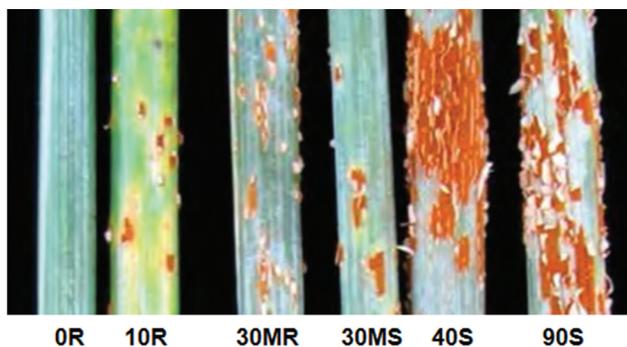
**Ключевые слова:** озимая пшеница, стеблевая ржавчина, *Puccinia graminis* Pers. f.sp. *tritici* Eriks. et Henn, иммунологическая оценка, устойчивые сорта.

**Key words:** winter wheat, stem rust, *Puccinia graminis* Pers. f.sp. *tritici* Eriks. et Henn, immunological evaluation, resistant varieties.

Стеблевая ржавчина, вызываемая грибом *Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*, одно из наиболее вредоносных заболеваний озимой пшеницы. Патоген вызывает множество разрывов эпидермиса стебля [1, 2]. При эпифитотийном развитии болезни потери урожая могут достигать 50...70 % [3, 4]. Вид *P. graminis* f. sp. *tritici* подразделяется на ряд специализированных форм, поражающих один или

несколько видов злаков [5]. Урединиоспоры стеблевой ржавчины могут переноситься по воздуху на огромные расстояния, способствуя быстрому распространению инфекции и приводя к значительному недобору урожая пшеницы [6, 7]. Изменения в патогенности и экологической адаптации стеблевой ржавчины привели к серьезным эпифитотиям и полной потере урожая [8, 9, 10].

\*Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2022-0004



**Шкала СИММУТ для оценки реакции и степени пораженности пшеницы стеблевой ржавчины [20].**

В отличие от других видов ржавчин, только этот патоген способен вызвать гибель растения [4]. Большинство усилий по борьбе с *P. graminis* исторически были сосредоточены на сортах, устойчивых к патотипам гриба. С 1960-х гг. до недавнего времени эта стратегия позволяла контролировать болезнь во многих странах мира. Появление в Восточной Африке в 1999 г. новой вирулентной расы ТTKSK (Ug99), которая быстро распространилась в сопредельные страны, создает все большую угрозу мировому производству пшеницы [11, 12, 13]. За последние 20 лет раса Ug99 распространилась от Восточной и Южной Африки до Ближнего Востока и Азии, принося опустошительные эпифитотии стеблевой ржавчины пшеницы [14, 15, 16]. Вредоносность этой расы объясняется ее вирулентностью к гену *Sr31*, который обеспечивал эффективную защиту сортов пшеницы от патогена последние 30 лет [17, 18]. В то же время устойчивые к болезням сорта остаются обязательным элементом органического земледелия, что заставляет корректировать направления генетической защиты. Поэтому очень важно целенаправленно вовлекать в селекцию новые доноры и источники устойчивости, создавать сорта, которые могут стать важным звеном в системе защиты от стеблевой ржавчины [18].

Цель исследований – иммунологическая оценка на устойчивость 28 сортов озимой пшеницы к северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы.

**Методика.** Работу проводили в 2018–2020 гг. на полевом стационаре с искусственным заражением стеблевой ржавчины Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (ФГБНУ ФНЦБЗР), г. Краснодар. Метеоусловия в 2019 г. были благоприятными для развития патогена. В 2018 и 2020 гг. сложилась обратная ситуация из-за выпадение меньшего количества осадков. Особенно неблагоприятным для развития стеблевой ржавчины из-за значительного недобора осадков с апреля по июнь был 2018 г.

Материалом для исследований служила популяция возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы, собранная в результате маршрутных обследований производственных и селекционных посевов озимой пшеницы в районах Краснодарского, Ставропольского краев и Ростовской области. Объекты исследования 28 сортов озимой пшеницы: 25 сортов селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко (г. Краснодар) – Адель, Антонина, Афина, Безостая 100, Бригада, Васса, Грация, Гром, Дмитрий, Доля, Еремеевна, Есаул, Ермак, Жива, Калым, Курень, Лауреат, Лебедь, Сила, Таня, Трио, Утриш, Этнос, Юбилейная 100, Юка; 1 сорт АНЦ «Донской» (г. Зерноград, Ростовская область) – Станичная и 2 сорта ФГБНУ

ФРАНЦ (Ростовская область, Аксайский район, пос. Рассвет) – Дон мира, Губернатор Дона.

Посев проводили осенью на полевом стационаре с искусственным заражением стеблевой ржавчины ФГБНУ ФНЦБЗР на делянках площадью 1 м<sup>2</sup>, в трехкратной повторности. В качестве контроля по восприимчивости использовали сорт Stava (Швеция, № в каталоге ВИР 64176).

Заражение растений выполняли весной в мае в фазе колошения при температуре воздуха не менее 16 °С. Растения инокулировали в вечернее время после выпадения росы смесью урениниоспор с тальком, нагрузка – 5 мг/м<sup>2</sup> (в соотношении 1:100) [19]. После обнаружения признаков заражения проводили в динамике учёт степени поражения и типа реакции сорта, просматривая по 20 растений в трёх точках делянки. Последующие учеты выполняли через каждые 7...10 сут. Степень поражения растений оценивали по шкале СИММУТ: иммунный тип (растения без признаков поражения, 0 баллов – заболевание отсутствует), R – устойчивый тип (мелкие пустулы, окруженные некротической зоной – 1 балл, поражение до 10 %); MR – умеренно устойчивый тип (пустулы небольших размеров, окруженные хлорозом или некротической каймой – 2 балла, поражение до 30 %); MS – умеренно восприимчивый тип (пустулы средней величины, некроз отсутствует, но могут развиваться зоны хлороза – 3 балла, поражение до 60 %); S – восприимчивый тип реакции (пустулы крупные, часто сливающиеся – 4 балла, поражение более 60 %) [20].

Скорость нарастания болезни определяли с использованием критерия ПКРБ (площадь кривой развития болезни), предложенного группой американских специалистов [21], который рассчитывали по следующей формуле:

$$S = \frac{1}{2} (x_1 + x_2)(t_2 - t_1) + \dots + (x_{n-1} + x_n)(t_n - t_{n-1}),$$

где  $x_1, x_2$  – степень поражения растения при первом и втором учете, %;  $(t_2 - t_1)$  – продолжительность периода между первым и вторым учетами, сут;  $x_n, x_{n-1}$  – степень поражения растения при последнем и предпоследнем учете, %;  $(t_n - t_{n-1})$  – продолжительность периода последним и предпоследним учетами, сут.

При проведении исследований использовали материально-техническую базу УНУ «Фитотрон для выделения, идентификации, изучения и поддержания рас, штаммов, фенотипов патогенов» (<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/671925/>) и объекты биоресурсной коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР «Государственная коллекция энтомоакарифагов и микроорганизмов».

**Результаты и обсуждение.** По итогам иммунологической оценки на устойчивость к северокавказской популяции стеблевой ржавчины 28 сортов озимой пшеницы ранжированы следующим образом (см. табл.):

абсолютную устойчивость (растения без признаков поражения, 0 баллов) продемонстрировал один сорт Бригада (3,5 % от числа изученных);

устойчивые сорта (R) – Антонина, Афина, Безостая 100, Васса, Грация, Жива, Курень, Утриш (28,6 %), ПКРБ составляла от 7,0 до 417,4 усл.ед.;

среднеустойчивые сорта (MR) – Адель, Доля, Дмитрий, Еремеевна, Сила, Трио, Юбилейная 100, Юка, Этнос (32,2 %), ПКРБ от 7,0 до 571,8 усл.ед.;

средневосприимчивые сорта (MS) – Гром, Губернатор Дона, Дон мира, Есаул, Калым, Станичная, Таня (25,0 %), ПКРБ от 86,5 до 1085,0 усл.ед.;

восприимчивые сорта (S) – Ермак, Лауреат, Лебедь (10,7 %), ПКРБ от 268,4 до 1421,0 усл.ед.

Большинство изученных сортов озимой пшеницы относится к устойчивым и среднеустойчивым к

**Результаты оценки устойчивости сортов озимой пшеницы к северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины пшеницы, полевой стационар с искусственным заражением стеблевой ржавчины ФГБНУ ФНЦБЗР (2018–2020 гг.)**

Сорт	Оригинатор	Степень поражения, % и тип реакции			ПКРБ, %		
		2018 г.	2019 г.	2020 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Бригада	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	0	0	0	0,0	0,0	0,0
Утриш	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	5R	5R	0	53,0	53,0	0,0
Безостая 100	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	5R	1R	5R	65,0	7,0	65,0
Васса	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	5R	1R	1R	70,1	19,0	19,0
Антонина	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	10MR	10MR	5R	168,9	168,9	101,5
Жива	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	5R	5R	10R	49,4	49,4	132,4
Курень	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	5R	5R	10R	417,4	72,5	143,5
Афина	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	10MR	5MR	10MR	137,5	72,5	232,5
Грация	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	10MR	1R	10MR	167,6	19,0	255,0
Адель	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	20MR	1R	1R	315,0	7,0	7,0
Сила	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	10MR	10MR	15MR	272,5	135,0	250,0
Дмитрий	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	20MR	30MR	20MR	310,6	380,6	337,0
Трио	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	20MR	5R	25MR	289,9	70,0	315,0
Этнос	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	20MR	5R	5R	320,1	72,5	84,5
Юбилейная 100	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	20MR	5R	20MR	328,3	53,0	293,5
Юка	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	20MR	5R	30MR	225,5	190,5	355,0
Доля	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	30MR	30MR	30MR	481,0	428,5	542,5
Еремеевна	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	30MR	10MR	30MR	571,8	173,9	467,5
Гром	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	20MR	50MS	10MR	216,4	426,4	146,4
Губернатор Дона	ФГБНУ ФРАНЦ	10MR	15MR	40MS	138,4	173,4	572,5
Станичная	АНЦ «Донской»	10MR	5R	40MS	142,0	86,5	636,0
Дон мира	ФГБНУ ФРАНЦ	50MS	15MR	35MR	708,5	252,5	452,5
Есаул	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	30MS	50MS	50MS	509,0	709,0	681,0
Калым	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	30MS	60MS	50MS	461,5	1002,5	932,5
Таня	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	20MS	60MS	30MS	391,3	1085,0	585,0
Ермак	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	70MS	20MR	70MS	1248,5	370,0	1070,0
Лауреат	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	30MR	90S	80S	496,4	1380,0	1430,0
Лебедь	НЦЗ им. П.П. Лукьяненко	20MS	60MS	80S	268,4	940,0	1260,0
Stava (контроль по восприимчивости)	Швеция, N каталога 64176	60MS	90S	95S	888,0	1386,0	1421,0

северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины.

За 3 года исследований реакция ряда сортов на заражение патогеном варьировала. Так, сорт Лауреат в 2018 г. был отнесен к средневосприимчивым, а в 2019 г. и 2020 г. – к восприимчивым. Сорта Губернатор Дона и Станичная в 2018 г. и 2019 г. проявили среднюю устойчивость, в 2020 г. – среднюю восприимчивость. Это может быть связано, как с различными погодными условиями, так и с появлением новых вирулентных изолятов гриба, преодолевающих устойчивость этих сортов.

Сорта Афина и Таня селекции НЦЗ им. П.П. Лукьяненко в полевых исследованиях Федерального государственного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии» (Большие Вяземы, Московская обл.) в 2015 г. проявили устойчивость к стеблевой ржавчине [17, 22, 23]. В наших исследованиях сорт Афина демонстрировал устойчивость, а сорт Таня – среднюю восприимчивость к северокавказской популяции стеблевой ржавчины, что можно объяснить различными агроклиматическими условиями регионов, в которых проводили исследования, а также разницей в структуре популяций патогена по вирулентности.

По нашим данным, *Sr31* показывает высокоэффективный тип реакции на заражение северокавказской популяцией *P. graminis*. По сведениям Барановой О.А., в генотипах таких сортов, как Безостая 100 и Жива, присутствует ген *Sr31*, эффективный против российских по-

пуляций *P. graminis* f. sp. *tritici*, и ген *Sr57*, эффективный против расы Ug99 и ее биотипов [24]. Ген *Sr31* выявлен у сорта Утриш. Кроме того, постулировано присутствие в его генотипе еще и гена возрастной устойчивости *Sr2*, детерминирующего защиту от Ug99 [25].

Таким образом, большинство из 28 изученных сортов озимой пшеницы относятся к устойчивым и среднеустойчивым к северокавказской популяции возбудителя стеблевой ржавчины. Сорт Бригада продемонстрировал абсолютную устойчивость, сорта Антонина, Афина, Безостая 100, Васса, Грация, Жива, Курень, Утриш – устойчивость. Они рекомендованы для использования в зонах активного проявления болезни и для селекции пшеницы на устойчивость к *P. graminis* в качестве источников устойчивости на юге России.

*Благодарность сотрудникам ФГБНУ НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, ФГБНУ АНЦ «Донской» и ФГБНУ ФРАНЦ за предоставленный семенной материал для проведения исследований.*

**Литература**

1. Bhattacharya S. Deadly new wheat disease threatens Europe's crops // *Nature*. 2017. No. 542. P. 145–146. doi: 10.1038/nature.2017.21424.
2. Mert Z., Karakaya A., Dusunceli F. et al. Determination of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* races of wheat in Turkey // *Turk. J. Agric. For.* 2012. No. 36. P. 107–120. doi: 10.3906/tar-1010-1278.

3. Validation of molecular markers for new stem rust resistance genes in U.S. / A.N. Bernardo, R.L. Bowden, M.N. Rouse, et al. // *Hard winter wheat. rop Sci.* 2013. P. 755-764. doi: 10.2135/cropsci2012.07.0446.
4. Волкова Г.В., Кудинова О.А., Мирошниченко О.О. Распространение стеблевой ржавчины на Северном Кавказе и иммунологическая характеристика ряда сортов озимой пшеницы к патогену // *Достижения науки и техники АПК.* 2018. Т. 32. № 10. С. 43–45. doi: 11.24411/0235-2451-2018-11111.
5. Kankwatsa P., Karaoglu H., Singh D. Genetic Variability among Presumed Clonal Pathotypes of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in Australia // *J. Phylogenetics Evol Biol* 2018. No 6. P. 202. URL: <https://www.hilarispublisher.com/open-access/genetic-variability-among-presumed-clonal-pathotypes-of-puccinia-graminis-f-sp-tritici-in-australia-2329-9002-1000202.pdf> (дата обращения: 02.08.2022). doi: 10.4172/2329-9002.1000202.
6. Recent trends and perspectives of molecular markers against fungal diseases in wheat / U. Goutam, S. Kukreja, R. Yadav, et al. // *Frontiers in Microbiol.* 2015. Vol 6. No. 861. P. 1–14.
7. Li T. Y., Ma Y. C., Wu X. X. Race and virulence characterization of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* in China // *PLoS ONE.* 2018. Vol. 13. No. 5. e0197579. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0197579> (дата обращения: 05.08.2022). doi: 10.1371/journal.pone.0197579.
8. Создание исходного материала яровой мягкой пшеницы для селекции на устойчивость к стеблевой ржавчине (*Puccinia graminis* Pers. f. sp. *tritici*), в том числе и к расе Ug99, в России / И.Ф. Лапочкина, О.А. Баранова, В.П. Шаманин и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2016. Т. 20. № 3. С. 320–328. doi: 10.18699/VJ16.167.
9. Right-Sizing Stem Rust Research / P. G. Pardey, J. B. Beddow, D. J. Kriticos, et al. // *Science.* 2013. Vol. 340. P. 147–148. doi: 10.1126/science.340.6138.1288-c.
10. Jin Y, Szabo L.J. Detection of virulences to resistance gene Sr24 within race TTKS of *Puccinia graminis* f. sp. *Tritici* // *Plant Disease.* 2008. No 92. P. 923–926.
11. Phenotypic and genotypic characterization of race TKTF of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* that caused a wheat stem rust epidemic in southern Ethiopia in 2013–14 / P. Olivera, M. Newcomb, L.J. Szabo, et al. // *Phytopathology.* No 105. 2015. P. 917-928. doi: 10.1094/PHYTO-11-14-0302-F1.
12. First report of the Ug99 race group of wheat stem rust, *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*, in Egypt in 2014 / M. Patpour, M.S. Hovmöller, A.A. Shahin, et al. // *Plant Dis.* 2016. Vol. 4 (100). 863 pp. URL: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-08-15-0938-PDN> (дата обращения: 04.08.2022). doi: 10.1094/PDIS-08-15-0938-PDN.
13. First report of a *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* race virulent to the Sr24 and Sr31 wheat stem rust resistance genes in South Africa / Z.A. Pretorius, C.M. Bender, B. Visser, et al. // *Plant Dis.* 2010. No 94. P. 784. URL: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-94-6-0784C> (дата обращения: 10.08.2022). doi: 10.1094/PDIS-94-6-0784C.
14. The Emergence of Ug99 Races of the Stem Rust Fungus is a Threat to World Wheat Production / R. P. Singh, D. P. Hodson, J. Huerta-Espino, et al. // *Annual Review of Phytopathology.* 2011. Vol. 49. P. 465–481. doi: 10.1146/annurev-phyto-072910-095423.
15. Emergence and spread of new races of wheat stem rust fungus: continued threat to food security and prospects of genetic control / R.P. Singh, D.P. Hodson, Y. Jin, et al. // *Phytopathology.* 2015. Vol. 105. P. 872-884. doi: 10.1094/PHYTO01-15-0030-F1.
16. The global cereal rust monitoring system / D.P. Hodson, K. Cressman, K. Nazari, et al. // In: *Proceedings of Oral Papers and Posters. Technical Workshop. BGRI. Cd. Obregón. Sonora Mexico.* 2009. P. 35–46.
17. Киселева М.И., Коломиец Т.М. Устойчивость сортов озимой и яровой пшеницы к возбудителю стеблевой ржавчины на фоне естественной инфекции в нечерноземной зоне России // *Аграрная наука.* 2019. № 1. С. 95-98. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-95-98.
18. Рсалиев А.Ш., Абуғалиева А.И., Кожахметов К. Иммунологическая характеристика интрогрессивных линий яровой пшеницы по устойчивости к видам ржавчины // *Аграрная наука.* 2019. № 1. С. 38-42. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-38-42.
19. Анпилогова Л. К., Волкова Г. В. Методы создания искусственных инфекционных фонов и оценки сортообразцов пшеницы на устойчивость к вредоносным болезням (фузариозу колоса, ржавчинам, мучнистой росе). Рекомендации. Краснодар: РАСХН, ВНИИБЗР, 2000. 28 с.
20. Койшибаев М. Болезни пшеницы. Методическое пособие. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО). СИММИТ. Анкара. 2018. 365 с.
21. Wilcoxon R., Atif A., Skowmand B. Slow rusting of wheat varieties in the field correlated with stem rust severity on detached leaves in the greenhouse // *Plant Disease Reporter, Beltsville.* 1974. Vol. 58. No 12. P. 1085-1087.
22. The differentiation of winter wheat (*triticum aestivum*) cultivars for resistance to the most harmful fungal pathogens / M.I. Kiseleva, T.M. Kolomiets, E.V. Pakholkova, et al. // *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology].* 2016. V. 51. No 3. pp. 299-309. doi: 10.15389/agrobology.2016.3.299rus.
23. Киселева М.И., Коломиец Т.М. Устойчивость сортов озимой и яровой пшеницы к возбудителю стеблевой ржавчины на фоне естественной инфекции в нечерноземной зоне России // *Аграрная наука.* № 1. 2019. С. 95-98. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-95-98.
24. Баранова О.А. Молекулярная идентификация генов устойчивости к стеблевой ржавчине у новых допущенных к использованию сортов пшеницы // *Вестник защиты растений.* 2020. 103(2). С. 113–118. doi: 10.31993/2308-6459-2020-103-2-4936.
25. Генетическая защищенность сортов озимой пшеницы от ржавчинных болезней / Л.А. Беспалова, И.Б. Аблова, Ж.Н. Худокормова и др. // *Рисоводство.* 2019. 4(45). С. 30–37.

Поступила в редакцию 15.09.2022.

После доработки 10.10.2022

Принята к публикации 07.11.2022

**Агрочововедение и агроэкология**

УДК 631.5; 631.6; 911.2

DOI: 10.31857/S2500262722060060, EDN: MJKDND

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПОДЗЕМНОЙ БИОМАССЫ АГРОЦЕНОЗА В ПРЕДЕЛАХ КОНЕЧНО-МОРЕННОГО ХОЛМА****Д. А. Иванов<sup>1</sup>**, член-корреспондент РАН, **В. А. Тюлин<sup>2</sup>**,  
**О. Н. Анциферова<sup>1</sup>**, кандидат сельскохозяйственных наук, **Н. А. Хархардинов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,  
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр.2  
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru<sup>2</sup>Тверская государственная сельскохозяйственная академия,  
170704, Тверь, ул. Маршала Василевского, 7

*Исследования проводили с целью изучения динамики плотности корней злакобобовых травостоев в различных ландшафтных условиях на разных этапах развития агроценоза. Работу выполняли в Тверской области на агроэкологической трансекте – поле, пересекающей основные ландшафтные позиции конечно-моренного холма, в 120 точках, расположенных в 10 м одна от другой. Плотность корней измеряли в 2019–2021 гг. под травами 1...3 года жизни. Влияние факторов ландшафтной среды определяли с использованием различных методов статистического анализа. Величина изучаемого показателя зависит как от внутренних (биогеоценологических), так и от внешних (ландшафтных) причин. Внутренние причины приводят к увеличению плотности корней с 1 по 3 год жизни в 5 раз. По мере старения травостоя происходит затухание интенсивности развития корней. На первом году жизни оно зависит от состояния бобовых, элементов плодородия почв и высоты местности; на втором году – от особенностей межвидовой борьбы в агроценозе, гранулометрического и минералогического состава почв и высоты местоположения; на третьем году – от особенностей порового пространства почв. Микроландшафтные условия определяют 21,5 % изменчивости прироста плотности корней только под травами 1 года пользования. При использовании трав не только в кормовых целях, но и как инструмента рекультивации ландшафта, можно рекомендовать размещение старых травостоев на легких скелетных почвах, тогда как в местах с близким залеганием морены целесообразно эксплуатировать только травы 1 года пользования.*

**SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF THE UNDERGROUND BIOMASS OF AGROCENOSIS WITHIN THE FINITE MORAIN HILL****Ivanov D. A.<sup>1</sup>, Tyulin V. A.<sup>2</sup>, Antsiferova O. N.<sup>1</sup>, Kharkhardinov N. A.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Federal Research Centre Dokuchaev Soil Science Institute,  
119017, Moskva, Pyzhevskii per., 7, str. 2b,  
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru<sup>2</sup>Tver State Agricultural Academy,  
170704, Tver, ul. Marshala Vasilevskogo, 7

*The results of monitoring the dynamics of the density of the roots of cereal-footed grass stands in various landscape conditions at different stages of development of agroecocenosis are shown. Studies were conducted on an agroecological transect (Tver region)- a field that crosses the main landscape positions of the finite moraine hill, at 120 testing points located 10 m from each other. The density of roots was determined in 2019-2021 under grasses of 1 - 3 years of life. The influence of landscape environmental factors on root density was determined using various methods of statistical analysis. It is established that it depends on both internal (biogeocenotic) and external (landscape) causes. Internal causes lead to an increase in the density of roots by 5 times over the period from 1 to 3 years of life. As the grass stand ages, there is an attenuation of the intensity of root development. Time is the main factor in the development of the root system. In the first year of the life of the grass stand, the development of roots depends on the state of the legumes, elements of soil fertility and altitude; in the second year - from the features of interspecific struggle in agroecocenosis, granulometric and mineralogical composition of soils and the height of the location; in the third year - from the peculiarities of the pore space of the soils. Microlandscape conditions determine 21.5% variability in root density growth only under grasses 1st year of use. When using grasses not only for forage purposes, but also as a tool for landscape reclamation, it is possible to recommend the placement of old grass stands on light skeletal soils, whereas in places with a close occurrence of moraine, it is advisable to exploit only grasses of 1st year of use*

**Ключевые слова:** агроландшафт, травостой, плотность корней, мониторинг, статистический анализ.**Key words:** agrolandscape, grass stand, root density, monitoring, statistical analysis.

Корневая система растений, составляющая основу подземной биомассы агроценоза, необходима для закрепления их в почве, снабжения минералами и водой, а также для синтеза метаболитов. Это динамический орган, модулируемый сигналами окружающей среды, прежде всего, доступностью воды и питательных веществ, гранулометрическим составом почвы, степенью ее заболоченности, наличием почвенного воздуха, кислорода в нем и другими факторами. Сигналы окружающей среды определяют направление и кинетику

роста корня, что обуславливает архитектуру корневой системы [1].

Корневая система растений в свою очередь влияет на состояние компонентов агроландшафта, прежде всего почв. Подземная биомасса агроценоза выступает важным фактором пополнения специфического и неспецифического органического вещества почв. Характер архитектуры корневой системы во многом определяет структурное состояние почвенной массы, корневые выделения влияют на протекание процессов выветривания

минералов [2]. Особенности и архитектура корневых систем влияет на развитие эрозионных процессов в геосистеме и, тем самым, на процессы рельефообразования и деградации почв.

Таким образом, пространственно-временная динамика параметров ризосферы, которая во многом зависит от особенностей окружающей среды, существенным образом определяет изменчивость почвенного покрова и рельефа, тем самым влияя на продуктивность и экологическую устойчивость агрогеосистем. Изучение феномена пространственно-временной пестроты параметров корневой системы растений позволяет получить новые знания о функционировании не только агроценозов, но и агроландшафтов в целом, что позволяет развивать теорию и практику адаптивно-ландшафтного земледелия и природообустройства, которые весьма актуальны в современных условиях [3, 4].

Вопросу изучения характера пространственно-временной динамики ризосферы посвящено немало исследований [5, 6, 7]. Так, в работе З. У. Гочияевой с соавторами обнаружена выраженная обратная зависимость между длиной корней и величиной уклона местности. Наиболее ярко такая закономерность проявлялась в варианте с посевом озимой пшеницы. По мере увеличения уклона с 10 до 70 % величина этого показателя снижалась более чем в 2 раза [8]. Значительный интерес к этому вопросу проявляют и за рубежом. Так, М. L. McConnack с соавторами исследовал тонкие взаимосвязи между корневой и надземной биомассой в агроценозе [9]. С. M. Versen использовал характеристики корневой формы для улучшения понимания функции корня [10]. По данным S. Hui, увеличение плотности посадки кукурузы не изменило общую биомассу корней [11]. Коллектив, возглавляемый К. Грейвальдом, выявил значение корневых систем для совокупной устойчивости почвы при развитии ландшафта Швейцарских Альп [12]. При изучении корневой системы левзеи сафлоровидной выявлены новые перспективные штаммы стрептомицетов-антагонистов фитопатогенных грибов, целлюлолитиков и продуцентов ауксинов, которые можно использовать в практических целях [13]. При этом следует отметить явно незначительное количество работ, посвященных комплексной оценке влияния компонентов природной среды на подземную биомассу агроценоза. Наша работа направлена на некоторое восполнение такого пробела.

Цель исследований – изучение влияния компонентов агроландшафта (рельефа и почв), а также возраста агроценоза на характер пространственной и временной изменчивости плотности корней многолетних трав на поле, расположенном в пределах конечно-моренного холма.

**Методика.** Работу выполняли в Тверской области на агроэкологическом полигоне ВНИИМЗ (филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева») площадью 50 га, заложенном в 1996 г. в 4-х км к востоку от г. Тверь, на моренном холме с относительной высотой 15 м, с четко выраженными геоморфологическими элементами: плоской вершиной, северным пологом (2...3°) и южным более крутым (3...5°) склоном и межхолмными депрессиями на севере и юге полигона [14].

Почвообразующие породы на территории стационара – двучленные отложения, состоящие из верхнего, относительно легкого, слоя, подстилаемого моренными карбонатными закаменными суглинками. В южной части стационара мощность верхнего песчано-супесчаного наноса местами превышает 1,5 м, на вершине и северном склоне холма она составляет около 1 м, а в межхолмной депрессии на севере стационара морена

местами выходит на поверхность. Как правило, почвы в ареалах с господством мощных поверхностных слоев характеризуются пахотными горизонтами более легкого гранулометрического состава, чем в местах с близким к поверхности залеганием морены.

Почвенный покров (ПП) полигона представлен вариацией-мозаикой дерново-подзолистых почв разной степени оглеения. Пестрота ПП обусловлена литологической неоднородностью почвообразующих пород по горизонтали и вертикали. В пределах полигона выделены три типа элементарных почвенных структур (ЭПС): подзолисто-гидроморфные вариации-ташеты вершины и верхних частей склонов; подзолисто-эрозионно-гидроморфные вариации-ташеты средних частей склонов; подзолисто-гидроморфные пятнистости-ташеты межхолмных депрессий. Каждая из них характеризуется определенным набором элементарных почвенных различий, что отражается на пространственной вариабельности почвенного покрова. Полигон осушен гончарным дренажем со средним междренним расстоянием 30 м. Для достижения поставленной цели с 2019 по 2021 гг. осуществляли мониторинг состояния растений ярового овса сорта Аргамак, клевера красного сорта ВИК 7, тимофеевки луговой сорта ВИК 9, сорных видов [15, 16, 17]. Плотность корней определяли по общепринятой методике [18], агрохимические и агрофизические свойства почв по действующим методикам [19, 20] на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – узком севооборотном массиве, состоящем из десяти продольных полей, пересекающих все микроландшафтные позиции конечно-моренной гряды: транзитно-аккумулятивные (Т-А) геокомплексы нижних частей склонов и межхолмных депрессий, характеризующиеся накоплением элементов питания из намывных и грунтовых вод; транзитные (Т) ландшафты, расположенные в центральных частях склонов, в которых господствует латеральный (параллельный поверхности) ток влаги; элювиально-транзитные (Э-Т) местоположения верхних частей склонов, где, наряду с латеральным током влаги, происходит ее вертикальное перемещение по почвенному профилю; элювиально-аккумулятивный (Э-А) ландшафт вершины, в пределах которого вертикальное промывание почвенного профиля чередуется с локальной концентрацией влаги в микропонижениях (блюдцах).

Поле шириной 7,2 м и длиной 1300 м, на котором проводили наблюдения, располагается в пределах трансекты. Изучаемый агроценоз был образован при посеве овса и трав 2 мая 2019 г. В 2020 г. на его месте располагался клеверотимофеечный травостой 1-го года пользования, а в 2021 г. – травостой 2-го года пользования. Мониторинг свойств надземного и подземного ярусов растительного покрова проводили в 30-и точках опробования (в 4-кратной повторности), регулярно расположенных по трансекте на расстоянии 40 м одна от другой (расстояние между повторностями – 10 м). Площадь учетной делянки 1 м<sup>2</sup>. Мониторинг свойств почвенного покрова и рельефа осуществляли в 30-и точках, равномерно расположенных по трансекте на расстоянии 40 м одна от другой. Площадь учетной делянки 20 м<sup>2</sup>.

Статистический анализ массивов данных выполняли с использованием пакета Statistica 12. В ходе корреляционного анализа рассчитывали влияние параметров рельефа, растительного и почвенного покровов на плотность корней в разные сроки развития агроценоза трав. Степени воздействия параметров рельефа, растительного и почвенного покровов на плотность корней определяли с использованием мультирегрессионного

анализа. Для выявления характера воздействия ландшафтной и почвенной структур на плотность ризосферы и рост ее плотности за 2019–2021 гг. использовали одно- и двухфакторный дисперсионный анализ. Для определения влияния факторов ландшафтной среды на пространственно-временную динамику величин этих показателей собственно мониторинговые (плотность корней) и преобразованные (прирост плотности) данные обрабатывали методом дисперсионного анализа, в котором фактором А выступал характер микроландшафтного устройства полигона – «агроландшафты» (АМЛ) (Т-Аю, Тю, Э-Тю, Э-А, Э-Тс, Тс, Т-Ас, Тю2, Э-Тю2 – строчными буквами обозначена экспозиция склона). При определении влияния гидроморфизма почв на эти же показатели, фактором А служил характер заболоченности почв – «гидроморфизм» (глеевые, глееватые и слабооглеенные почвы), структуры почвенного покрова – «элементарные почвенные структуры» (ЭПС) с номерами от I до X. Фактором В во всех расчетах выступали «годы исследований» (2019, 2020, 2021). Степень влияния ландшафтных и почвенных факторов на плотность корней вычисляли на основе метода Н. А. Плохинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую [21]. Кроме того, для трав 1-го и 2-го г.п. рассчитывали динамические коэффициенты прироста плотности корней ( $\Delta$ ) как частное от деления величин плотности за 2020 г. на значения за 2019 г. для трав 1-го г.п., а также величин плотности за 2021 г. на значения за 2020 г. для трав 2-го г.п.

**Результаты и обсуждение.** По мере развития агроценоза средняя по агроландшафту плотность корней

**Табл. 1. Результаты корреляционного анализа влияния факторов природной среды агроландшафта на плотность корней\***

Фактор	Коэффициент корреляции
<b>2019 г.</b>	
Клевер, густота травостоя, шт./м <sup>2</sup>	0,47
Содержание легкогидролизующего азота в почве, мг/кг	0,55
Содержание водопрочных агрегатов в почве 0,5...0,25 мм	-0,45
Содержание валового кальция в почве, %	0,47
Высота местности, м	-0,52
<b>2020 г.</b>	
Тимофеевка, средняя масса растения, г/м <sup>2</sup>	0,36
Тимофеевка, средняя масса листьев, г/м <sup>2</sup>	0,42
Клевер, средняя высота, см	0,39
Клевер, средняя масса растений, г/м <sup>2</sup>	0,58
Клевер, средняя масса листьев, г/м <sup>2</sup>	0,63
Хвощ, количество шт./м <sup>2</sup>	0,39
Хвощ, средняя высота, см	0,39
Подорожник, количество шт./м <sup>2</sup>	0,39
Подорожник, средняя высота, см	0,39
Содержание валового свинца в почве, %	0,44
Содержание валового титана в почве, %	0,39
Содержание валовой меди в почве, %	0,37
Высота местности, м	0,39
<b>2021 г.</b>	
Содержание отдельных частиц в почве 7...5 мм	0,47
Содержание отдельных частиц в почве 5...3 мм	0,39
Содержание водопрочных агрегатов в почве 5...3 мм	0,47
Содержание водопрочных агрегатов в почве 3...2 мм	0,39

\* достоверны коэффициенты >0,32.

увеличилась более чем в 5 раз. Если в 2019 г. она составляла 191,4, в 2020 г. – 687,8, то в 2021 г. – 1014,7 г/м<sup>2</sup>. Существенной перестройке подверглась и структура факторов, достоверно влияющих на величину этого показателя (табл. 1).

По мере роста и развития травостоя происходила коренная трансформация характера взаимодействия ризосферы с ландшафтной средой. Так, в 2019 г., в период развития клеверотимофеечного травостоя преимущественно под покровом овса, на плотность корней заметно влияла густота стояния клевера. Максимальное воздействие на подземную биомассу агроценоза в этот период оказывало содержание специфического органического вещества в почве и особенности ее порового пространства – наибольшая плотность корней отмечена в местах с повышенным содержанием легкогидролизующего азота. Прямая корреляция с валовым содержанием кальция свидетельствует о том, что в местах с близким залеганием морены на оструктуренных почвах корневые системы растений развиваются лучше. На ранних этапах развития агроценоза наиболее благоприятные условия для корневых систем складываются в понижениях местности.

Корреляционный анализ выявляет парные взаимодействия между изучаемыми факторами. На основе мультирегрессионного анализа возможно определить системные взаимосвязи в исследуемом факториальном пространстве. Так, уравнения регрессии для условий 2019 г., в котором предикторами выступают факторы, приведенные в табл. 1, объясняет около 62 % пространственной вариативности плотности корней. Наибольшее влияние (22,4 % вариативности) на ее изменчивость оказывает густота стояния клевера, количество водопрочных агрегатов в почве определяет 16,4 % дисперсии плотности корней, содержание в почве легкогидролизующего азота – 12,7 %, а валового кальция – 10,2 %. При учете характера взаимодействия факторов достоверное влияние высоты местности на плотность корней не обнаружено.

За 2020 г., под покровом трав 1-го г.п., плотность корней увеличилась в 3,6 раза. На развитие корневых систем в этот период наибольшее влияние оказывал характер межвидовой борьбы в агроценозе. Отмечена максимальная зависимость изучаемого параметра ризосферы от состояния клевера, прежде всего от его облиственности, несколько меньше от массы растений и в наименьшей степени от их высоты. Это объясняется господством клевера в наземном ярусе. Особенности состояния тимофеевки, хвоща и подорожника в агроценозе также оказывали заметное влияние на подземную биомассу, однако значительно слабее, чем клевер. На северном склоне, наиболее благоприятном для его произрастания, отмечено повышенное содержание валовых форм металлов вследствие более тяжелого гранулометрического состава почв, что и отражается на результатах корреляционного анализа. Под взрослым травостоем максимальное в опыте развитие корневой системы отмечено на верхних гипсометрических отметках агроландшафта, где наилучшая освещенность и реже случаются гидротермические стрессы. По результатам регрессионного анализа наибольшее достоверное влияние на вариативность плотности корней (24 %) при таком возрасте травостоя оказывает пространственная изменчивость массы клевера, на 13,1 % она зависит от массы тимофеевки, на 10,1 % от густоты стояния хвоща и на 7,8 % от высоты клевера. В целом модель объясняет около 70 % пространственной изменчивости плотности корней.

**Табл. 2. Результаты дисперсионного анализа влияния особенностей ландшафтной среды и почвенного покрова на пространственно-временную динамику плотности корней, %**

Фактор	Плотность корней	Прирост плотности
АМЛ	1,6	0,6
НСР <sub>0,05</sub>	–	–
Год	38,9	6,7
НСР <sub>0,05</sub>	200 г/м <sup>2</sup>	4 г/м <sup>2</sup>
АМЛ×Год	3,7	12,1
НСР <sub>0,05</sub>	160 г/м <sup>2</sup>	3 г/м <sup>2</sup>
Ошибка	40,7	76,3
Гидроморфизм	0,5	0,1
НСР <sub>0,05</sub>	–	–
Год	14,5	2,5
НСР <sub>0,05</sub>	200 г/м <sup>2</sup>	4 г/м <sup>2</sup>
Год×Гидроморфизм	0,1	0,2
НСР <sub>0,05</sub>	–	–
Ошибка	45,4	88,7
ЭПС	1,0	0,1
НСР <sub>0,05</sub>	–	–
Год	30,9	4,0
НСР <sub>0,05</sub>	200 г/м <sup>2</sup>	4 г/м <sup>2</sup>
ЭПС×Год	2,0	7,3
НСР <sub>0,05</sub>	–	–
Ошибка	43,1	81,6

В период старения травостоя, под травами 2-го г.п., происходит снижение интенсивности роста корневой системы агроценоза – за 2021 г. ее средняя плотность увеличилась только в 1,5 раза. В этот период развития трав межвидовые взаимодействия достоверного влияния не оказывали. Плотность корней в основном зависела от особенностей гранулометрического состава почв, влияющего на характер их порового пространства. Увеличение содержания грубых (скелетных) фракций в почве способствовало развитию гравитационной порозности, которая во многом определяла архитектуру корневых систем. В свою очередь характер подземного яруса агроценоза влиял на агрономически ценную структуру

почв – отмечена прямая взаимосвязь между плотностью корней и количеством водопрочных агрегатов от 5 до 2 мм. Регрессионный анализ выявил достоверное воздействие на изменчивость величины изучаемого показателя только наиболее грубой скелетной фракции (22,5 %).

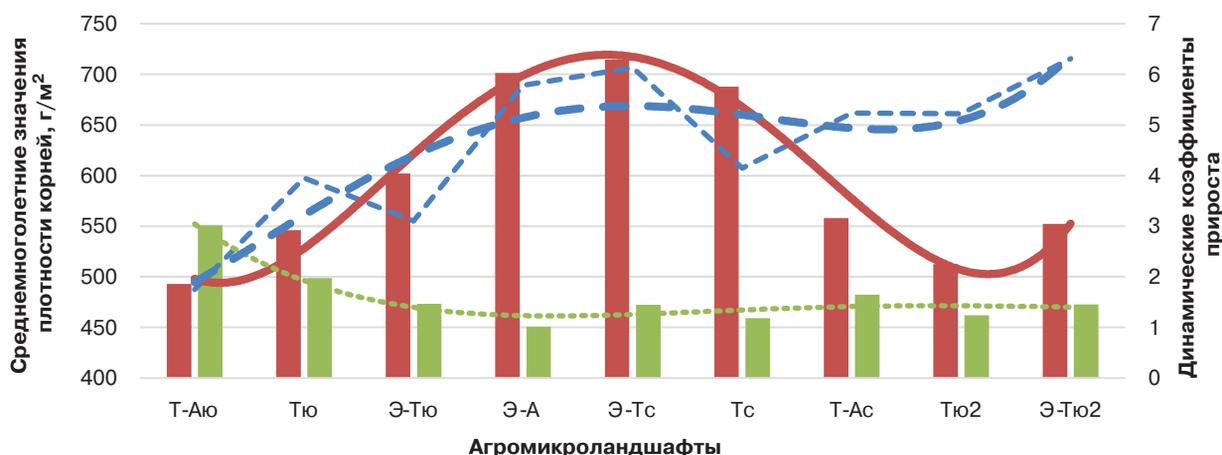
Влияние на корневые системы факторов агроландшафта, параметры которых трудно описать числом (они не формализуемы), выявляется на основе дисперсионного анализа. Обработка данных этим методом показала отсутствие непосредственного прямого достоверного влияния структурных элементов ландшафта и почвенного покрова на вариабельность показателей корневых систем, что объясняется сложностью их природы и многофакторностью воздействия на подземную биомассу агроценоза (табл. 2).

Годы исследований достоверно влияют на динамику параметров ризосферы. Разнообразие агромикрорландшафтных обстановок и элементарных структур почвенного покрова в геосистеме отражается на корневых системах трав только в виде парных взаимодействий со временем их жизни. Можно отметить, что время жизни травостоя максимальным образом сказывается на динамике непосредственно плотности корней, тогда как структурные особенности ландшафта и почвенного покрова в значительной степени влияют на динамику ее прироста.

Гидроморфизм почв не оказывает достоверного воздействия на корневые системы ни напрямую, ни в виде парных воздействий, что можно объяснить сильной мозаичностью почвенного покрова, на фоне которой видовые различия почв не представляются определяющими для развития корневых систем.

В различных частях конечно-моренного холма усредненные за годы исследований значения плотности корней изменяются от 480 до 710 г/м<sup>2</sup>, однако отмечена устойчивая тенденция повышения величины этого показателя с юга на север (см. рисунок). Можно сказать, что при утяжелении гранулометрического состава почв происходит определенное уплотнение корневых систем трав.

Расчет динамических коэффициентов прироста плотности корней ( $\Delta$ ) позволил выявить пространственные закономерности временной изменчивости интенсивности развития подземной биомассы трав в пределах агроландшафта. Следует отметить, что по-



**Пространственно-временная динамика плотности корней клеверотимофеечного травостоя в пределах агроландшафта конечно-моренного холма: ■ –  $\Delta$  2020/2019 гг.; ■ –  $\Delta$  2021/2020 гг.; — — — — средняя плотность корней; — — — — полиномиальная ( $\Delta$  2020/2019 гг.); — — — — полиномиальная ( $\Delta$  2021/2020 гг.); — — — — полиномиальная (средняя плотность корней).**

стоянное ускорение развития корней происходит только в межхолмной депрессии на юге стационара – в местах господства мощных двучленных отложений и аккумуляции органического вещества и питательных веществ. Во всех остальных местоположениях моренного холма отмечено резкое замедление прироста плотности корней под травами 2-го г.п.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа пространственной вариабельности  $\Delta$  свидетельствуют, что микроландшафтные условия достоверно ( $HSP_{0,05} = 3,1$ ) определяют 21,5 % ее изменчивости только под травами 1-го г.п.

Под травами 1-го г.п. значения  $\Delta$  коррелируют с массой тимфеевки ( $r=0,36$ ), массой ее листьев ( $r=0,49$ ) и со степенью облиственности клевера ( $r=0,42$ ), что отражает напряженность межвидовой борьбы в этом агроценозе. Под травами 2-го г.п. степень временной изменчивости интенсивности развития корней прямо пропорционально зависит от густоты стояния тимфеевки ( $r=0,54$ ) и обратно пропорционально от состояния клевера – его высоты ( $r=-0,47$ ), массы ( $r=-0,47$ ), массы листьев ( $r=-0,45$ ), что свидетельствует о значительном усилении роли в сообществе злакового компонента. Заметно влияние на нее почвенных параметров: частиц диаметром 1...2 мм ( $r=-0,38$ ), водопрочных агрегатов 0,5...1 мм ( $r=-0,38$ ), валового содержания свинца ( $r=-0,48$ ), титана ( $r=-0,40$ ) и меди ( $r=-0,47$ ) – значения  $\Delta$  снижаются с юга на север полигона. Существенное влияние оказывает и высота местоположения ( $r=-0,40$ ).

Таким образом, рост и развитие корневых систем клеверотимфеевых травостоев в пределах агроландшафта конечно-моренного холма – сложные, полигенетические процессы, которые выражаются в своеобразной пространственно-временной динамике их плотности, зависящей, как от внутренних (биогеоценотических), так и внешних (ландшафтных) причин. Внутренние причины, обусловленные развитием агроценоза, приводят к увеличению плотности корней за период с 1 по 3 год жизни в 5 раз. По мере старения травостоя происходит затухание интенсивности развития корней – если за первый год жизни образовалось 19 % плотности корневых систем, за второй – 48 %, то за третий только 33 %.

Время выступает главным фактором развития корневой системы агроценоза трав. На первом году жизни травостоя развитие корней зависит от состояния бобовых, элементов плодородия почв и высоты местности; на втором году – от особенностей межвидовой борьбы в агроценозе, гранулометрического и минералогического состава почв и высоты местоположения; на третьем году – в основном от специфики порового пространства почв.

Особенности микроландшафтного устройства территории и ее почвенного покрова оказывают влияние на развитие корневых систем только во временном разрезе – они воздействуют в основном на характер тенденций увеличения их плотности. Микроландшафтные условия определяют 21,5 % изменчивости прироста плотности корней только под травами 1-го г.п. Под травами 2-го г.п. по мере утяжеления гранулометрического состава почв отмечена лишь тенденция уменьшения интенсивности прироста плотности корней. Можно сказать, что на легких породах при старении травостоя происходит усиление интенсивности прироста корней, тогда как на тяжелых породах, со временем, развитие корней замедляется.

С точки зрения ландшафтного земледелия новые знания, полученные при мониторинге состояния корневых систем травостоев, позволяют определить стра-

тегию адресного размещения трав в агроландшафте. При использовании трав в пределах конечно-моренных ландшафтов Нечерноземья не только в кормовых целях, но и как инструмента рекультивации ландшафта, можно рекомендовать размещение старых травостоев на легких скелетных почвах, тогда как в местах с близким залеганием морены целесообразно эксплуатировать только травы 1-го г.п.

### Литература

1. *Lateral root development in Arabidopsis: fifty shades of auxin* / J. Lavenus, T. Goh, I. Roberts, et al. // *Trends Plant Sci.* 2013. No. 18. P. 455–463. doi: 10.1016/j.tplants.2013.04.006
2. *Root exudation of primary metabolites: mechanisms and their roles in plant responses to environmental stimuli* / A. Canarini, C. Kaizer, A. Merchant, et al. // *Front. Plant Sci.* 2019. Vol. 10. P. 1–19. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00157/full> (дата обращения: 15.07.2022). doi: 10.3389/fpls.2019.00157.
3. Иванов Д. А. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия – новый этап экологизации сельскохозяйственного производства // *Международный научно-исследовательский журнал.* 2017. № 9 (63-2). С. 96–100. doi: 10.23670/IRJ.2017.63.084.
4. Kiryushin V. I. *The Management of Soil Fertility and Productivity of Agroecosystems in Adaptive-Landscape Farming Systems* // *Eurasian Soil Science.* 2019. Vol. 52 (9). P. 1137–1145. doi: 10.1134/S1064229319070068.
5. Сапиев А. Х. Особенности развития корневой системы многолетних злаков на нарушенных землях енисейского севера // *Достижения науки и техники АПК.* 2013. № 11. С. 31–34.
6. Сейдафаров Р. А. Изучение корневых систем древесных растений методом среза (на примере корневых систем липы мелколистной) // *Вестник КрасГАУ.* 2013. № 5 (80). С. 92–97.
7. Зинченко С. И., Рябов Д. А. Особенности формирования корневой системы зерновых культур в агроэко-системах серой лесной почвы // *Фундаментальные исследования.* 2014. № 8-3. С. 651–656.
8. Гочияева З. У., Гедиев К. Т., Токова Ф. М. Влияние уклона местности на развитие корневой системы и эрозию почвы в зависимости от типа землепользования // *Успехи современного естествознания.* 2018. № 5. С. 33–39.
9. *Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes* / M. L. McCormack, I. A. Dickie, D. M. Eissenstat, et al. // *New Phytologist.* 2015. No. 207. P. 505–518. doi: 10.1111/nph.13363.
10. Versen C. M. *Using root form to improve our understanding of root function* // *New Phytologist.* 2014. Vol. 203. P. 707–709. doi: 10.1111/nph.12902.
11. *Root growth and root system architecture of field-grown maize in response to high planting density* / S. Hui, X. Tingting, W. Dali, et al. // *Plant and Soil.* 2018. Vol. 430. P. 395–411. doi: 10.1007/s11104-018-3720-8.
12. *Root density drives aggregate stability of soils of different moraine ages in the Swiss Alps* / G. Konrad, G. Tobias, T. Ludwig, et al. // *Plant and Soil.* 2021. Vol. 468. P. 439–457. doi: 10.1007/s11104-021-05111-8.
13. *Актинобиота корней Rhaponticum carthamoides (Willd.) Pjin как потенциальный источник микробиологических препаратов для растениеводства* / И.Г. Широких, Я.И. Назарова, А.В. Бакулина и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2022. № 23(4).

- С. 515-526. doi: 10.30766/2072-9081.2022.23.4.515-526.
14. Создание ландшафтного полигона нового поколения / Д. А. Иванов, Е. М. Корнеева, Р. А. Салихов и др. // Земледелие. 1999. № 6. С. 15–16.
15. Лунева Н. Н., Мысник Е. Н. Современная ботаническая номенклатура видов сорных растений Российской Федерации. Справочник. СПб.: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2018. Том. 26. 80 с. doi: 10.5281/zenodo.1241599.
16. Перфильев Н. В., Вьюшина О. А., Тимофеев В. Н. Соотношение видов сорных растений под влиянием севооборота и систем основной обработки почвы в условиях Северного Зауралья // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 35–40. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10509.
17. Влияние обработки почвы и применения удобрений на динамику численности сорных растений в посевах многолетних трав / А. И. Беленков, Н. В. Ваганова, М. Ю. Иванова и др. // Кормопроизводство. 2022. № 1. С. 7–11. doi: 10.25685/KRM.2022.64.74.001.
18. Рожков В. А., Кузнецова И. В., Рахматуллоев Х. Р. Методы изучения корневых систем растений в поле и лаборатории: учеб.-методич. пособие. 2-е изд. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008. 51 с.
19. Радов А. С., Пустовой И. В., Корольков А. В. Практикум по агрохимии. М.: Колос, 1978. 351 с.
20. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв: учебное пособие, 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
21. Плохинский Н.А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с.

**Поступила в редакцию 02.06.2022**

**После доработки 15.09.2022**

**Принята к публикации 20.10.2022**

## ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ И СОСТАВА ППК ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВНЕСЕНИИ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

Л.Н. Шихова, доктор сельскохозяйственных наук, О.А. Чеглакова

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,  
610007, Киров, ул. Ленина, 166а  
E-mail: shikhova-l@mail.ru

*Исследования проводили с целью изучения влияния длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений на величину кислотности и состав почвенно-поглощающего комплекса в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы. Работу выполняли в 2016–2018 гг. в длительном стационарном полевом опыте, заложенном в 1972 г. в Кировской области. Схема эксперимента предполагала изучение следующих вариантов: без удобрений – контроль (0); NPK по 30, 60, 90, 120 и 150 кг/га действующего вещества каждого элемента. Почвенные образцы отбирали ежегодно в каждом варианте 5...6 раз в течение вегетационного сезона. В пробах почвы определяли обменную и гидролитическую кислотность, степень насыщенности основаниями. Длительное (45 лет) применение минеральных удобрений привело к достоверному увеличению всех видов кислотности почвы (16...59 % к контролю), обменной кислотности – на 0,2...0,5 ед.  $pH_{KCL}$  (2...10 % к контролю) в зависимости от вносимой дозы удобрений и года наблюдения. Внесение дополнительно каждые 30 кг действующего вещества удобрений приводило к достоверному повышению обменной (снижению величины  $pH_{KCL}$  на 0,06...0,08 ед.) и гидролитической (на 0,26...0,34 мг-экв./100 г) кислотности почвы. Величины всех изучаемых показателей варьировали в течение вегетационного сезона. Повышение кислотности почвы при возрастании доз вносимых удобрений привело к закономерному снижению степени насыщенности основаниями. Чем больше была доза удобрения, тем значительнее оказалось снижение. В вариантах с максимальными в опыте дозами  $N_{150}P_{150}K_{150}$  степень насыщенности основаниями уменьшилась, по сравнению с контролем, на 10 %.*

## CHANGE IN ACIDITY AND COMPOSITION OF SOIL-ABSORBING COMPLEX AT LONG-TERM APPLICATION OF INCREASING DOSES OF MINERAL FERTILIZERS INTO SOD-PODZOLIC SOIL

Shikhova L.N., Cheglakova O.A.

N.V. Rudnitsky Federal Agricultural Research Center of the North-East,  
Kirov, 166a Lenin Street  
E-mail: shikhova-l@mail.ru

*The purpose of the given article is to study the influence of long-term use of increasing doses of mineral fertilizers on the acidity and composition of the soil-absorbing complex in the arable horizon of sod-podzolic soil. The work was carried out in 2016-2018 on the field of long-term stationary experiment of a geographical network of experiments with fertilizers and other agrochemical means in the international project «EuroSOMNET», laid down in 1972 on the experimental field of the FARC of the North-East (Kirov). The scheme of stationary field experiment involved the study of the following options: without fertilizers (0 – control); NPK 30, 60, 90, 120 and 150 kg/ha of active matter. To study acidity, soil samples were taken from each option 5...6 times during the growing season annually. In soil samples, the exchange and hydrolytic acidity, the degree of saturation with the bases were determined. Long-term (45 years) use of mineral fertilizers led to a significant increase in all types of soil acidity in the arable layer. From the beginning of the experiment up to today, the value of hydrolytic acidity increased by 0.298...1.492 mg-equ/100 g of soil (16...59% to control), and the value of exchange acidity increased by 0.2...0.5 units.  $pH_{KCL}$  (2...10% to control), depending on the used dose of fertilizers and the year of observation. The addition of each 30 kg of fertilizer active matter resulted in a significant increase in the exchange acidity (decrease in  $pH_{KCL}$  value by 0.063...0.081 units) and hydrolytic acidity (by 0.261...0.338 mg-equ/100 g of soil). All studied indicators varied during the growing season. An increase in soil acidity with an increase in the dose of added fertilizers led to a natural decrease in the degree of saturation with the bases. The higher the dose of fertilizer, the greater the reduction. In the maximum dose options ( $N_{150}P_{150}K_{150}$ ) saturation of the bases decreased by 10% compared to the control option.*

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, динамика кислотности, степень насыщенности основаниями, минеральные удобрения.

**Key words:** sod-podzolic soil, acidity dynamics, saturation degree with bases, mineral fertilizers

Применение минеральных удобрений – основное условие повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Реализация продуктивного потенциала современных сортов сельскохозяйственных культур невозможна без обеспечения их достаточным количеством элементов питания. В последние годы на долю минеральных удобрений приходится почти 40 % прироста производства продовольствия. Их потребление мировым сельским хозяйством в 2016 г. достигло 197,5 млн т [1].

Без применения достаточного количества минеральных удобрений выращивание сельскохозяйственных культур в Нечерноземье невозможно. Бедные элементами питания дерново-подзолистые почвы не способны обеспечивать растения необходимым количеством

минеральных компонентов для создания высокого урожая [2].

Минеральные удобрения применяют давно и повсеместно. Их внесение не может не отразиться на свойствах почвы. Работы по изучению их влияния многочисленны. Однако большинство из них проведено в краткие сроки и не даёт чёткого ответа на вопрос о влиянии удобрений на свойства почвы в долгосрочной перспективе.

Будучи хорошо растворимыми химическими соединениями, удобрения быстро вступают во взаимодействие с почвой и почвенным раствором. Важнейшей характеристикой почвы служит почвенно-поглощающий комплекс (ППК). Его состав определяет кислотность почвы, доступность элементов питания, физико-химические характеристики почвы. ППК – это динамичная система,

**Табл. 1. Изменение обменной кислотности почвы в течение вегетационного периода в зависимости от дозы внесения минеральных удобрений, ед. рН**

Доза удобрения (фактор В)	Дата отбора проб (фактор А)						Среднее по дозе (В)	
	2016 г.							
	30 апреля	1 июня	24 июня	20 июля	18 августа			
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	4,88±0,03	4,92±0,07	4,74±0,04	5,00±0,05	4,90±0,10		4,89d	
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,59±0,08	4,68±0,07	4,60±0,03	4,83±0,06	4,72±0,07		4,68c	
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,69±0,07	4,76±0,03	4,55±0,07	4,88±0,03	4,68±0,02		4,71c	
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,63±0,04	4,69±0,03	4,52±0,04	4,85±0,04	4,57±0,05		4,65bc	
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	4,51±0,07	4,77±0,03	4,45±0,10	4,74±0,09	4,59±0,07		4,61b	
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	4,38±0,07	4,51±0,08	4,34±0,04	4,72±0,05	4,54±0,08		4,50a	
Среднее по дате (А)	4,61b*	4,72c	4,53a	4,83d	4,66bc		HCP <sub>A</sub> 0,064 HCP <sub>B</sub> 0,066	
	2017 г.							
	30 мая	14 июня	4 июля	19 июля	8 августа	31 августа		
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	4,92±0,04	4,84±0,07	5,00±0,06	4,83±0,06	4,80±0,03	4,81±0,04	4,87c	
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,69±0,06	4,42±0,04	4,64±0,05	4,59±0,06	4,45±0,04	4,51±0,10	4,55b	
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,61±0,03	4,53±0,04	4,65±0,05	4,63±0,06	4,51±0,04	4,42±0,04	4,56b	
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,57±0,04	4,47±0,03	4,52±0,04	4,53±0,07	4,36±0,05	4,55±0,04	4,50b	
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	4,47±0,06	4,45±0,08	4,44±0,05	4,63±0,08	4,69±0,12	4,63±0,07	4,55b	
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	4,58±0,10	4,49±0,06	4,44±0,06	4,46±0,06	4,24±0,05	4,41±0,07	4,44a	
Среднее по дате (А)	4,64d	4,53a	4,62cd	4,61bcd	4,51a	4,55abc	HCP <sub>A</sub> 0,060	
	2018 г.							
	17 мая	5 июня	18 июня	2 июля	16 июля	30 июля		
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	4,94±0,10	4,86±0,05	4,98±0,20	4,62±0,07	4,77±0,10	4,61±0,08	4,80e	
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,54±0,04	4,52±0,03	4,52±0,07	4,47±0,07	4,53±0,05	4,50±0,10	4,51bc	
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,51±0,15	4,81±0,21	4,83±0,24	4,52±0,21	4,94±0,40	4,53±0,22	4,69de	
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,54±0,18	4,52±0,16	4,48±0,09	4,60±0,18	4,71±0,16	4,68±0,15	4,59cd	
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	4,27±0,07	4,21±0,06	4,41±0,11	4,46±0,10	4,63±0,12	4,49±0,08	4,41ab	
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	4,28±0,15	4,34±0,14	4,34±0,13	4,18±0,13	4,32±0,08	4,38±0,08	4,31a	
Среднее по дате (А)	4,51ab	4,54ab	4,59bc	4,48a	4,65c	4,53ab	HCP <sub>A</sub> 0,08 HCP <sub>B</sub> 0,11	

\*здесь и в табл. 3 достоверно различающиеся значения отмечены разными буквами.

которая активно реагирует на все манипуляции с почвой, в том числе внесение удобрений.

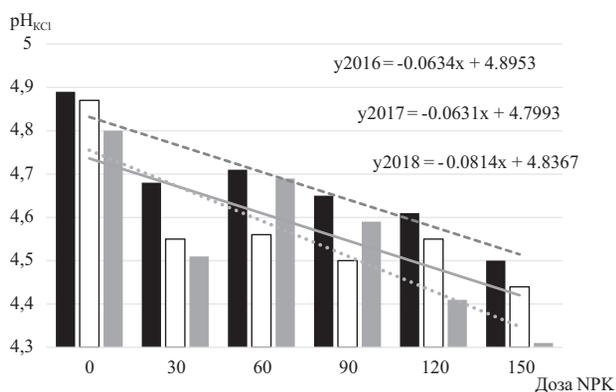
Данные ряда исследователей свидетельствуют о негативном влиянии минеральных удобрений на кислотность почвы и состав ППК. При их внесении увеличиваются показатели обменной и гидролитической кислотности, снижается насыщенность ППК основаниями [3, 4]. В работах других авторов приводятся сведения об отсутствии негативного влияния минеральных удобрений на кислотность почвы, полученные в основном при изучении участков на пастбищах, в севооборотах и почв, изначально сформированных на богатых основаниями породах [5, 6]. Однако результаты исследований на дерново-подзолистых почвах свидетельствуют об однозначно отрицательном влиянии длительного применения только минеральных удобрений на свойства почвы [7, 8].

Помимо непосредственного химического воздействия на компоненты почвы, повышение доз удобрений ведёт к росту урожайности и, соответственно, выносу с урожаем оснований, что также приводит к увеличению кислотности [9].

Остаётся открытым вопрос изменчивости показателей кислотности в течение сезонов. Почва очень динамичная система, активно реагирующая на изменения внешних факторов. Поэтому важнейшие её химические и физико-химические показатели сильно варьируют в течение вегетационного сезона. Изучение сезонной динамики почвенных свойств необходимо для контроля протекающих в ней процессов и состояния агрогеоценоза в целом.

Цель исследования – изучение влияния длительного применения возрастающих доз минеральных удобрений на величину кислотности и состав почвенно-поглощающего комплекса в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы.

**Методика.** Работу выполняли в 2016–2018 гг. в рамках международного проекта «EuroSOMNET» в длительном стационарном полевом эксперименте географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами, заложенном в 1972 г. на опытном поле ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Эксперимент проводится в шестипольном



**Рис. 1.** Изменение величины  $pH_{KCl}$  почвы при возрастании дозы удобрений (средние значения за сезон): ■ – 2016 г.; □ – 2017 г.; ▒ – 2018 г.; - - - - - линейная (2016 г.); — — — — — линейная (2017 г.); ······ — линейная (2018 г.).

зернотравяном севообороте с традиционным для Кировской области чередованием культур: чистый пар – озимая рожь – ячмень с подсевом клевера – клевер одногодичного использования – яровая пшеница – овёс. В период проведения исследований наблюдения проводили в поле севооборота, занятом яровой пшеницей (2016 г.), овсом (2017 г.), чистым паром (2018 г.). Для исследования выбраны варианты

Статистическую обработку результатов проводили методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием пакета программ Microsoft Excel 2003 и Agros 2.07. Достоверность сезонной динамики кислотности и различий по вариантам с удобрениями оценивали с использованием критерия Дункана.

**Результаты и обсуждение.** В почве контрольного варианта, где удобрения не вносили с закладки опыта, величина обменной кислотности оставалась практически неизменной. В годы наблюдения она варьировала в пределах 4,88...4,94 ед.  $pH_{KCl}$ , что незначительно отличается от величины этого показателя перед закладкой опыта – 4,8 единиц pH (табл. 1).

Многолетнее применение минеральных удобрений привело к достоверному увеличению обменной кислотности (снижению  $pH_{KCl}$ ) пахотного слоя, особенно существенному при внесении высоких доз удобрений. Эти различия в уровне кислотности пахотного слоя отмечались в течение всего вегетационного периода.

Чем выше была доза вносимых удобрений, тем больше величина кислотности. Результаты регрессионного анализа свидетельствуют, что длительное применение дополнительно каждых 30 кг действующего вещества удобрений приводит к достоверному снижению  $pH_{KCl}$  (повышению кислотности) на 0,06...0,08 ед. (рис. 1). Длительное применение самой высокой дозы удобрений привело к достоверному снижению величины  $pH_{KCl}$  на 0,3...0,4 ед.

**Табл. 2.** Средние значения  $pH_{KCl}$  за 3 года (2016–2018 гг.) по месяцам вегетационного периода

Месяц	$N_0 P_0 K_0$	$N_{30} P_{30} K_{30}$	$N_{60} P_{60} K_{60}$	$N_{90} P_{90} K_{90}$	$N_{120} P_{120} K_{120}$	$N_{150} P_{150} K_{150}$
Май	4,93±0,04	4,63±0,03	4,64±0,05	4,60±0,05	4,50±0,06	4,45±0,06
Июнь	4,85±0,07	4,52±0,03	4,64±0,08	4,49±0,03	4,44±0,05	4,49±0,05
Июль	4,88±0,04	4,65±0,04	4,81±0,11	4,71±0,06	4,67±0,05	4,50±0,05
Август	4,77±0,05	4,53±0,05	4,58±0,06	4,54±0,06	4,58±0,05	4,39±0,05

с применением следующих доз NPK: 0 (контроль), 30, 60, 90, 120 и 150 кг/га действующего вещества (д.в.) каждого элемента. В опыте ежегодно вносили аммиачную селитру ( $NH_4NO_3$ ), суперфосфат двойной гранулированный ( $Ca(H_2PO_4)_2 \times H_2O$ ) и хлористый калий (KCl).

Период исследования характеризовался контрастными метеорологическими условиями: 2016 г. – сухая и жаркая погода, 2017 г. – очень влажная и прохладная, 2018 г. – средняя по влажности и осадкам.

Объект исследования – дерново-подзолистая пахотная среднесуглинистая почва, сформированная на элюво-делювии пермских глин и суглинков. До закладки опыта и развёртывания севооборота пахотный слой (0...20 см) почвы характеризовался следующими показателями: обменная кислотность ( $pH_{KCl}$ ) – 4,8; гидролитическая кислотность (Hг) – 3,6 мг-экв./100 г; сумма обменных оснований (S) – 12,58 мг-экв./100 г; степень насыщенности основаниями (V) – 77,75 % [10].

Отбор почвенных проб проводили из пахотного слоя в шестикратной повторности 5...6 раз в течение вегетационного периода.

Для аналитической обработки почвенные пробы готовили общепринятыми методами. Обменную кислотность ( $pH_{KCl}$ ) определяли потенциометрически (ГОСТ 26483-85), гидролитическую кислотность ( $H_g$ ) – по Каппену, сумму поглощённых оснований – по Каппену-Гильковицу, степень насыщенности основаниями – расчётным методом [11].

В разные годы исследований варьирование величины обменной кислотности не совпадает по периодам вегетационного сезона. Усреднение результатов за три года по месяцам вегетации свидетельствует об отсутствии достоверной динамики обменной кислотности в почве контрольного варианта (табл. 2). При внесении удобрений отмечено незначительное повышение обменной кислотности почвы в первой половине сезона, с последующим её снижением в середине вегетации.

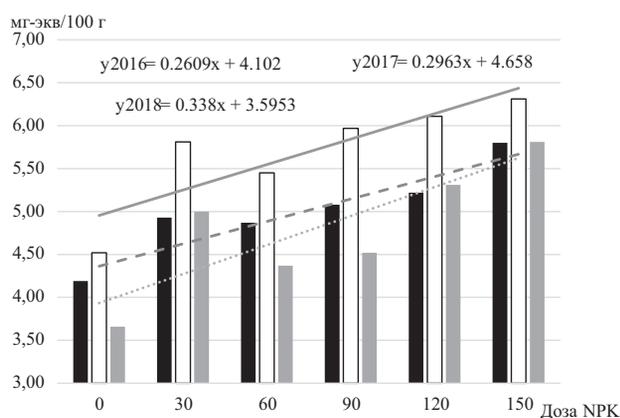
Длительное применение минеральных удобрений достоверно повышает уровень гидролитической кислотности, особенно при внесении высоких доз удобрений (табл. 3). Систематическое внесение дополнительно каждых 30 кг действующего вещества приводит к достоверному повышению гидролитической кислотности на 0,26...0,34 мг-экв./100 г почвы (рис. 2). При ежегодном внесении максимальной в опыте дозы удобрений на исследуемой дерново-подзолистой почве с начала опыта гидролитическая кислотность возросла на 1,30...1,69 мг-экв./100 г почвы.

Степень насыщенности основаниями – важнейший характерный показатель плодородия и свойств почвы. Изначально, до закладки длительного опыта ППК почвы характеризовался низкой насыщенностью основаниями – 77,8 %. В почве контрольного варианта она практически не изменилась и составляет 78...80 % (табл. 4). Постоянный вынос оснований с урожаем сельскохозяйственных культур без применения удобрений и извести должен был привести к закономерному снижению

**Табл. 3. Изменение гидролитической кислотности почвы в течение вегетационного периода в зависимости от дозы внесения минеральных удобрений, мг-экв./100 г**

Доза удобрения (фактор В)	Дата отбора проб (фактор А)						Среднее по дозе (В)
	2016 г.						
	<b>30 апреля</b>	<b>1 июня</b>	<b>24 июня</b>	<b>20 июля</b>	<b>18 августа</b>		
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	3,87±0,16	4,07±0,11	4,57±0,10	4,22±0,14	4,25±0,15		4,19a
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	4,73±0,26	4,88±0,38	5,28±0,19	4,65±0,10	5,09±0,18		4,93b
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,59±0,27	4,65±0,10	5,37±0,08	4,73±0,06	5,02±0,33		4,87b
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,78±0,14	4,67±0,04	5,51±0,39	5,15±0,16	5,27±0,14		5,08bc
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	5,18±0,29	4,78±0,14	5,56±0,17	5,05±0,41	5,56±0,27		5,22c
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	6,14±0,33	5,35±0,13	5,86±0,28	5,67±0,16	5,95±0,11		5,80d
Среднее по дате (А)	4,88a	4,73a	5,36c	4,91a	5,19bc		HCP <sub>A</sub> 0,25 HCP <sub>B</sub> 0,23
	2017 г.						
	<b>30 мая</b>	<b>14 июня</b>	<b>4 июля</b>	<b>19 июля</b>	<b>8 августа</b>	<b>31 августа</b>	
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	4,37±0,14	4,36±0,14	4,89±0,15	4,71±0,21	4,39±0,02	4,42±0,03	4,52a
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	5,29±0,25	5,28±0,23	6,12±0,32	6,14±0,14	5,81±0,15	6,21±0,23	5,81c
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,09±0,10	5,38±0,22	5,67±0,31	5,37±0,05	5,57±0,23	5,60±0,05	5,45b
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	5,08±0,12	5,70±0,28	6,48±0,05	6,20±0,32	6,20±0,17	6,19±0,07	5,97cd
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	5,29±0,22	5,60±0,19	6,34±0,06	6,78±0,37	6,50±0,05	6,17±0,23	6,11d
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	5,40±0,15	5,87±0,20	6,50±0,12	6,49±0,13	6,85±0,27	6,69±0,27	6,31e
Среднее по дате (А)	5,09a	5,36b	6,00c	5,95c	5,89c	5,88c	HCP <sub>A</sub> 0,20 HCP <sub>B</sub> 0,19
	2018 г.						
	<b>17 мая</b>	<b>5 июня</b>	<b>18 июня</b>	<b>2 июля</b>	<b>16 июля</b>	<b>30 июля</b>	
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	3,01±0,07	3,64±0,30	3,44±0,11	4,10±0,30	3,60±0,20	4,18±0,45	3,66a
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	5,08±0,03	5,24±0,15	4,73±0,22	4,86±0,27	5,10±0,18	4,99±0,11	5,00c
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,53±0,40	4,77±0,49	3,85±0,05	4,70±0,33	3,94±0,59	4,45±0,11	4,37b
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	4,28±0,20	4,54±0,23	4,73±0,37	4,44±0,27	4,68±0,51	4,45±0,23	4,52b
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	6,42±0,20	6,36±0,47	4,25±0,16	5,06±0,08	4,87±0,05	4,90±0,28	5,31d
N <sub>150</sub> P <sub>150</sub> K <sub>150</sub>	6,16±0,24	5,49±0,15	5,57±0,14	6,23±0,07	5,98±0,23	5,44±0,16	5,81e
Среднее по дате (А)	4,91b	5,00b	4,43a	4,90b	4,70ab	4,73ab	HCP <sub>A</sub> 0,33 HCP <sub>B</sub> 0,25

степени насыщенности основаниями. Относительное постоянство величины этого показателя в почве в контрольном варианте, очевидно, обусловлено высокой буферностью почвы. Известно, что элюво-делювий пермских карбонатных пород и сформированные на нем почвы несут следы былой карбонатности в виде повышенного содержания оснований [12].



**Рис. 2. Изменение величины гидролитической кислотности почвы при увеличении дозы удобрений (средние значения за сезон): ■ – 2016 г.; □ – 2017 г.; ▒ – 2018 г.; - - - - - линейная (2016 г.); — — — — — линейная (2017 г.); ······ — линейная (2018 г.).**

За годы проведения исследований в составе ППК увеличилась доля алюминия и водорода и снизилось содержание оснований. При внесении возрастающих доз удобрений закономерно и ожидаемо уменьшилась степень насыщенности основаниями. Чем выше была доза удобрения, тем значительнее снижение степени насыщенности основаниями. В варианте с максимальной в опыте дозой N<sub>150</sub>P<sub>150</sub>K<sub>150</sub> она уменьшилась, по сравнению с контролем, на 10 %.

Поскольку степень насыщенности основаниями зависит от кислотности почвы, её величина также изменяется в течение вегетационного периода. Минимальную и максимальную в опыте степень насыщенности основаниями в разные годы отмечали в разные сроки.

Определение урожайности сельскохозяйственных культур в севообороте на исследуемой почве показало, что минимальные в опыте ее величины во все годы характерны для контрольного варианта. Увеличение доз вносимых удобрений приводило к росту урожайности зерновых культур и продуктивности севооборота. Для разных сортов озимой ржи и ячменя наибольшую прибавку отмечали при максимальных в опыте дозах удобрений [10, 13]. То есть, несмотря на ухудшение показателей ППК, внесение высоких доз удобрений повышало продуктивность агроценозов.

Таким образом, длительное (45 лет) систематическое внесение минеральных удобрений привело к достоверному увеличению всех видов кислотности почвы пахотного слоя дерново-подзолистой почвы. На каждые

**Табл. 4. Изменение степени насыщенности основаниями в зависимости от дозы внесения минеральных удобрений (среднее за сезон), %**

Вариант	2016 г.	2017 г.	2018 г.
$N_0P_0K_0$	79,70±0,03	78,49±0,10	77,65±0,22
$N_{30}P_{30}K_{30}$	75,64±0,10	71,27±0,20	69,87±0,11
$N_{60}P_{60}K_{60}$	77,29±0,10	75,22±0,15	74,02±0,29
$N_{90}P_{90}K_{90}$	73,56±0,20	70,77±0,27	72,60±0,10
$N_{120}P_{120}K_{120}$	70,51±0,15	68,46±0,28	67,10±0,57
$N_{150}P_{150}K_{150}$	69,17±0,22	68,11±0,24	64,23±0,10

30 кг действующего вещества дополнительно внесенных удобрений отмечено повышение обменной (снижение величины  $pH_{KCl}$  на 0,06...0,08 ед.) и гидролитической (на 0,26...0,34 мг-экв./100 г) кислотности почвы. За время проведения опыта гидролитическая кислотность почвы возросла на 0,30...1,49 мг-экв./100 г (на 16...59 % к контролю), обменная – на 0,2...0,5 ед.  $pH_{KCl}$  (2...10 % к контролю) в зависимости от вносимой дозы удобрений и года наблюдения. Увеличение кислотности почвы при повышении дозы вносимых удобрений привело к закономерному уменьшению степени насыщенности основаниями.

**Литература**

1. Анализ мирового рынка минеральных удобрений в 2012–2016 гг., прогноз на 2017–2021 гг. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/39455/> (дата обращения: 01.07.2022).
2. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 3–13.
3. *The Mineral Fertilizer-Dependent Chemical Parameters of Soil Acidification under Field Conditions* / P. Tkaczyk, A. Mocek-Płóciniak, M. Skowrońska, et al. // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. No. 17. P. 7165. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/17/7165/htm> (дата обращения: 01.07.2022). doi: 10.3390/su12177165.
4. Чеботарев Н. Т., Броварова О. В., Конкин П. И. Влияние систематического внесения органиче-

ских и минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность кормовых севооборотов на европейском Севере // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2021. № 1. С. 34–37.

5. Goulding KW. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom // *Soil use management*. 2016. Vol. 32 (3). P. 390–399. doi: 10.1111/sum.12270.
6. Комиссарова В. С., Богомолова Ю. А., Сюбаева А. О. Влияние длительного последствия известкования и систематического применения удобрений на кислотность светло-серой лесной почвы // *Плодородие*. 2018. № 2 (101). С. 6–8.
7. Васбиева М. Т. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении удобрений // *Почвоведение*. 2021. № 1. С. 90–99.
8. Кириллова Е. В., Копылов А. Н. Влияние различных систем удобрения на изменение агрохимических свойств почв // *Аграрный вестник Урала*. 2017. № 4 (158). С. 31–36.
9. Чеботарев Н. Т., Броварова О. В. Роль севооборота и удобрений в воспроизводстве плодородия и продуктивности дерново-подзолистых почв республики Коми // *Агрохимический вестник*. 2021. № 4. С. 9–13.
10. Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Новичок / Ф. А. Попов, Л. М. Козлова, Е. Н. Носкова и др. // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. № 22 (2). С. 254–263. doi: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263).
11. Ариунушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
12. Урусевская И. С., Хохлова О. С., Соколова Т. А. Влияние почвообразующих пород на дифференциацию почв и почвенного покрова северной части Приволжской возвышенности // *Почвоведение*. 1992. № 8. С. 22–38.
13. Эффективность минеральных удобрений при возделывании различных сортов озимой ржи / В. Д. Абашев, Ф. А. Попов, Е. Н. Носкова и др. // *Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки»*. 2020. Т. 6. № 2. С. 131–136.

Поступила в редакцию 27.07.2022  
 После доработки 05.10.2022  
 Принята к публикации 25.11.2022

## СОСТОЯНИЕ ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ПОВТОРНОГО ВВЕДЕНИЯ В ОБОРОТ

Ю. В. Аксенова, кандидат биологических наук, А.М. Гиндемит, кандидат биологических наук

Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина,  
644008, Омск, Институтская пл., 1  
E-mail: axsenovajulia@gmail.com

*Исследование проводили с целью оценки плодородия почв залежных участков, расположенных в степной зоне, и возможности их повторного введения в пашню. В Черлакском районе Омской области почвенный покров полей представлен черноземно-луговыми, часто засоленными и солонцеватыми почвами, солончаками, солодьями и солонцами. Количество гумуса в черноземно-луговых почвах, содержащих соли глубже 0,5 м, достигало 7,26...5,20 %. В засоленных, солонцеватых, карбонатных почвенных разностях и в солончаках величина этого показателя снижалась до 5,88...1,55 %. В почвенно-поглощающем комплексе почв до 50 % и более приходилось на магний, его количество варьировало от 8,7 до 26,3 ммоль/100 г почвы при содержании кальция от 8,8 до 33,8 ммоль/100 г почвы. Количество натрия не превышало 5 % от суммы обменных катионов, кроме солонцов малонатриевых. В засоленных почвах в составе солей преобладали сульфаты и хлориды натрия. Гумусовый слой почв имел повышенную плотность (1,23...1,37 г/см<sup>3</sup>) и удовлетворительное структурное состояние. Содержание агрономически ценные фракции составляло 52,7...68,4 %. В Нововаршавском районе участок расположен в зоне действия Сибирской оросительной системы и представлен постирригационной черноземно-луговой почвой. Количество гумуса в почве изменялось от 5,46 до 2,82 %. Гумусовый слой был сильно уплотнен и плохо оструктурен. Среди обменных катионов до 14,4...30,6 ммоль/100 г приходилось на кальций, магний занимал от 3,12 до 12,5 ммоль/100 г, натрия – до 1,2 ммоль/100 г. Легкорастворимые соли в почве залежали с 50...71 см. Степень засоления средний и нижней части профиля изменялась от слабой до очень сильной. Слабое засоление соответствовало содово-сульфатному и сульфатно-содовому типу, среднее, сильное и очень сильное – сульфатному, хлоридному и хлоридно-сульфатному. Повторное введение в пашню рекомендовано для залежного участка, расположенного в Нововаршавском районе, после восстановления физических свойств почвы.*

## THE STATE OF THE FALLOW LANDS OF THE STEPPE ZONE OF THE OMSK REGION AND THE POSSIBILITY OF THEIR INTRODUCTION INTO AGRICULTURAL CIRCULATION

Aksenova Yu. V., Gindemit A.M.

Omsk State Agrarian University,  
644008, Omsk, Institutskaya pl., 1  
E-mail: axsenovajulia@gmail.com

*Studies were carried out to assess the fertility of soils in fallow areas located in the steppe zone and the possibility of their re-introduction into arable land. In the Cherlak region, the soil cover of the fields is represented by a type of meadow, often saline and salty soils, solonchaks, solonets. Humus content in meadow soils containing salts deeper than 0.5 m reached 7.26–5.20%. In saline, solonetic, carbonate soil differences and in salt marshes, its value decreased to 5.88–1.55%. In the composition of exchange cations, magnesium accounted for up to 50% or more, its amount varied from 8.7 to 26.3 mmol/100 g of soil with calcium content from 8.8 to 33.8 mmol/100 g of soil. The amount of sodium did not exceed 5% of the amount of exchange cations, except for malonatrix corns. In saline soils, sodium sulfates and chlorides dominated the salts, which determined their chloride-sulfate sodium type of salinization. The humus layer of soils had an increased density (1.23–1.37 g/cm<sup>3</sup>) and a satisfactory structural state. The number of agronomically valuable fractions was 52.7–68.4%. In the Novovarshavsky district, the field is located in the coverage area of the Siberian irrigation system and is represented by post-irrigation meadow soil. The amount of humus in the soil ranged from 5.46 to 2.82%. The humus layer was strongly compacted and had a poor structure. Among the exchange cations up to 14.4–30.6 mmol/100 g were calcium, magnesium occupied from 3.12 to 12.5 mmol/100 g, sodium – up to 1.2 mmol/100 g. Easily soluble salts lay from 50–71 cm. The degree of salinity of the middle and lower parts of the soil profile varied from weak to very strong. Weak salinity corresponded to soda-sulfate and sulfate-soda type, medium, strong and very strong – sulfate, chloride and chloride-sulfate. The secondary introduction into the arable land is recommended for the deposit area located in the Novovarshavsky district after the restoration of the physical properties of the soil.*

**Ключевые слова:** *постирригационные земли, залежь, гумус, структурно-агрегатный состав, подвижное органическое вещество, засоление*

**Key words:** *post-irrigation lands, grass deposit, humus, structural and aggregate composition, mobile organic matter, salinization*

В процессе антропогенного воздействия почвы могут изменяться в направлении либо окультуривания, либо деградации, что отражается на их экономической ценности и производительной способности. Причиной исключения почв из сельскохозяйственного оборота и увеличения площади неиспользуемых земель служит постепенная эволюция ранее плодородных почв в низкопродуктивные. За последние 10 лет площадь земель сельскохозяйственного назначения в Российской Федерации уменьшилась на 17,6 млн га, или на 4,6 %. По данным субъектов Российской Федерации, на 1 января 2021 г. около 19,4 млн га пашни остаются неиспользуемыми [1].

Большое количество невостребованных земельных долей, появившихся в результате реорганизации коллективных предприятий, привело к увеличению площади

неиспользуемых сельхозугодий из-за их выбытия из оборота. Другая причина роста площади залежных земель – неудовлетворительное состояние ранее мелиорированных и малопродуктивных почв, требующих проведения коренного улучшения их свойств и режимов.

В первую очередь из пашни выводили орошаемые массивы вследствие развития в почвах негативных процессов [2, 3, 4]. Орошение – один из мощных антропогенных факторов, влияющих на все элементы агроландшафта: гидрологию, рельеф, почвенный и растительный покров. Направление эволюции почв и ее скорость зависят от качества поливных вод и норм полива, наличия дренажных систем, климата, гидрогеологических условий территории, рельефа, свойств и режимов самих почв.

Табл. 1. Почвенный покров полей, выведенных в залежь

№ ключевого участка на поле	Индекс почвы	Название почвы
<b>Поле №1</b>		
разрез 1	Лч <sub>1</sub> <sup>сн2</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая солонцеватая маломощная малогумусная глинистая
1	Ск <sub>г</sub> <sup>а</sup>	солончак луговой хлоридно-сульфатный натриевый поверхностный глинистый
2	Лч <sub>1</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая маломощная среднегумусная тяжелосуглинистая
3	Ск <sub>г</sub> <sup>а</sup>	солончак луговой хлоридно-сульфатный натриевый поверхностный глинистый
4	Лч <sub>1</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая маломощная среднегумусная тяжелосуглинистая
5	Лч <sub>1</sub> <sup>сн1</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая солончаковая маломощная слабогумусированная глинистая
6	Лч <sub>1</sub> <sup>сн2</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая солончаковая маломощная малогумусная глинистая
7	Сд <sub>л1</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	солодь луговая мелкодерновая многогумусная глинистая
8	Ск <sub>г</sub> <sup>а</sup>	солончак вторичный хлоридно-сульфатный натриевый поверхностный тяжелосуглинистый
9	Лч <sub>1</sub> <sup>сн1</sup> <sub>г</sub>	луговая солончаковая карбонатная маломощная слабогумусированная тяжелосуглинистая
10	Лч <sub>1</sub> <sup>сн1</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая солонцеватая маломощная слабогумусированная тяжелосуглинистая
11	Сд <sub>л2</sub> <sup>1</sup> <sub>г</sub>	солодь луговая остаточно-солонцеватая среднедерновая малогумусная глинистая
12	Сд <sub>л3</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	солодь луговая остаточно-солонцеватая глубокодерновая многогумусная глинистая
13	Ск <sub>г</sub> <sup>а</sup>	солончак луговой сульфатный кальциево-натриевый поверхностный тяжелосуглинистый
<b>Поле №2</b>		
разрез 2	Лч <sub>1</sub> <sup>2</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая маломощная малогумусная глинистая
1	Сн <sub>чл</sub> <sup>осзе</sup> <sub>г</sub>	солонец черноземно-луговой хлоридно-сульфатный натриевый осолоделый средний малонатриевый столбчатый глинистый
2	Ск <sub>г</sub> <sup>а</sup>	солончак луговой поверхностный сульфатно-хлоридный натриевый глинистый
3	Лч <sub>1</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая маломощная среднегумусная глинистая
4	Сн <sub>чл</sub> <sup>2с</sup> <sub>г</sub>	солонец черноземно-луговой хлоридно-сульфатный натриевый мелкий малонатриевый столбчатый глинистый
5	Лч <sub>1</sub> <sup>2</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая маломощная малогумусная глинистая
6	Лч <sub>2</sub> <sup>сн3</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая солончаковая среднемогущая среднегумусная глинистая
7	Ск <sub>г</sub> <sup>а</sup>	солончак луговой поверхностный сульфатно-хлоридный натриевый глинистый
8	Лч <sub>1</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	черноземно-луговая маломощная среднегумусная глинистая

Регулярный мониторинг и оценка эколого-мелиоративного и культуртехнического состояния почв необходимы на сельскохозяйственных угодьях, которые подвергают сильному воздействию антропогенных факторов, вызывающих глубокие изменения в почвах. Наиболее быстро трансформация и эволюция почв, часто в низкопродуктивные, протекает под влиянием орошения, вследствие активизации процессов разрушения, синтеза, миграции и аккумуляции различных соединений. Причиной снижения плодородия почв и служит неправильное применение орошения, несвоевременное выявление и предотвращение процессов деградации, которые проявляются в виде вторичного засоления, осолонцевания, переувлажнения и др.

В связи с отсутствием ирригационно-мелиоративного мониторинга, который направлен на оценку состояния орошаемых земель, эффективности мелиоративных мероприятий, достоверности почвенно-мелиоративных прогнозов и расчетов, масштабы развития многих деградационных процессов и площади ранее орошаемых почв, которые выведены в залежное состояние, неизвестны. С прекращением орошения условия развития почв менялись, но имеются лишь немногочисленные сведения по трансформации их свойств и режимов в постирригационный период [5, 6, 7].

На сегодняшний день во многих областях и регионах России в залежь выведены значительные площади ранее орошаемой пашни в связи с отсутствием возможности восстановления почвенного плодородия и рентабельного использования таких участков. Поэтому в соответствии с «Государственной программой эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» проблема повторного введения ранее мелиорированных территорий в сельскохозяйственный оборот и расширения площади пашни остается актуальной.

Цель исследований – провести оценку современного культуртехнического и эколого-мелиоративного состояния залежных полей и установить возможность их повторного использования в сельском хозяйстве.

**Методика.** Работу выполняли в 2021–2022 гг. на залежных участках хозяйств, расположенных в степной зоне Омской области, для определения возможности расширения площади пашни и кормовой базы. Почвенный покров полей представлен мелиорированными почвами с признаками постирригационных и постагrogenных изменений свойств.

Хозяйство, расположенное в Черлакском районе, специализируется на производстве зерновых культур. С целью расширения площади пашни было обследо-

вано два поля, расположенных вблизи озера Ульжай. Минерализация воды в озере изменяется от 50,4 до 63 г/л, тип засоления хлоридный натриево-магниевый. В составе солей 74,7 % составляет хлористый натрий, 15,7 % сульфат магния и 8...9 % хлористый магний. Присутствует незначительное количество (около 0,5 %) сульфата и бикарбоната кальция. Поля выведены в залежь в течение 24 лет. Растительность разнотравно-злаково-полынная с доминированием типчака и полыни селитрянной на засоленных и солонцеватых почвенных разностях.

Площадь поля №1 составляла 400 га, поля №2 – 232,8 га. На ключевых участках полей были заложены: разрез 1 (54°38'2.7" с. ш., 75°25'08.5" в. д., высота над уровнем моря 96 м) и 13 прикопок; разрез 2 (54°27'89.8" с. ш., 75°08'40.7" в. д., высота над уровнем моря 100 м) и 8 прикопок. Прикопки заложены на глубину 50...60 см. Почвенный покров полей представлен почвами гидроморфного ряда с признаками грунтового переувлажнения в средней и нижней части профиля, а также солонцеватыми и часто засоленными в первом 0,5 м слое (табл. 1).

В Нововаршавском районе обследование проведено на 490 га неиспользуемой в сельском хозяйстве пашни. Хозяйство имеет животноводческую специализацию и нуждается в расширении кормовой базы. Залежный участок расположен в зоне действия Сибирской оросительной системы (ОС), введенной в эксплуатацию в 1990 г. Обслуживаемая площадь составляет 1,083 тыс. га. В современных условиях она функционирует частично в связи с неисправностью гидротехнических сооружений. По данным ФГБУ «Управление «Омскмелиоводхоз», в 2021 г. было полито 0,5 тыс. га, 0,583 тыс. га не орошали по причине неисправности гидромелиоративных сооружений и неудовлетворительного мелиоративного состояния земель.

Для характеристики почвенного покрова постирригационного залежного участка были заложены разрез (53°96'61.6" с. ш., 74°80'61.8" в. д., высота над уровнем моря 94 м) и 8 прикопок на глубину 60...80 см, с последующим добуриванием до 160...170 см. Буровые скважины закладывали через каждые 20 см для определения наличия и глубины залегания легкорастворимых солей и признаков грунтового переувлажнения.

Исследования проводили в три этапа. В подготовительный период была изучена информация, полученная с космических летательных аппаратов, в соответствие с которой были выбраны ключевые участки.

В полевой период проведена оценка текущего состояния почвенного покрова полей, выявлены действующие деградационные процессы. На ключевых участках были заложены разрезы, прикопки и буровые скважины с подробным морфологическим описанием извлеченного почвенного материала и наблюдаемых признаков, проведен отбор почвенных проб для лабораторных исследований. Географические координаты точек опробования фиксировали с использованием навигационного приемника GPS.

Оценка почвенного плодородия залежных полей и выявление видов деградаций были выполнены по результатам аналитических исследований.

Для характеристики физических свойств почв и выявления физической деградации определяли плотность сложения – по методу Н.А. Качинского и структурный и агрегатный состав – по методу Саввинова (сухой рассев).

Характеристику физико-химических свойств почв проводили по таким показателям, как pH солевой суспензии – потенциометрическим методом (ГОСТ

27979-88); pH водной суспензии – потенциометрическим методом; содержание обменных катионов кальция и магния – титриметрическим методом, натрия – методом пламенной фотометрии; легкорастворимых солей – по ГОСТ 26423-85, 26424-85, 26425-85, 26426-85, 26427-85, 26428-85; тип и степень засоления почв, качественный состав солей – расчетным методом.

С целью характеристика химических свойств почвы и выявления химической деградации определяли содержание гумуса – по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова и подвижных гумусовых кислот – извлечение 0,1 н NaOH.

В камеральный период на основе данных, полученных при полевом и лабораторном исследованиях, проведено уточнение классификационной принадлежности почв, обоснована целесообразность повторного введения залежных участков в сельскохозяйственный оборот и разработаны предложения по их дальнейшему использованию.

**Результаты и обсуждение.** Почвенный покров полей, выведенных в залежь, на территории Черлакского

**Табл. 2. Содержание гумуса и подвижных гумусовых веществ в почвах залежного поля №1 Черлакского района**

Ключевой участок на поле	Горизонт	Гумус, %	ПОВ, мг/кг
Лч <sub>1</sub> <sup>сн2</sup> <sub>г</sub>	A	5,26	2547
	AB	4,20	1765
Ск <sub>г</sub> <sup>с</sup>	Ac	4,98	1762
	ABc	3,71	1515
Лч <sub>1</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	A	7,26	9324
	AB	6,20	5828
Ск <sub>г</sub> <sup>с</sup>	Ac	2,86	2195
	ABc	3,34	3164
Лч <sub>1</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	A	7,10	5232
	AB	5,24	5559
Лч <sub>1</sub> <sup>сн1</sup> <sub>г</sub>	A	3,23	2997
	ABc	2,81	1422
Лч <sub>1</sub> <sup>сн2</sup> <sub>г</sub>	A	4,40	1546
	ABc	3,60	1515
Сд <sub>1</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	A <sub>1</sub>	5,24	11322
	A <sub>2</sub>	1,24	2165
Ск <sub>г</sub> <sup>с</sup>	A <sub>1</sub> c	5,88	7659
	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> c	4,00	12820
Лч <sub>1</sub> <sup>снк1</sup> <sub>г</sub>	Ак	3,55	1329
	ABc,к	1,55	464
Лч <sub>1</sub> <sup>сн1</sup> <sub>г</sub>	A	3,97	2997
	AB	4,45	1762
Сд <sub>2</sub> <sup>1</sup> <sub>г</sub>	AoA <sub>1</sub>	не опр.*	не опр.
	A <sub>2</sub>	0,93	216
Сд <sub>3</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	A <sub>1</sub>	10,65	9158
	A <sub>2</sub>	1,24	1020
Ск <sub>г</sub> <sup>с</sup>	Ac	4,50	247
	ABc	3,49	495

\*не опр. – не определяли

района представлен низкопродуктивными почвами. Особенность территории – наличие засоленных и солонцеватых почвенных разностей с признаками грунтового переувлажнения. Морфологически выраженные признаки оглеенности профиля начинались с 40...50 см и усиливались с глубиной. Уровень грунтовых вод в этих почвах не постоянный и во многом зависит от цикличности сухих и влажных лет, сезона года и варьирует в пределах ± 1...2 м. В сухие периоды почвы развиваются в гидротермических условиях, близких к степному почвообразованию, во влажные – по подтипу луговых и типу лугово-болотных почв.

Мощность гумусового слоя в почвах обследованных полей варьировала от 3 до 45 см. Минимальной (от 3 до 20 см) она была в солоди луговой мелко- и среднедерновой, солонцах мелких и средних и солончаках луговых. В черноземно-луговых почвах величина этого показателя достигала 28...45 см.

Содержание гумуса в почвах поля №1 изменялось от низкого и ниже среднего [8] в верхней части гумусового слоя (горизонты А и А<sub>1</sub>), до низкого и малого в нижней (горизонт АВ), несмотря на длительное (24 года) пребывание под многолетней травянистой растительностью (табл. 2). Средний уровень содержания гумуса имели черноземно-луговые почвы с наличием легкорастворимых солей и карбонатов глубже 0,4...0,5 м. Количество гумуса в почвах поля №2 установилось на среднем и ниже среднего уровне, менее гумусированными были солончаки (табл. 3).

Накопление и сохранение консервативной части гумуса зависит от количества лабильных гумусовых веществ, которые образуются в результате разложения и гумификации остатков растительного и животного происхождения, выделения корневыми системами растений и почвенной биотой продуктов метаболизма и автолиза. Входящие в эту группу соединения не только формиру-

ют эффективное плодородие почв, но и используются живыми организмами в качестве источника элементов питания, принимают участие в образовании водоустойчивой структуры. В наибольшей степени лабильными гумусовыми веществами (ЛГВ) обогащены целинные почвы, в наименьшей – почвы пашни, так как под влиянием длительного сельскохозяйственного использования значительная их часть минерализуется [9].

Высокое содержание подвижных органических веществ (ПОВ), входящих в состав ЛГВ, в нашем исследовании установлено в черноземно-луговых почвах, не солонцеватых и не содержащих соли в гумусовом горизонте. В солончаковых и солонцеватых почвенных разностях их количество снижалось до среднего уровня, в солончаках – до низкого. В солодах луговых и в солончаке вторичном, сформировавшемся из солоди луговой, высокое содержание ПОВ может быть связано как с ослаблением прочности связи гумусовых кислот с минеральной частью почвы и переходом их в подвижное состояние, так и с недостаточным количеством обменного кальция для закрепления новообразованных гумусовых веществ в форме кальциевых солей.

Результаты химического анализа водных вытяжек из почв поля №1, свидетельствуют, что часть черноземно-луговых почв в пределах 0,5 м не засолена, так как сумма солей не превышает 0,03 %. В солончаковых почвенных разностях величина этого показателя возрастала до 0,36...0,67 %. Наибольшее количество солей в почвах поля залегало в слое 20...70 см. В их составе преобладали сульфаты и хлориды натрия, что определило хлоридно-сульфатный натриевый тип засоления. Например, в черноземно-луговой солончаковой почве слой 0...20 см имел слабую степень засоления, из токсичных солей, оказывающих угнетающее действие на растения, присутствовали бикарбонаты натрия и магния, определяя хлоридно-содовый натриевый тип засоления.

Табл. 3. Содержание гумуса и подвижных гумусовых веществ в почвах залежного поля №2 Черлакского района

Ключевой участок на поле	Горизонт	Гумус, %	ПОВ, мг/кг
Лч <sub>1</sub> <sup>2</sup> <sub>г</sub>	А	4,08	4741
	АВ	4,4	1063
Сн <sub>ал</sub> <sup>осзс</sup> <sub>г</sub>	А <sub>1</sub>	4,4	7194
	А <sub>1</sub> А <sub>2</sub>	3,87	7031
Ск <sub>г</sub> <sup>а</sup>	Ас	4,61	1609
	АВс	4,61	1852
Лч <sub>1</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	А	6,41	4578
	АВ	3,65	5886
Сн <sub>ал</sub> <sup>2с</sup> <sub>г</sub>	А <sub>1</sub>	4,61	5232
	В <sub>1</sub>	4,61	5559
Лч <sub>1</sub> <sup>2</sup> <sub>г</sub>	А	5,73	7031
	АВ	5,2	6213
Лч <sub>2</sub> <sup>св3</sup> <sub>г</sub>	Ас	8,58	8012
	АВс	4,66	5232
Ск <sub>г</sub> <sup>а</sup>	Ас	3,29	1579
	АВс	2,12	941
Лч <sub>1</sub> <sup>3</sup> <sub>г</sub>	А	6,14	5559
	АВ	6,67	5886

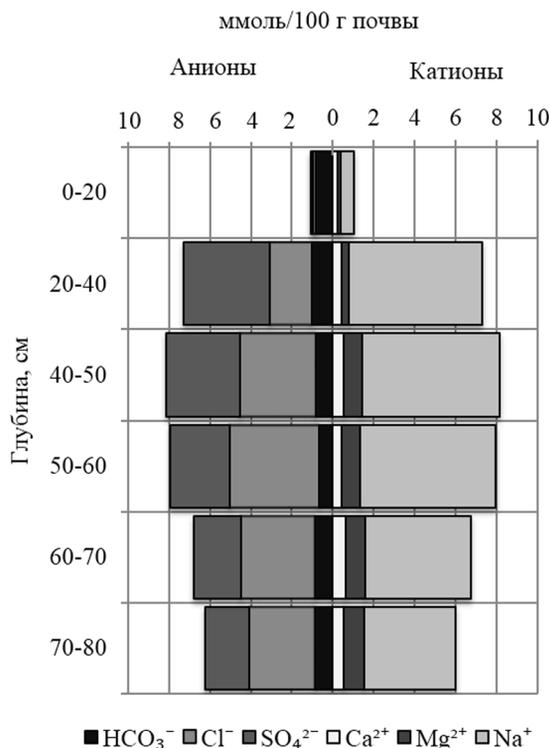


Рис. 1. Солевой профиль черноземно-луговой солончаковой почвы.

Вниз по профилю почвы увеличилось содержание нейтральных солей, прежде всего, сульфатов и хлоридов натрия, и тип засоления по анионному составу перешел в хлоридно-сульфатный и сульфатно-хлоридный с участием соды (рис. 1).

Реакция среды в гумусовом слое черноземно-луговых почв изменялась от нейтральной до сильнощелочной (рН 6,0...9,5). Щелочность связана с наличием карбонатов и обменного натрия в солонцеватых горизонтах почв. Количество обменного кальция (18,1...30,6 ммоль/100 г почвы) и магния (17,0...26,3 ммоль/100 г почвы) в гумусовом слое было очень высокое и высокое. Содержание обменного натрия не превышало 0,7...2,1 ммоль/100 г почвы (3,1...3,9 % от суммы катионов), кроме солонцеватых почвенных разностей, в которых оно достигало 6,2 ммоль/100 г почвы, или 12,4 % от суммы обменных катионов.

В солончаках соли содержались по всему профилю с максимальной аккумуляцией (сумма солей 1,48...3,62 %) в слое 20...50 см (рис. 2). Преобладающий тип засоления – хлоридно-сульфатный натриевый, реже – сульфатный кальциево-натриевый. Реакция среды была слабо- и сильнощелочной (рН 8,0...8,7) и связана с наличием карбонатов по всему профилю солончаков.

В гумусовом слое (горизонт A<sub>1</sub>) солодей луговых наблюдалось повышенное количество обменного кальция

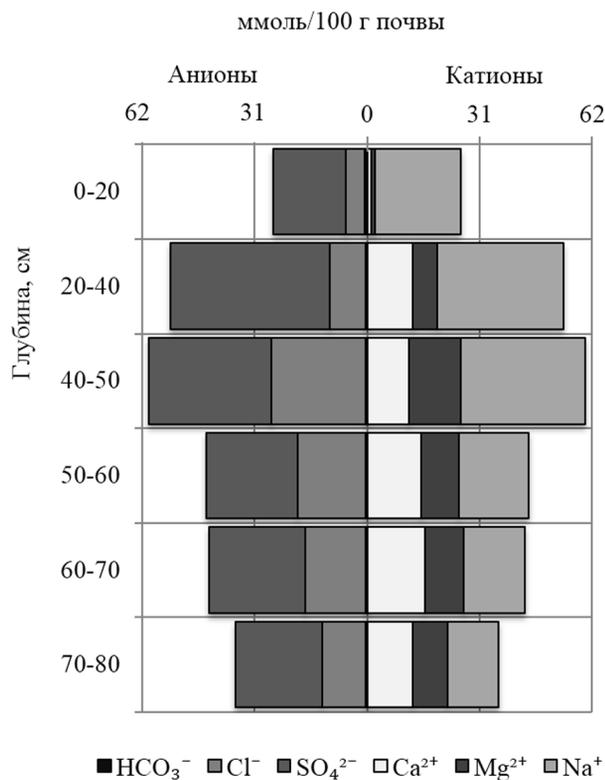


Рис. 2. Солевой профиль солончака вторичного хлоридно-сульфатного натриевого поверхностного.

и очень высокое – магния: соответственно 8,8...12,5 и 8,8...17,5 ммоль/100 г почвы. Реакция среды находилась в нейтральном интервале (рН 5,9...7,3).

Черноземно-луговые почвы, выделенные на поле №2, на глубине 0,4...0,5 м были не засолены, сумма солей в этой части профиля изменялась от 0,03 до 0,14 %, но их качественный состав свидетельствовал о хлоридно-содовом, хлоридном и сульфатном типе засоления по анионному составу и натриевому – по катионному. В

солонце черноземно-луговом тип засоления по профилю менялся с содово-хлоридного на хлоридно-сульфатный натриевый. Солончаки имели нейтральный тип засоления (сульфатно-хлоридный натриевый с переходом в хлоридно-сульфатный магниевый-натриевый) в слое 0...60 см, сумма солей увеличивалась с 0,86...1,13 % в горизонте А до 1,70...2,61 % в горизонте В<sub>1</sub>.

Во всех почвах, выделенных в пределах поля №2, содержание обменного кальция в гумусовом слое составляло 17,5...33,8 ммоль/100 г почвы, магния – 3,2...21,3 ммоль/100 г почвы и соответствовало высокому и очень высокому уровню. Количество натрия не превышало 4,0 % (0,5...1,17 ммоль/100 г почвы) от суммы обменных катионов, за исключением солонца черноземно-лугового малонатриевого (10,9 % натрия в горизонте В<sub>1</sub>). Реакция среды была нейтральной (рН 5,8...7,2), за исключением солонцового горизонта и горизонтов, содержащих карбонаты, в которых величина рН переходила в щелочной интервал – 7,7...8,3.

Физические свойства проанализированы для черноземно-луговых почв полей №1 (по 7 ключевым участкам) и №2 (по 5 ключевым участкам) как наиболее пригодных под пашню. Верхние 10-и см слой почвы были уплотнены, плотность слоения составляла 1,23...1,28 г/см<sup>3</sup>, сильное уплотнение (1,30...1,37 г/см<sup>3</sup>) отмечено в слое 10...20 и 20...30 см и только на глубине 30...40 см плотность соответствовала типичной для подпахотного горизонта (1,44...1,59 г/см<sup>3</sup>). В агрегатном составе почв агрономически ценные фракции (10,0...0,25 мм) занимали от 61,1 до 66,1 % в горизонте А и 52,7...68,4 % в горизонте АВ, что ниже оптимального уровня (70 %) на 3,9...9,9 % и 2,6...17,3 % соответственно. Структурное состояние ухудшалось повышенное количество глыбистой фракции (> 10 мм), на долю которой приходилось от 32,8...36,7 % в верхней части гумусового слоя (горизонт А) до 30,2...39,0 % в его нижней части (горизонт АВ). В целом структурное состояние оценивали как хорошее и удовлетворительное, коэффициент структурности изменялся от 1,1 до 2,2.

По результатам проведенных полевых и лабораторных исследований сделано заключение о возможности использования полей №1 и 2 под кормовую базу, так как большая часть черноземно-луговых почв содержит соли в корнеобитаемой части почвы (0...40 см) и залегают совместно с солончаками и солодями. Эти почвы к распашке не рекомендуются по причине их сильного засоления и маленькой мощности гумусового горизонта, не достаточной для создания пахотного слоя. Кроме того, возделывание соле- и солонцестойчивых культур на засоленных почвах сопровождается снижением урожайности до 25...50 % [9].

Культуртехническое состояние полей удовлетворительное, наблюдалась слабая закороченность низкими и средними кочками землистого происхождения. Заращение древесной и кустарниковой растительностью отсутствовало.

Почвенный покров залежного участка на территории Сибирской ОС, расположенной в Нововаршавском районе представлен черноземно-луговой почвой. Ранее это были орошаемые вывозные поля многолетних трав. В современных условиях уход за травами не осуществляется, растительный покров разрежен и представлен разнотравьем и злаками. Растением-эпифитом выступает кострец безостый, занимающий 70...75 % среди растительного сообщества залежи. Учет надземной массы растений свидетельствовал о низкой урожайности, которая варьировала от 0,47 до 0,73 т/га абсолютно сухого вещества.

Верхний 5-и см слой почвы распылен, почвенная масса перевивается ветром с последующим переотложением в виде золотых наносов и образованием специфических форм нанорельефа – бугорков. Следствием дефляции стало изменение мощности горизонта  $A'$  в пределах обследованной площади полей от 1 до 5 см. Мощность гумусового слоя почвы ( $A'+A''$ ) изменялась от 19 до 48 см и на большей части полей составляла 21 см, что характеризовало почву как очень маломощную. Нижележащий горизонт  $A''$  был сильно уплотнен и имел неблагоприятное структурное состояние на всей обследованной территории. Плотность в горизонте  $A'$  не определяли в связи с сильной его распыленностью и малой мощностью. Структурное состояние горизонта оценено как удовлетворительное, так как количество агрономически ценных фракций составляло 52,1...64,1%, а фракция пыли среди агрегатов занимала от 27,2 до 43,0%.

В горизонте  $A''$  плотность сложения почвы на обследованной территории изменялась от 1,23 до 1,35 г/см<sup>3</sup> и соответствовала уплотненной и сильно уплотненной. Структурное состояние горизонты плохое, так как коэффициент структурности был очень низкий (0,1 до 0,5) из-за небольшой доли агрономически ценных агрегатов – от 6,63 до 34,7%. Это служит признаком физической деградации гумусового слоя почвы.

При описании морфологических особенностей и определении последствий орошения выявлено ирригационное окарбоначивание средней части профиля почвы. Развитие этого процесса связано с дополнительным увлажнением, которое привело к мобилизации кальцита, содержащегося в почвообразующей породе и подтягиванию в межполивной период растворов в верхние горизонты почвы.

Содержание гумуса в горизонтах  $A'$  и  $A''$  в пределах обследованной площади полей варьировало от низкого до ниже среднего и изменялось от 3,13...5,46% до 2,81...5,19% соответственно. Количество ПОВ в горизонте  $A'$  составляло от 3659 до 1549 мг/кг почвы, что оценивалось как низкое и среднее содержание, в горизонте  $A''$  оно варьировало от очень низкого до высокого и изменялось от 894 до 4045 мг/кг. Содержание гумуса на таком уровне свидетельствует о частичной утрате почвой инертной части органического вещества вследствие эрозионного выноса почвенных частиц и перемешивания гумусового слоя с нижележащим менее гумусированным горизонтом, а также о потере трансформируемого органического вещества в результате его биологической минерализации [10]. При уменьшении его содержания ниже минимальной величины (для почв черноземного ряда 3%) восполнение органического вещества очень затруднено [11].

Реакция среды в гумусовом слое черноземно-луговой почвы варьировала в диапазоне от 6,55 до 7,30 ед. и соответствовала близкой к нейтральной и нейтральной. В средней и нижней части профиля она переходила в щелочной и сильнощелочной интервал, в связи с наличием карбонатов в почвенной массе. Максимальную аккумуляцию карбонатов и соответственно сильнощелочную реакцию среды (рН > 8,6 ед.) наблюдали в подпахотном слое в среднем на глубине 22...87 см и в нижней части профиля на глубине 127...194 см. Распределение карбонатов по профилю почвы связано с гидротермическими условиями и изменениями капиллярной каймы грунтовых вод по сезонам года.

При небольшом содержании гумуса и мощности гумусово-аккумулятивных горизонтов почвенно-поглощающий комплекс (ППК) отличался высокой

насыщенностью обменными катионами. Обменные катионы относительно равномерно распределялись по всему гумусовому слою, при тенденции к увеличению в горизонте  $A''$ . Гумусовый горизонт характеризовался повышенным, высоким и очень высоким содержанием обменно-поглощенного кальция (14,4...30,6 ммоль/100 г), его однородным распределением в верхнем горизонте, либо небольшим увеличением в горизонте  $A''$  и  $B_1$ . Отсутствие уменьшения содержания катиона в верхней части профиля объясняется влиянием близкого залегания карбонатов. Наличие обменного магния в поглощающем комплексе гумусового слоя почвы на обследованной территории было высокое и очень высокое и изменялось от 3,12 до 12,5 ммоль/100 г, что свидетельствует о неблагоприятном соотношении кальция и магния.

Соотношение этих катионов для почв черноземного ряда, рассматриваемое как оптимальное, составляет 5:1, а при усилении гидроморфизма оно сужается. Как правило, лугово-черноземные и луговые почвы отличаются от черноземов большей насыщенностью ППК магнием, что и отмечено для почв залежного участка. В почвах степной зоны содержание магния, по сравнению с почвами лесостепи, увеличивается, что было показано для черноземов юга Западной Сибири К.П. Горшениным и расценивалось им как реликт предшествующих стадий почвообразования, связанных с засолением, осолонцеванием и гидроморфизмом. Увеличение количества магния в ППК постирригационных почв может быть следствием раннего орошения. Неблагоприятное соотношение катионов кальция и магния в почве рассматривается как одна из причин ее неудовлетворительного структурного состояния.

Меньшую долю среди всех катионов занимал натрий (1,06...3,65%), что свидетельствует об отсутствии солонцеватости почвы. Его количество в гумусовом горизонте не превышало 1 ммоль/100 г почвы, а в горизонте  $B_1$  увеличивалось в 1,1...2,1 раза.

В результате исследований было выявлено развитие процесса засоления в нижней части профиля почвы и почвообразующей породы. Степень засоления изменялась от слабой до сильной и очень сильной. При этом ласебное засоление чаще всего соответствовало содовому-сульфатному и сульфатно-содовому типам, среднее, сильное и очень сильное – сульфатному, хлоридному и хлоридно-сульфатному. Количество солей и их распределение по профилю почвы зависело от гранулометрического состава. В супесчаных, легкосуглинистых и среднесуглинистых горизонтах сумма солей была меньше, чем в тяжелосуглинистых и глинистых. Для обследованной части солевого профиля характерна смена химизма солей по анионному и катионному составу в зависимости от глубины и растворимости. Гидрокарбонат-ионы присутствовали в количестве от 0,55 до 2,0 ммоль/100 г. Нормальная сода появлялась глубже 1 м (0,1...0,25 ммоль  $\text{CO}_3^{2-}$ /100 г), а ее следы – с 0,5 м. При нейтральном типе засоления содержание токсичных хлорид-ионов достигало 1,42...10,6 ммоль/100 г, сульфат-ионов, связанных с натрием и магнием, – 3,99...16,6 ммоль/100 г.

Распределение солей по профилю черноземно-луговой почвы было неравномерным. Максимальная их аккумуляция установлена в средней (72...92 см) и нижней (126...146 см) части почвенного профиля. По глубине залегания солевого горизонта были выделены солончакватые, глубокосолончакватые и глубокозасоленные почвенные разности. В солончакватой почве очень сильная и сильная степень засоления наблюдалась в слое 87...127 см, слои 67...87 и 127...167 см были

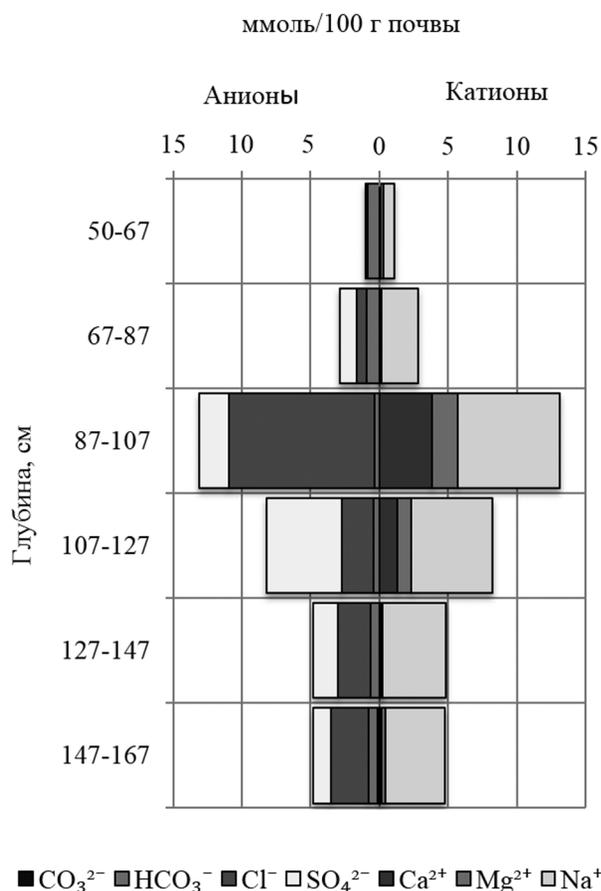


Рис. 3. Солевой профиль черноземно-луговой солончакватой почвы.

слабо засолены (рис. 3). В составе солей преобладали хлориды и сульфаты натрия, создавая хлоридный и хлоридно-сульфатный тип засоления. В слое 50...87 см в небольших количествах присутствовали щелочные соли, бикарбонаты магния и натрия, определяя хлоридно-содовый и содово-сульфатный натриевый. В аналогичных почвенных разностях наблюдалось преобладание сульфатов над хлоридами, вследствие чего тип засоления по анионному составу менялся на содово-сульфатный. В глубокозасоленной почве степень засоления менялась по слоям от слабой до сильной, а тип засоления – с сульфатного магниево-кальциевого на содово-сульфатный натриевый с появлением в составе солей карбонатов и бикарбонатов натрия (рис. 4).

Тип засоления почвы в разных точках опробования в пределах обследованной территории изменялся от сульфатного, сульфатно-хлоридного и хлоридного до содово-сульфатного и сульфатно-содового. Широкое варьирование по глубине залегания солей, типу и степени засоления почвы на обследованной территории обусловлено динамикой уровня грунтовых вод и капиллярной каймы, микрорельефом, особенностями состава и строения почвообразующих пород. Почва на большей части обследованной территории засолена в нижней части профиля и в породе, поэтому при использовании участка в богарных условиях или при создании дренажа угрозы засоления корнеобитаемого слоя не будет.

Угодья на обследованной территории можно использовать под пашню после восстановления физических свойств почвы. Для прекращения дальнейшего развития физической и химической деградации и охраны по-

чвенного покрова территории целесообразно провести перезалужение участка многолетними травами.

Культуртехническое состояние поля хорошее, заочкаренность и залесенность на участке отсутствовали.

Таким образом, неиспользуемые в сельскохозяйственном производстве поля, расположенные на территории Черлакского района представлены почвами низкого уровня плодородия, большая часть которых засолена и не имеет достаточной мощности гумусового горизонта для создания пахотного слоя. В связи с близким расположением полей с соленым озером Ульжай можно предположить, что процессы засоления и осолонцевания могут прогрессировать, поэтому целесообразно эту территорию использовать как естественную кормовую базу.

На залежном участке, расположенном в пределах Сибирской ОС Нововаршавского района, установлено активное развитие процессов дефляции, дегумификации и физической деградации гумусового слоя почвы. С учетом животноводческой специализации хозяйства и необходимости защиты почвенного покрова от развития негативных процессов его целесообразно использовать под культурный сенокос до восстановления показателей физических свойств почв до оптимального уровня. Для восстановления структуры и разуплотнения почвенной массы в гумусовом слое, повышения содержания гумуса, а также защиты почвы от дефляции необходимо провести перезалужение участка. Для создания сенокоса с густым и продуктивным травостоем рекомендован посев многолетних злаково-бобовых трав. После восстановления физических свойств почвы участок можно использовать под пашню в почвозащитных севооборотах.

Орошение территории не рекомендуется с целью предотвращения развития вторичного засоления в верх-

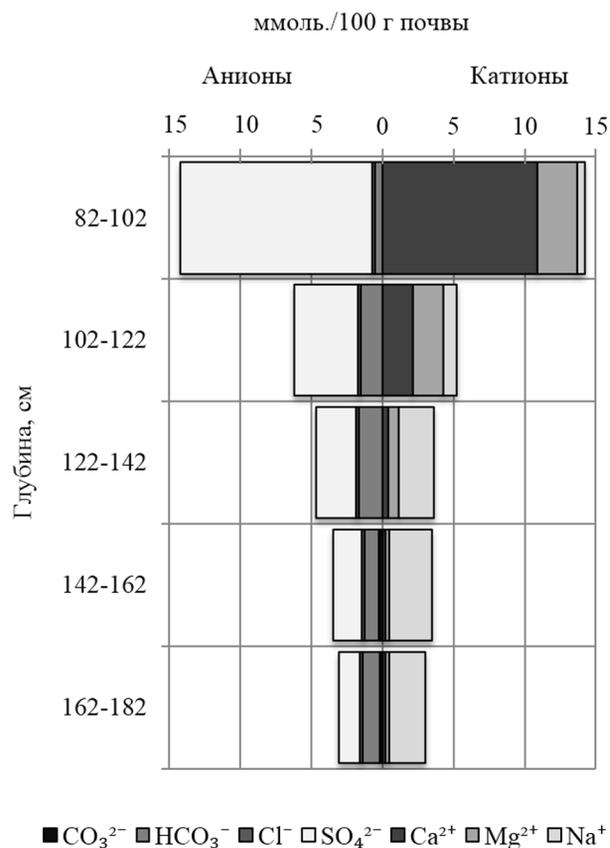


Рис. 4. Солевой профиль черноземно-луговой глубокосолончакватой почвы.

нем 0,5 м слое почвы. Повторное обводнение засоленных почвогрунтов на фоне отсутствия дренажа приведет к дальнейшему поднятию к дневной поверхности легко-растворимых солей, залегающих с 0,5...1,0 м, и засолению корнеобитаемого слоя и как следствие к эволюции почвы в солончаковую или солончак луговой.

#### Литература.

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.10.2021 г. № 1832 «О внесении изменений в Государственную программу эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации». URL: <https://docs.cntd.ru/document/603604725> (дата обращения: 11.11.2022).
2. Почвенно-агрохимическая характеристика Светлоярского орошаемого участка в Волгоградской области / И. Н. Горохова, Т. Н. Авдеева, Е. И. Панкова и др. // *Аридные экосистемы*. 2019. Т. 25. № 1 (78). С. 49–60. doi: 10.24411/1993-3916-2019-10044.
3. Сайб Е.А., Шапорица Н.А. Современное состояние и перспективы орошаемого земледелия юга Западной Сибири // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 4. С. 177–183.
4. Gorokhova I.N., Khitrov N.B., Kravchenko E.I. Changes in soil salinity at the Chervlenoe irrigation massive (Volgograd oblast) in a quarter of century // *Eurasian Soil Science*. 2020. Т. 53. № 4. С. 494–502. doi: 10.1134/s1064229320040067.
5. Хитров Н.Б., Горохова И.Н., Кравченко Е.И. Комбинация засоленных почв северного склона возвышенности Ергени после прекращения орошения // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2019. № 97. С. 52–90. doi: 10.19047/0136-1694-2019-97-52-90
6. Changes in the carbonate status of chernozems of Azov region upon their conversion from cropland to long-term fallow / A. M. Bulysheva, V. A. Rusakov, A. G. Ryumin, et al. // *Eurasian Soil Science*. 2020. Vol. 53. № 8. С. 1182–1194. doi: 10.1134/s1064229320080025.
7. Khitrov N.B., Rogovneva L.V. Five-year-long change in the salinity of soils and sediments on rice fields of the Karkinit lowland after cessation of irrigation // *Eurasian Soil Science*. 2021. Т. 54. № 1. С. 135–149. doi: 10.1134/s106422932101004x.
8. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // *Почвоведение*. 2004. № 8. С. 918–926.
9. Трофимов И.Т. Засоленные почвы Алтайского края, их мелиорация и пути сельскохозяйственного использования: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1990. 41 с.
10. Мамонтов В.Г., Родионова Л.П., Бруевич О.М. Уровни содержания лабильных гумусовых веществ в пахотных почвах // *Известия ТСХА*. 2009. № 4. С. 121–123.
11. Козут Б.М. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // *Почвоведение*. 2012. №9. С. 944–952.

Поступила в редакцию 09.08.2022

После доработки 21.09.2022

Принята к публикации 01.11.2022

## Зоотехния и ветеринария

УДК: 573.6:[636.5.033+577.121/.128]

DOI: 10.31857/S2500262722060096, EDN: МКНАНУ

## ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СЫВОРОТКИ КРОВИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ НА ФОНЕ РАЗЛИЧНОЙ НУТРИЕНТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РАЦИОНА

С.В. Лебедев, доктор биологических наук, Т.В. Казакова, О.В. Маршинская

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН,  
460000, Оренбург, ул. 9 Января, 29  
E-mail: vaisvais13@mail.ru

*Исследования проводили с целью оценки элементного состава сыворотки крови цыплят-бройлеров на фоне различной нутриентной обеспеченности рациона. Семидневных цыплят-бройлеров (n=120) разделяли на четыре группы. Птица в контрольной получала основной рацион, I, II, III опытных групп – рацион с высоким содержанием белка, углеводов и жиров, соответственно. Динамику ростовых показателей оценивали еженедельно. По окончании эксперимента проводили забор крови для биохимического и элементного анализа. Биохимический анализ осуществляли на автоматическом биохимическом анализаторе, уровни химических элементов в сыворотке птиц оценивали методом спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Высокобелковая диета сопровождалась снижением массы тела птиц, холестерина, фиксировали повышение уровня Ca, Co и Si на фоне снижения P, Cr, Cu, Zn и B. Высокоуглеводная диета не оказывала значительного эффекта на физиологические параметры птиц, однако отмечали достоверное повышение уровня глюкозы на фоне тенденции к снижению содержания альбумина и триглицеридов; наблюдали изменения в кальций-фосфорном обмене, а также снижение содержания ряда микроэлементов – Cr, Mn, Se, I и Cu. Высокожировая диета приводила к увеличению массы, повышению уровня глюкозы, холестерина и триглицеридов, отмечали снижение содержания Mg, Cr и Fe на фоне достоверного увеличения Cu, Zn и Si. В целом, на фоне используемых диет у бройлеров произошли изменения в биохимическом и минеральном обмене. Это может запустить каскад нарушений, приводящих к снижению скорости роста и минерализации костной ткани птиц.*

## EVALUATION OF THE ELEMENTAL COMPOSITION OF THE BLOOD SERUM OF BROILER CHICKENS AGAINST THE BACKGROUND OF DIFFERENT NUTRIENT SUPPLY OF THE DIET

Lebedev S.V., Marshinskaia O.V., Kazakova T.V.

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the RAS,  
460000, Orenburg, ul. 9 Yanvarya, 29  
E-mail: vaisvais13@mail.ru

*The aim of the study was to evaluate the elemental composition of the blood serum of broiler chickens against the background of different nutritional security of the diet. Seven-day-old broiler chickens (n=120) were divided into several groups: the control group received the main diet, the birds of the I, II, III experimental groups received a diet high in protein, carbohydrates and fats, respectively. The dynamics of growth indicators were evaluated weekly. At the end of the experiment, blood sampling was carried out for biochemical and elemental analysis. Biochemical analysis was carried out on an automatic biochemical analyzer, the levels of chemical elements in the serum of birds were evaluated using inductively coupled plasma spectrometry. The high-protein diet was accompanied by a decrease in body weight of birds, cholesterol, an increase in Ca, Co and Si levels was recorded against the background of a decrease in P, Cr, Cu, Zn and B. The high-carbohydrate diet did not have a significant effect on the physiological parameters of birds, however, there was a significant increase in glucose levels against the background of a tendency to decrease the level of albumin and triglycerides; changes in calcium-phosphorus metabolism were detected, a decrease in the content of a number of trace elements – Cr, Mn, Se, I and Cu was recorded. A high-fat diet led to an increase in weight, an increase in glucose, cholesterol and triglycerides, a decrease in Mg, Cr and Fe levels was noted against the background of a significant increase in Cu, Zn and Si. Thus, against the background of the consumption of the diets used in broilers, changes in biochemical and mineral metabolism were revealed. Such violations can trigger a cascade of violations, leading to a decrease in the growth rate and mineralization of the bone tissue of birds.*

**Ключевые слова:** цыплята-бройлеры, кормление, сыворотка крови, микроэлементы, минеральный обмен.

**Key words:** broiler chickens, feeding, blood serum, trace elements, mineral metabolism.

Птицеводство – один из наиболее значимых сегментов сельскохозяйственного сектора во всем мире. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций, производство мяса птицы, в первую очередь бройлеров, к 2050 г. может достичь 181 млн т (для сравнения, в 2007 г. объем производства составлял около 82 т) [1]. Такое увеличение производства объясняется, главным образом, ростом населения, особенно в развивающихся странах [2].

Следует отметить, что за последние 60 лет птицеводство значительно продвинулось вперед – стандарты разведения бройлеров постоянно улучшались в течение

всего этого периода, и сейчас живая масса бройлеров в возрасте 33...35 дней может достигать 2,6 кг [3]. Ввиду устойчивого роста производства разрабатываются новые подходы к сохранению его темпов с удешевлением кормов для достижения более высоких пороговых значений продуктивности, увеличения количества и качества производимой продукции, снижения негативного воздействия на окружающую среду, а также более экономичного производства мяса [4]. Постоянный рост цен на компоненты питания птицы и, как следствие, снижение прибыли сельхозтоваропроизводителей указывает на необходимость разработки сбалансированного, эф-

\*работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта No.21-16-00009.

фективного и одновременно экономически выгодного корма. В связи с этим сейчас разрабатывают всё новые и новые рационы, появляются альтернативные источники корма для птиц [5]. В разряд эффективных компонентов рациона в качестве главного структурного материал организма входит протеин [6]. Углеводы и жиры, ввиду их способности усиливать метаболизм, важны для быстрорастущих животных и изменение их содержания в рационе может повлиять на ряд метаболических процессов и привести к нарушению баланса микрофлоры кишечника [7]. При этом результаты исследований по изучению пользы или вреда диет с высоким и низким содержанием сырого протеина и аминокислот в корме до сих пор противоречивы [8].

В этой связи особую актуальность имеет определение элементного статуса, как показателя, характеризующего эффективность кормления бройлеров. Подобные сведения важны для разработки новых методов диагностики состояния здоровья птиц, которые могут в дальнейшем применяться в производстве. Так, элементный состав крови способен изменяться под влиянием кратковременных воздействий, связанных с текущим поступлением микроэлементов с пищей или, например, с приемом препаратов [9]. В свою очередь, микроэлементы играют центральную роль во многих метаболических процессах и отражают состояние организма.

В связи с изложенным, цель исследования – оценить элементный состав сыворотки крови цыплят-бройлеров на фоне различной нутриентной обеспеченности рациона.

**Методика.** Экспериментальные исследования проводили в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных»), протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009). Все процедуры над животными выполняли в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН.

Объект исследования цыплята-бройлеры кросса Арбор Айкросс (ЗАО «Птицефабрика Оренбургская»). Работу проводили в лаборатории биологических испытаний и экспертиз ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (аттестат аккредитации Госстандарта России – РА.RU21ПФ59 от 02.12.2015 г.). После подготовительного периода с 7-суточного возраста цыплят-бройлеров разделили на четыре группы по 30 голов в каждой. Контрольная группа получала рацион, сбалансированный по рекомендациям ВНИТИП (2014). В рационе I опытной группы было увеличено содержание белка путем включения 10 % казеина от сухого вещества (СВ) рациона, во II опытной – углеводов (10 % декстрозы от СВ рациона), III – жира (10 % подсолнечного масла от СВ рациона). Цыплята имели свободный доступ к корму и воде.

Согласно рекомендациям по питанию, цыплят-бройлеров в период эксперимента выращивали на трехфазной диете. Стартовый рацион давали с 0 по 10 день, ростовой – с 11 по 20 день и финишный – с 21 по 35 день. В состав корма входили следующие ингредиенты: пшеница, ячмень, кукуруза, соя, соевый шрот, подсолнечный шрот, подсолнечное масло, известняковая мука, поваренная соль, мясная мука, аминокислоты, витаминно-минеральный премикс.

Длительность эксперимента составила 28 дней. Птицу содержали в клетках КБ-20-2я. Температурный режим и относительная влажность соответствовала нормам, рекомендуемым для выращивания бройлеров, программа фотопериода – Европейскому регламенту социального обеспечения 43/2007 (Директива Совета 2007/43/ЕС, устанавливающая минимальные правила защиты цыплят, содержащихся для производства мяса).

Динамику ростовых показателей оценивали путём индивидуального взвешивания птиц на 7, 14, 21, 28 и 35 сутки эксперимента до кормления. На основании результатов взвешиваний рассчитывали среднесуточный прирост. Коэффициент конверсии корма вычислял на 35-й день эксперимента. Смертность регистрировали при ее возникновении, общее состояние здоровья контролировали в течение всего экспериментального периода.

Отбор проб крови у птиц проводили в утренние часы до кормления из подкрыльцовой вены. Для забора крови использовали вакуумные пробирки с активатором свертывания крови и гелем для отделения эритроцитарной массы (Greiner Bio-One International AG, Австрия). Пробирки Эппендорфа с сывороткой подвергали низкотемпературному замораживанию (-70 °C) и хранили в низкотемпературном холодильнике 803CV (Thermo Fisher Scientific, Германия) до проведения анализа. Для анализа использовали образцы сыворотки крови без признаков гемолиза.

Биохимический анализ сыворотки крови проводили на автоматическом биохимическом анализаторе CS-T240 («Dirui Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих биохимических наборов Randox (США). Он включал определение глюкозы, общего белка, альбумина, общего холестерина и триглицеридов. Исследования выполняли в ЦКП БСТ РАН.

Для проведения элементного анализа сыворотки крови полученные образцы сыворотки разбавляли (1:15; в/в) подкисленным (pH = 2,0) разбавителем, состоящим (в/в) из 1 % 1-бутанола (Merck KGaA, Дармштадт, Германия), 0,1 % Triton X-100 (Sigma-Aldrich, Co., Сент-Луис, США) и 0,07 % HNO<sub>3</sub> (Sigma-Aldrich, Co., Сент-Луис, США) в дистиллированной деионизированной воде (18 МОМ см<sup>-1</sup>) (Merck Millipore, Биллерика, Массачусетс, США). Последующее определение макроэлементов (Ca, K, Mg, Na, P); жизненно необходимых микроэлементов (Co, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mn, Se, Si, V, Zn) и токсичных микроэлементов (As, B, Cd, Hg, Ni, Pb, Sn, Sr) в образцах проводили с использованием спектрометра NexION 300D (Perkin Elmer, США). Эти аналитические процедуры выполняли в лаборатории Центра биотической медицины (Москва, Россия).

Статистическую обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики с использованием статистического пакета «STATISTICA 10» (StatSoft Inc., США). Хранение результатов исследования и первичную обработку материала осуществляли в оригинальной базе данных «Excel 2010» (Microsoft, США). По результатам проверки с использованием критерия согласия Шапиро-Уилка гипотеза о принадлежности данных нормальному распределению была отклонена во всех случаях с вероятностью 95 %, что обосновало применение непараметрических процедур обработки статистических совокупностей (U-критерий Манна-Уитни). Полученные данные представлены в виде медианы (Me) и 25...75-ого перцентилей (Q<sub>25</sub>-Q<sub>75</sub>). Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали достигнутый уровень значимости (p), при этом критический уровень значимости принимался меньшим или равным 0,05. Взаимосвязи между параметрами оценивали методом ранговых корреляций Спирмена. Для

**Табл. 1. Физиологические показатели цыплят-бройлеров при различной нутриентной обеспеченности рациона, г\***

День	Контрольная группа	I опытная группа	II опытная группа	III опытная группа
<b>Масса тела, г</b>				
7	186,1 (180,2...188,5)	186,0 (176,7...189,6)	180,0 (175,0...182,6)	183,0 (181,8...186,5)
14	451,3 (448,5...456,5)	445,3 (421,5...458,5)	452,0 (451,2...458,0)	485,7 (479,0...489,5) <sup>c</sup>
21	862,3 (855,0...866,5)	815,1 (801,7...835,5) <sup>a</sup>	863,1 (858,0...864,4)	895,2 (893,7...895,9) <sup>cc</sup>
28	1447,7 (1429,1...1487,0)	1161,0 (1057,1...1265,7)	1415,0 (1413,0...1417,0)	1509,5 (1500,0...1516,6)
35	2202,0 (2109,5...2210,5)	1922,2 (1860,5...2174,1) <sup>a</sup>	2107,5 (2104,0...2109,5)	2467 (2292...2522) <sup>c</sup>
<b>Среднесуточный прирост, г/сут</b>				
7...35	72,0 (68,8...72,2)	62,1 (58,4...70,04) <sup>aa</sup>	68,9 (68,7...69,0)	81,2 (75,2...83,5) <sup>c</sup>
<b>Потребление корма, г/гол</b>				
7...35	4441,0 (4105,5...4907,6)	4115,2 (4001,0...4457,5)	4224,7 (4988,0...4333,6)	4003,5 (4789,2...4149,5) <sup>c</sup>
<b>Коэффициент конверсии корма</b>				
35	2,2 (1,9...2,3)	2,27 (2,0...2,3)	2,2 (2,0...2,3)	1,75 (1,6...2,0) <sup>c</sup>

\*примечание (здесь и далее): а – (p≤0,05); aa – (p≤0,01); aaa – (p≤0,001) – p-уровень при сравнении I опытной группы с контрольной; b – (p≤0,05); bb – (p≤0,01); bbb – (p≤0,001) – p-уровень при сравнении II опытной группы с контрольной; c – (p≤0,05); cc – (p≤0,01); ccc – (p≤0,001) – p-уровень при сравнении III опытной группы с группой.

определения тесноты связи между изучаемыми признаками вычисляли коэффициента корреляции (r), которые оценивали следующим образом: менее 0,3 – слабая связь, от 0,3 до 0,5 – умеренная, от 0,5 до 0,7 – значительная, от 0,7 до 0,9 – сильная и более 0,9 – очень сильная [10].

**Результаты и обсуждение.** В I опытной группе фиксировали меньшую живую массу бройлеров на протяжении всего эксперимента, по сравнению с контрольной. Однако статистически достоверные отличия наблюдали только на 21 и 35 день эксперимента – ниже более чем на 5 % (p≤0,05) и 13 % (p≤0,05). Следует отметить, что среднесуточный прирост птиц первой опытной группы также был достоверно ниже на 14 % (p≤0,01) (табл. 1).

У цыплят-бройлеров II опытной группы живая масса в первые недели эксперимента практически не отличалась от контрольных значений, однако к концу исследования наблюдалась тенденция к снижению, как массы тела, так и среднесуточного прироста.

У птиц III опытной группы отмечали наиболее значительные изменения массы – на 14-ый день эксперимента она была выше, чем в контроле, на 8 % (p≤0,03), на 21 день – на 4 % (p≤0,002), на 35 день – на 12 % (p≤0,05). Среднесуточный прирост также статистически значимо превышал величину этого показателя в контроле на 13 % (p≤0,05).

В I и II опытных группах наблюдали тенденцию к уменьшению количества потребляемого корма, относительно контроля, у птиц III опытной группы уровень его потребления достоверно снижался на 10 % (p≤0,04). Следует отметить, коэффициент конверсии корма статистически достоверно снижался только в III опытной группе на 0,45 единиц.

Включение в рацион птиц дополнительного казеина способствовало снижению холестерина (на 14 %, p=0,05) в сыворотке крови птиц опытной группы, также отмечали тенденцию к уменьшению содержания триглицеридов (табл. 2). При введении в рацион бройлеров сахарозы наблюдали статистически достоверное повышение уровня глюкозы крови на 7 % (p=0,02) на фоне тенденции к снижению содержания альбумина и триглицеридов. Потребление рациона с повышенной концентрацией жира приводило к увеличению уровня глюкозы на 4 % (p=0,05), холестерина – на 3 % (p=0,01), триглицеридов – на 60 % (p=0,03).

По результатам элементного анализа сыворотки крови птиц на 35 день эксперимента у бройлеров I опытной группы отмечали изменения в минеральном обмене, которые характеризовались достоверным повышением уровня Ca, относительно контроля, на 22 % (p=0,01), Co – на 217 % (p=0,003), Si – на 60 % (p=0,05). На этом фоне содержание ряда макро- и микроэлементов снижалось: P – на 44 % (p=0,01), Cr – на 18 % (p=0,02), Zn – на 5 % (p=0,02), Cu – на 14 % (p=0,05) и B – на 17 % (p=0,02) (табл. 3).

Во II опытной группе также наблюдали изменения в кальций-фосфорном обмене, которые сопровождались статистически достоверным повышением уровня Ca, по сравнению с величиной этого показателя в контроле, на 14 % (p=0,003) на фоне снижения P на 26 % (p=0,02). Отмечали достоверное уменьшение содержания ряда эссенциальных микроэлементов: Cr – на 21 % (p=0,05), Cu – на 18 % (p=0,002), I – на 34 % (p=0,01), Mn – на 84 % (p=0,02) и Se – на 21 % (p=0,03).

У птиц III опытной группы наблюдали уменьшение уровня Mg на 36 % (p=0,003), Cr – на 33 % (p=0,05),

**Табл. 2. Биохимические показатели крови цыплят-бройлеров при различной нутриентной обеспеченности рациона**

Показатель	Контрольная группа	I опытная группа	II опытная группа	III опытная группа
Глюкоза, ммоль/л	11,57 (10,03...11,87)	11,96 (11,02...12,2)	12,36 (11,98...14,04) <sup>b</sup>	12,09 (11,89...13,5) <sup>c</sup>
Общий белок, г/л	30,4 (28,3...32,8)	29,89 (26,01...33,3)	29,08 (27,02...31,2)	27,6 (26,0...29,4)
Альбумин, г/л	16,0 (14,6...17,5)	16,04 (13,9...17,9)	14,33 (12,2...15,8)	13,34 (12,8...15,1)
Холестерин, моль/л	3,36 (3,1...3,89)	2,89 (2,7...3,1) <sup>a</sup>	3,3 (2,9...3,7)	3,46 (3,23...3,9) <sup>cc</sup>
Триглицериды, ммоль/л	0,35 (0,27...0,54)	0,25 (0,21...0,33)	0,31 (0,25...0,44)	0,56 (0,48...0,66) <sup>c</sup>

Табл. 3. Элементный состав сыворотки крови цыплят-бройлеров при различной нутриентной обеспеченности рациона

Элемент	Контрольная группа	I опытная группа	II опытная группа	III опытная группа
Ca	0,117 (0,11...0,124)	0,143 (0,138...0,144) <sup>aa</sup>	0,133 (0,129...0,138) <sup>bb</sup>	0,12 (0,118...0,122)
K	0,257 (0,242...0,265)	0,22 (0,205...0,221)	0,215 (0,212...0,218)	0,233 (0,228...0,236)
Mg	0,0294 (0,0292...0,0297)	0,0285 (0,0276...0,029)	0,0287 (0,0284...0,0292)	0,0187 (0,0185...0,0189) <sup>cc</sup>
Na	3,01 (2,63...3,08)	2,9 (2,79...3,06)	3,04 (3,0...3,08)	3,03 (2,78...3,06)
P	0,249 (0,24...0,249)	0,139 (0,135...0,147) <sup>aa</sup>	0,183 (0,18...0,191) <sup>b</sup>	0,2 (0,185...0,209)
Co	0,0017 (0,0014...0,0018)	0,0054 (0,005...0,0056) <sup>aa</sup>	0,0027 (0,0025...0,0029)	0,0035 (0,0033...0,0037)
Cr	0,0086 (0,0083...0,0091)	0,0069 (0,0063...0,0074) <sup>a</sup>	0,0068 (0,0064...0,008) <sup>b</sup>	0,0058 (0,0045...0,0061) <sup>c</sup>
Cu	0,143 (0,139...0,146)	0,124 (0,105...0,128) <sup>a</sup>	0,117 (0,113...0,118) <sup>bb</sup>	0,161 (0,154...0,162) <sup>cc</sup>
Fe	1,531 (1,495...1,558)	1,67 (1,634...1,7)	1,655 (1,621...1,675)	1,36 (1,259...1,4) <sup>cc</sup>
I	0,05 (0,046...0,053)	0,062 (0,0603...0,064)	0,033 (0,03...0,035) <sup>bb</sup>	0,018 (0,016...0,018)
Mn	0,0092 (0,0088...0,0092)	0,0088 (0,0077...0,0089)	0,0014 (0,0012...0,0015) <sup>bb</sup>	0,008 (0,007...0,0086)
Se	0,188 (0,178...0,189)	0,174 (0,162...0,178)	0,148 (0,133...0,154) <sup>b</sup>	0,176 (0,169...0,178)
Zn	2,19 (2,13...2,22)	2,07 (1,98...2,11) <sup>a</sup>	2,49 (2,4...2,55)	2,59 (2,34...2,66) <sup>c</sup>
B	0,46 (0,43...0,47)	0,38 (0,37...0,39) <sup>a</sup>	0,44 (0,4...0,46)	0,36 (0,33...0,38)
Ni	0,0071 (0,0069...0,0074)	0,006 (0,0054...0,007)	0,005 (0,0043...0,0054)	0,0078 (0,0071...0,0092)
V	0,0041 (0,0039...0,0043)	0,0044 (0,0035...0,0049)	0,0052 (0,0047...0,0054)	0,0051 (0,0049...0,0055)
Li	0,0182 (0,0169...0,0187)	0,0065 (0,0057...0,008)	0,0082 (0,0074...0,0083)	0,0184 (0,0178...0,0188)
Si	51,12 (50,44...52,62)	81,64 (78,81...85,35) <sup>a</sup>	78,36 (77,82...78,53)	93,57 (91,95...94,08) <sup>c</sup>
As	0,0033 (0,0031...0,0037)	0,0037 (0,0034...0,0039)	0,0034 (0,0031...0,0037)	0,0034 (0,0027...0,0036)
Sr	0,13 (0,128...0,132)	0,119 (0,117...0,121)	0,119 (0,109...0,122)	0,081 (0,076...0,083)

Fe – на 11 % (p=0,01), в то время как содержание Cu в крови достоверно возрастало на 13 % (p=0,003), Si – на 83 % (p=0,003) и Zn – на 18 % (p=0,05).

Корреляционный анализ позволил выявить «элементы-катализаторы» белкового, жирового и углеводного обмена. Для I опытной группы, получавшей высокобелковый рацион, это были P, K, Co, B и Li; II опытной группы, получавшей высокоуглеводный рацион – P, Cr, Mn и Li; III опытной группы, получавшей высокожировой рацион – Fe, Cu.

Биохимические показатели крови достоверно коррелировали с содержанием ряда макро- и микроэлементов. В частности, уровень общего белка в сыворотке крови бройлеров первой опытной группы достоверно ассоциировался с P (r=0,8; p=0,003), K (r=0,78; p=0,05), Co (r=0,87; p=0,05), B (r=0,7; p=0,01) и Li (r=0,86; p=0,02). Содержание глюкозы в сыворотке крови птиц второй опытной группы статистически значимо коррелировали с концентрацией P (r=0,7; p=0,02), Cr (r=0,8; p=0,01), Mn (r=0,77; p=0,003) и Li (r=0,73; p=0,003). Уровень общего холестерина у бройлеров третьей опытной группы коррелировал с Fe (r=0,88; p=0,01) и Cu (r=0,86; p=0,01).

Результаты нашего исследования демонстрируют, что увеличение в рационе бройлеров белка оказывало неблагоприятный эффект на массу тела птиц и ее среднесуточный прирост, при этом снижалось количество потребляемого корма. Полученные данные согласуются с данными ряда исследователей, которые фиксировали снижение массы тела экспериментальных животных при потреблении высокобелковой диеты [11]. Возможно, уменьшение количества потребляемого корма связано с повышением сытости бройлеров. При оценке биохимических показателей крови у птиц I опытной

группы отмечали снижение содержания холестерина и триглицеридов, что, возможно, связано с дополнительной нагрузкой на пищеварительную систему и функциональную активность печени [12]. Происходили изменения и в минеральном обмене птиц, которые сопровождались достоверным повышением уровня Ca, Co и Si на фоне снижения P, Cr, Cu, Zn и B в сыворотке крови. Выявлялись статистически значимые корреляционные связи между содержанием общего белка и P, K, Co, B и Li крови. Таким образом, результаты исследований демонстрируют изменения в первую очередь в фосфорно-кальциевом обмене. По мнению ряда авторов, высокобелковая диета вызывает увеличение всасывания кальция в кишечнике. Как следствие, происходит повышение его концентрации в крови. Кальций, в свою очередь, может действовать как антагонист, затрудняя усвоение таких макро- и микроэлементов, как фосфор, магний, натрий, калий, медь и цинк, что и проследивалось в нашем исследовании – достоверное снижение Cu и Zn [13]. Как известно, поддержание баланса уровня кальция и фосфора необходимо всем позвоночным для обеспечения различных биологических процессов, включая формирование костей, свертывание крови, пролиферацию клеток и поддержание энергетического метаболизма [14]. Однако исследователи не рекомендуют использовать сывороточные показатели Ca и P в качестве параметров оценки элементного статуса бройлеров [15]. Это связано с тем, что их концентрация в крови бройлеров находится в достаточно узком физиологическом диапазоне независимо от уровня Ca в рационе [16]. Напротив, наибольшие изменения в содержании затрагивали кобальт, отмечена достоверная сильная корреляционная взаимосвязь между уровнем

этого элемента и общего белка. Как известно, кобальт – важный микроэлемент, участвующий в синтезе витамина  $B_{12}$ , будучи его кофактором, он также необходим для образования аминокислот и некоторых белков. Кроме того, у птиц этой группы отмечали снижение содержания хрома. Известно, что Cr оказывает воздействие на абсорбцию и метаболизм белка [17]. Известно, что дефицит хрома у животных приводит к нарушению включения аминокислот (глицин, серин, метионин) в сердечную мышцу. В противоположность, в одном из исследований отмечено повышенное поглощение аминокислот и глюкозы скелетными мышцами животных, которым в рацион дополнительно добавляли пиколинат хрома. Потенциальное улучшение включения аминокислот благотворно сказывалось на общем отложении белка [18]. Таким образом, на фоне высокобелковой диеты у бройлеров выявлялись изменения в минеральном обмене. Нарушение элементного гомеостаза может запустить каскад изменений, приводящий к снижению скорости роста и минерализации костной ткани птиц [16].

Дополнительное добавление в корм углеводов не оказывало значительного влияния на физиологические параметры птиц II опытной группы (масса тела, среднесуточный прирост, потребление корма). Однако была отмечена тенденция к снижению величин этих показателей, по сравнению с контролем. При этом биохимический состав крови характеризовался достоверным повышением уровня глюкозы на фоне тенденции к снижению уровня альбумина и триглицеридов. Это согласуется результатами исследований, проведенных на различных экспериментальных моделях животных. Оценка элементного статуса птиц показала изменения в кальций-фосфорном обмене, снижение содержания таких микроэлементов, как Cr, Mn, Se, I и Cu. При этом сильные ассоциации наблюдались между глюкозой и P, Cr, Mn и Li. Так, хром необходим для поддержания нормального углеводного обмена, будучи активатором фактора толерантности к глюкозе, отвечающего за повышение эффективности метаболической активности инсулина [19]. Увеличение потребления простых сахаров приводит к росту потери этого минерального элемента [20]. Марганец не менее важен для регуляции углеводного обмена. Снижение его уровня способствует структурным и физиологическим нарушениям, включая уменьшение эффективности системы антиоксидантной защиты, формирование пороков развития скелета и хряща, нарушение репродуктивной функции. Полученные данные согласуются с результатами других исследований, в которых также наблюдали снижение уровня эссенциальных элементов на фоне нарушения углеводного обмена [21].

Потребление рациона с высоким содержанием жира приводило к увеличению массы птиц и их среднесуточного привеса при одновременном снижении потребления корма и коэффициента его конверсии. Несмотря на выявленный потенциал использования этого рациона, детальное рассмотрение результатов биохимического и элементного анализа крови выявило у бройлеров ряд отклонений в метаболических процессах. Потребление рациона с повышенным содержанием жира способствовало увеличению уровня глюкозы, холестерина и триглицеридов. Похожие результаты отмечали в исследованиях с использованием лабораторных животных. Так, в одной из работ сообщалось о достоверном повышении уровня глюкозы и триглицеридов у крыс, потреблявших рацион 45 % жирности [22]. Полученные в нашем исследовании данные наглядно демонстрируют изменения в содержании макро- и микроэлементов в

сыворотке крови бройлеров на высокожировой диете. Проведенный анализ выявил снижение уровня Mg, Cr и Fe на фоне достоверного увеличения Cu, Zn и Si. Кроме того, обнаруживались сильные корреляционные связи между общим холестерином и Cu, Fe. По результатам анализа литературы, при нарушении липидного обмена часто наблюдается дефицит Mg. Сообщается, что его уровни в сыворотке тесно связаны с метаболическими факторами риска при ожирении [23]. На фоне нарушения липидного обмена в ряде исследований отмечалось снижение концентрации железа в сыворотке крови, что возможно было связано с хронической воспалительной реакцией и последующей гиперпродукцией гепсидина [24]. Дальнейший анализ показал повышение уровня меди в сыворотке птиц, что согласуется с результатами многих исследований, демонстрирующих положительную связь между повышенным содержанием меди в сыворотке и ожирением [25]. В этих исследованиях отмечено, что повышенные уровни Cu в сыворотке связаны с содержанием лептина и инсулина.

Таким образом, результаты эксперимента свидетельствуют, что на фоне высокобелковой, высокоуглеводной и высокожировой диет возникают нарушения в минеральном обмене бройлеров, которые могут привести в свою очередь к неблагоприятным последствиям, а именно к снижению продуктивности и производительности птиц.

Дополнительное включение питательных компонентов в рацион цыплят-бройлеров оказывает воздействие на течение обменных процессов в организме. Стабильность, как биохимического, так и минерального статуса – неотъемлемое условие нормального функционирования организма. Результаты исследования свидетельствуют, что существует определенный порог, превышение которого уже не является нормой, а, следовательно, нельзя ожидать положительного результата с точки зрения роста и других показателей производительности, а самое главное состояния здоровья птиц. На основе полученных данных можно предположить, что определение уровня Co, Cr, Mn, Fe и Cu в сыворотке крови птиц имеет потенциал в качестве показателей состояния белкового, углеводного и липидного обменов сельскохозяйственной птицы.

### Литература

1. Kidd M.T., Maynard C.W., Mullenix G.J. *Progress of amino acid nutrition for diet protein reduction in poultry // Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021. No. 12(1). P. 45. URL: <https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40104-021-00568-0> (дата обращения: 21.07.2022). doi: 10.1186 / s40104-021-00568-0
2. Neves D.P., Banhazi T.M., Nääs I.A. *Feeding Behaviour of Broiler Chickens: a Review on the Biomechanical Characteristics // Brazilian Journal of Poultry Science*. 2014. No. 16(2). P. 1-16. URL: <https://www.redalyc.org/pdf/1797/179731466001.pdf> (дата обращения: 20.07.2022). doi: 10.1590/1516-635x16021-16
3. Ravindran V., Abdollahi M.R. *Nutrition and Digestive Physiology of the Broiler Chick: State of the Art and Outlook // Animals (Basel)*. 2021. No. 11(10). P. 2795. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/10/2795> (дата обращения: 18.07.2022). doi: 10.3390/ani11102795
4. *An overview of health challenges in alternative poultry production systems / R.E. Jeni, D.K. Dittoe, E.G. Olson, et al. // Poultry Science*. 2021. No. 100(7). P. 101173. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/>

- PMC8170424/ дата обращения: 18.07.2022). doi: 10.1016/j.psj.2021.101173
5. Digestibility of fractionated green biomass as protein source for monogastric animals / L. Stødtkilde, V.K. Damborg, H. Jørgensen, et al. // *Animal*. 2019. No. 13(9). P. 1817-1825. doi: 10.1017/S1751731119000156
  6. Babatunde O.O., Park C.S., Adeola O. Nutritional Potentials of Atypical Feed Ingredients for Broiler Chickens and Pigs // *Animals (Basel)*. 2021. No. 11(5). P. 1196. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/11/5/1196> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.3390/ani11051196
  7. Balanced nutrient density for broiler chickens using a range of digestible lysine-to-metabolizable energy ratios and nutrient density: Growth performance, nutrient utilisation and apparent metabolizable energy / R. Berekatain, L.F. Romero, J.O. Sorbara, et al. // *Animal Nutrition*. 2021. No. 7. P. 430-439. doi: 10.1016/j.aninu.2020.12.003
  8. Physiological growth trend of current meat broilers and dietary protein and energy management approaches for sustainable broiler production / P. Maharjan, D.A. Martinez, J.T. Weil, et al. // *Animal: an international journal of animal bioscience*. 2021. P. 100284. URL: [https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1751-7311\(21\)00127-0](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1751-7311(21)00127-0) (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.1016/j.animal.2021.100284
  9. Информативность биосубстратов при оценке элементного статуса сельскохозяйственных животных (обзор) / А.В. Харламов, А.Н. Фролов, О.А. Завьялов и др. // *Животноводство и кормопроизводство*. 2014. Т. 4. № 87. С. 53-58. doi:10.33284/2658-3135-102-4-43
  10. Зайцев В.М. Прикладная медицинская статистика. Учебно-практическое пособие. М.: Фолиант, 2006. 432 с.
  11. A High-Protein Diet Reduces Weight Gain, Decreases Food Intake, Decreases Liver Fat Deposition, and Improves Markers of Muscle Metabolism in Obese Zucker Rats / W.W. French, S. Dridi, S.A. Shouse, et al. // *Nutrients*. 2017. No. 9(6). P. 587. URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/9/6/587> (дата обращения: 16.07.2022). doi:10.3390/nu9060587
  12. High and low dietary energy and protein levels for broiler chickens / F.A. Dairo, A.O. Adesehinwa, T.A. Oluwasola, et al. // *African Journal of Agricultural Research*. 2010. No. 5. P. 2030-2038.
  13. Organic trace minerals and calcium levels in broilers' diets to 21 days old / B.D. Faria, L.M. Silva, V. Ribeiro Junior, et al. // *Scientia Agricola*. 2020. No. 77. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/b346/28a04bebbf94ff58890adc15ab796dc217fc.pdf> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.1590/1678-992X-2018-0071
  14. Transcriptional responses in jejunum of two layer chicken strains following variations in dietary calcium and phosphorus levels / H. Reyer, M. Oster, S. Ponsuksili, et al. // *BMC Genomics*. 2021. No. 22(1). P. 485. URL: <https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-021-07814-9> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.1186/s12864-021-07814-9
  15. Dietary calcium requirements of broilers fed a conventional corn-soybean meal diet from 1 to 21 d of age / S.J. Bai, Y. Yang, X. Ma, et al. // *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2021. No. 13(11). P. 33-39. doi: 10.21203/rs.3.rs-917394/v1
  16. Calcium and phosphorus metabolism in broilers: Effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility / M. Proszkowiec-Weglarz, R. Angel // *The Journal of Applied Poultry Research*. 2013. No. 22. P. 609-627. doi: 10.3382/JAPR.2012-00743
  17. Low- and high-carbohydrate diets: body composition differences in rats / R.L. McNeel, H.J. Mersmann // *Obesity Research*. 2005. No. 13(10). P. 1651-1660. doi: 10.1038/oby.2005.203
  18. Pechová A., Pavlata L. Chromium as an essential nutrient: a review // *Veterinarni Medicina*. 2018. No. 52. P. 1-18. URL: <https://www.agriculturejournals.cz/web/vetmed.htm?volume=52&firstPage=1&type=publishedArticle> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.17221/2010-VETMED
  19. Effect of Varying Levels of Chromium Propionate on Growth Performance and Blood Biochemistry of Broilers / M. Arif, I. Hussain, M.A. Mahmood, et al. // *Animals (Basel)*. 2019. No. 9(11). P. 935. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/11/935> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.3390/ani9110935
  20. Chromium yeast supplementation improves fasting plasma glucose and LDL-cholesterol in streptozotocin-induced diabetic rats / M.H. Lai, Y.Y. Chen, H.H. Cheng // *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*. 2006. No. 76(6). P. 391-377. doi: 10.1024/0300-9831.76.6.391
  21. Dubey P., Thakur V., Chattopadhyay M. Role of Minerals and Trace Elements in Diabetes and Insulin Resistance // *Nutrients*. 2020. No. 12(6). P. 1864. URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/6/1864> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.3390/nu12061864
  22. High Fat Diet and High Cholesterol Diet Reduce Hepatic Vitamin D-25-Hydroxylase Expression and Serum 25-Hydroxyvitamin D3 Level through Elevating Circulating Cholesterol, Glucose, and Insulin Levels / T. Zhu, J. Zhao, S. Zhuo, et al. // *Mol Nutr Food Res*. 2021. No. 65(21). P. e2100220. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34448353/> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.1002/mnfr.202100220
  23. Trace Element and Mineral Levels in Serum, Hair, and Urine of Obese Women in Relation to Body Composition, Blood Pressure, Lipid Profile, and Insulin Resistance / A.A. Tinkov, P. Bogdański, D. Skrypnik, et al. // *Biomolecules*. 2021. No. 11(5). P. 689. URL: <https://www.mdpi.com/2218-273X/11/5/689> (дата обращения: 16.07.2022). doi: 10.3390/biom11050689
  24. Diet-induced obese rats have higher iron requirements and are more vulnerable to iron deficiency / J. Bertinato, C. Aroche, L.J. Plouffe, et al. // *European Journal of Clinical Nutrition*. 2014. No. 53(3). P. 885-895. doi:10.1007/s00394-013-0592-9
  25. Obesity is associated with copper elevation in serum and tissues / H. Yang, C.N. Liu, R.M. Wolf, et al. // *Metallomics*. 2019. No. 11(8). P. 1363-1371. doi:10.1039/c9mt00148d

Поступила в редакцию 10.08.2022

После доработки 15.09.2022

Принята к публикации 25.10.2022

## СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЕРЕМЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И КРАСНОГО СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ИНКУБАЦИИ НА РОСТ, МЕТАБОЛИЗМ КУРИНЫХ ЭМБРИОНОВ И КАЧЕСТВО СУТОЧНЫХ ЦЫПЛЯТ ЯИЧНОГО КРОССА

М.И. Челнокова, кандидат биологических наук, Ф.И. Сулейманов, доктор ветеринарных наук, А.А. Челноков, доктор биологических наук

<sup>1</sup>Великолукская государственная сельскохозяйственная академия,  
182112, Псковская обл., Великие Луки, просп. Ленина, 2  
E-mail: marinachelnokova@yandex.ru

*Исследование проводили с целью оценки влияния переменной температуры и красного светодиодного освещения отдельно и в сочетании во время инкубации яиц на рост куриных эмбрионов, развитие их висцеральных органов и метаболизм, а также качество суточных цыплят. Инкубацию яиц кросса Ломани Браун (n=600) с 1 по 21 день проводили в инкубаторе ИЛБ-0,5 с использованием 3 режимов: ПТ – инкубация при переменных температурах в темноте (37,8 °С – 1...14 сутки; 39,5 °С в течение 2 ч ежедневно – 15...17 сутки; 37,5 °С – 18 сутки; 37,0 °С – 19...21 сутки; относительная влажность воздуха – 57,0 %); КС – круглосуточное красное освещение при стандартной температуре инкубации 37,6±0,1 °С с относительной влажностью воздуха 55,0 %; ПТ+КС – инкубация при переменных температурах с круглосуточным красным освещением. С использованием морфометрических методов проведена оценка роста-весовых показателей куриных эмбрионов, их висцеральных органов (сердце, мышечный желудок, печень, селезёнка), длины и массы тела суточных цыплят. Для оценки частоты сердечных сокращений (ЧСС), интенсивности дыхания по CO<sub>2</sub> и теплопродукции у куриных эмбрионов использовали метод скейлинга. Режим ПТ+КС к периоду вылупления (19 сутки) приводил к снижению массы тела эмбрионов, по сравнению с КС, на 3,464 г, массы селезёнки, в сравнении с ПТ, – на 0,005 г, но оптимизировал уровень метаболизма (по выделению CO<sub>2</sub>), по сравнению с указанными вариантами, соответственно на 47,20 и 21,42 мл/ч. ЧСС и уровень теплопродукции эмбрионов кур на 19 сутки при разных режимах инкубации варьировали в незначительных пределах без чётких различий. Эффект режима ПТ+КС проявлялся повышением массы тела цыплят, в сравнении с ПТ, на 1,93 г. Предполагаемые нейроэндокринные механизмы регуляции роста, метаболизма, иммунных реакций, терморегуляции и реакций на стресс куриных эмбрионов на основе синергетического эффекта ПТ+КС представлены в виде блок-схемы.*

## THE SYNERGISTIC EFFECT OF VARIABLE TEMPERATURE AND RED LED LIGHTING DURING INCUBATION ON THE GROWTH, METABOLISM OF CHICKEN EMBRYOS AND THE QUALITY OF DAY-OLD EGG-CROSS CHICKENS

Chelnokova M.I., Suleymanov F.I., Chelnokov A.A.

<sup>1</sup>State Agricultural Academy of Velikie Luki,  
182112, Pskovskaya obl., Velikie Luki, prosp. Lenina, 2  
E-mail: marinachelnokova@yandex.ru

*The effect of variable temperature, red LED lighting and variable temperature with red LED lighting during egg incubation on the growth of chicken embryos, the development of their visceral organs and metabolism, as well as the quality of day-old chickens were studied. Incubation of Lohmann Brown cross eggs (n=600) from 1 to 21 days was carried out in an ILB-0.5 incubator using 3 modes: VT – incubation at variable temperatures in the dark (37.8 °C – 1...14 days; 39.5 °C for 2 hours daily – 15...17 days; 37.5 °C – 18 days; 37.0 °C – 19...21 days; relative humidity – 57.0%); RL – round-the-clock red LED lighting at a standard incubation temperature of 37.6±0.1 °C with a relative humidity of 55.0%; VT+RL – incubation at variable temperatures with round-the-clock red LED lighting. Morphometric methods were used to evaluate the height and weight parameters of chicken embryos, their visceral organs (heart, muscular stomach, liver, spleen), and the length and body weight of day-old chickens. To assess the heart rate, respiration rate by CO<sub>2</sub>, heat production in chicken embryos, the scaling method was used. The results of the studies showed that the VT+RL regime by the hatching period (day 19) suppressed the growth of embryo body weight by 3.464 g, compared with RL and spleen weight by 0.005 g compared with VT, but optimized the metabolic rate (by CO<sub>2</sub> release) by 21.42 and 47.20 ml/h compared to with VT and RL options. The heart rate and the level of heat production of chicken embryos on day 19 varied slightly under different incubation regimes and differences were no revealed. The effect of the VT+RL regime was manifested by an increase in the body weight of chickens by 1.93 g compared to VT. The proposed neuroendocrine mechanisms of regulation of growth, metabolism, immune responses, thermoregulation and stress responses of chicken embryos based on the synergistic effect VT+RL are discussed in the form of a block diagram.*

**Ключевые слова:** куриные эмбрионы, переменная температура, красный светодиодный свет, висцеральные органы, частота сердечных сокращений, метаболизм, теплопродукция, гипоталамо-гипофизарная система, эпигенетическая адаптация.

**Key words:** chicken embryos, variable temperature, red LED light, visceral organs, heart rate, metabolism, heat production, hypothalamic-pituitary system, epigenetic adaptation.

Рост и метаболизм суточного цыплёнка в основном определяют процессы, происходящие во время эмбрионального развития. Основная цель коммерческих инкубаториев – достижение максимального вывода высококачественных суточных цыплят. Для решения этой задачи жизненно важно определить факторы, влияющие на оптимальное эмбриональное развитие кур [1]. Такие физиологические параметры, как теплопродукция, метаболизм, газообмен (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), имеют решающее значение для

развития куриных эмбрионов и их выживания в процессе инкубации. Изменять эти физиологические параметры и влиять на эмбриональное развитие птицы могут такие условия инкубации, как температура, свет, гипоксия, гипероксия и гиперкапния [1, 2].

В естественных условиях инкубации происходят изменения температуры и освещения, когда наседка покидает гнездо для кормления и поения [3] или поднимается, чтобы перевернуть яйца в ответ на зов эмбриона [4].

Переменные температуры инкубации, а также освещение яиц светодиодными лампами положительно влияет на эмбриональный рост, выводимость, качество цыплят и их рост после вылупления [5, 2]. Варьирование температуры и освещения (фотопериод, цвет, интенсивность освещения) яиц во время инкубации способствует адаптации цыплят к окружающей среде после вылупления посредством адаптивной реакции. Это обусловлено эпигенетическими изменениями в ходе эмбриогенеза, которые служат основными механизмами адаптации к постинкубационной среде продуктивной птицы [2]. Однако до сих пор нет сведений о синергетическом воздействии переменной температуры и красного светодиодного освещения во время инкубации яиц на рост, метаболизм куриных эмбрионов яичного кросса и качество суточных цыплят.

Цель исследования – оценка влияния переменной температуры, красного светодиодного освещения отдельно и в сочетании во время инкубации яиц на рост куриных эмбрионов, развитие их висцеральных органов и метаболизм, а также качество суточных цыплят яичного кросса Ломанн Браун.

**Методика.** Объектом для исследований служили инкубационные яйца кур кросса Ломанн Браун (ОАО «Волжанин» Ярославская область, пос. Ермаково), которые по комплексу основных показателей соответствовали нормативам, подтверждающим их качество. Возраст поголовья родительского стада, от которого получено инкубационное яйцо, – 30 недель. Инкубацию яиц с 1-го по 21-й день проводили в инкубаторе ИЛБ-0,5 (Волгасельмаш, Россия) с использованием 3 режимов:

ПТ – инкубация при переменных температурах в темноте (37,8 °C – 1...14 сутки; 39,5 °C в течение 2 ч ежедневно – 15...17 сутки; 37,5 °C – 18 сутки; 37,0 °C – 19...21 сутки; относительная влажность воздуха – 57,0 %);

КС – круглосуточное красное освещение при стандартной температуре инкубации 37,6±0,1 °C с относительной влажностью воздуха 55,0 %;

ПТ+КС – инкубация при переменных температурах с круглосуточным красным освещением.

В предварительных исследованиях мы установили, что максимальная скорость роста эмбрионов кросса кур Ломанн Браун наблюдается при красном светодиодном спектре с длиной волны 632 нм, чем при зелёном [6]. А. Drozdova с соавторами [7] обнаружили, что инкубация яиц при красном (длина волны 632 нм) освещении яиц, по сравнению с синим (463 нм), приводила к увеличению массы тела цыплят в постнатальный период (с 18 по 21 дни). Поэтому для освещения яиц во время инкубации использовали красные светодиодные неоны (Elektrostandard LS001, Россия-Китай), которые устанавливали на верхней части инкубатора. Они излучали монохроматический красный свет с длиной волны 632 нм. Предварительно перед инкубацией яйца взвешивали, отбирали по приблизительно одинаковой массе методом пар-аналогов и закладывали в инкубатор по 200 шт. при каждом экспериментальном режиме. В общей сложности в ходе эксперимента при трёх режимах было заложено 600 инкубационных яиц.

Для анализа морфологических росто-весовых показателей куриных эмбрионов и их висцеральных органов (сердце, мышечный желудок, печень, селезёнка) инкубируемые яйца (n=5) вскрывали на 14-е, 17-е, 19-е сутки. Длину тела эмбрионов измеряли от верхушки черепа до конца хвоста электронным штангенциркулем Finch Industrial Tools 19856 (Canada Inc.), длину тела цыплят – от гребня до среднего пальца стопы. Массу тела эмбрионов и цыплят, а также отдельных висцеральных органов определяли на аналитических весах Сартогосм ЛВ 210-А (Россия).

Для оценки физиологических показателей (частота сердечных сокращений (ЧСС), интенсивность дыхания по CO<sub>2</sub>, базальный метаболизм (теплопродукция)) использовали метод скейлинга [8-10]. ЧСС и интенсивность дыхания по CO<sub>2</sub> рассчитывали на 14-е, 17-е, 19-е сутки, уровень базального метаболизма у эмбрионов кур – на 17-е и 19-е сутки инкубации.

ЧСС у куриных эмбрионов определяли по формуле аллометрической зависимости средней ЧСС в течении 80 % инкубации ( $CrЧСС$ , уд/мин<sup>-1</sup>) от массы яйца ( $M_{яйца}$ , г), предложенной Н. Tazawa с соавторами [8] (1):

$$CrЧСС = 371 \times (M_{яйца})^{-0,121}. \quad (1)$$

Для определения интенсивности дыхания использовали формулу аллометрической зависимости уровня выделяемого углекислого газа ( $Q_{CO_2}$ , мл/ч) от массы тела ( $M_{мела}$ , г) эмбрионов кур в гомойотермной фазе, предложенную А.М. Болотниковым с соавторами [9] (2):

$$Q_{CO_2} = 1,84 \times M_{мела}^{0,739}. \quad (2)$$

Для описания уровня базального метаболизма (теплопродукции) в зависимости от скорости роста и массы тела куриных эмбрионов применяли уравнение наименьших квадратов, предложенное С.М. Vleck и D.F. Hoyt [10] (3):

$$P = 12,17 \times GR + 1,66 \times M + 1,81, \quad (3)$$

где  $P$  – уровень базального метаболизма, ккал/ч;  $GR$  – скорость роста, г/сутки;  $M$  – масса эмбриона, г; 1,66 ккал/г·ч – коэффициент массы, характеризующий затраты на поддерживающий метаболизм; 1,81 – константа, прогнозируемая скорость метаболизма эмбриона с нулевой массой ( $M$ ) и скоростью роста ( $GR$ ).

Статистический анализ данных проводили в программе Statistica 10.0.1011.0 (Statsoft Inc, USA, 2010). Нормальность распределения выборок определяли с использованием Shapiro-Wilk's W-test и Levene's test. При нормальном распределении выборок применяли параметрический дисперсионный анализ One-way Anova с апостериорным анализом Bonferroni test, при ненормальном – непараметрический критерий Mann-Whitney U-test.

**Результаты и обсуждение.** Под воздействием ПТ+КС на 14-е сутки эмбриогенеза масса тела куриных эмбрионов была меньше, чем в варианте ПТ, на 1,245 г (табл. 1,  $p=0,013^a$ ), КС – на 0,611 г ( $p=0,045^b$ ), массы сердца – на 0,010 г ( $p=0,030^c$ ), в сравнении с ПТ. Масса мышечного желудка в этот же срок развития при ПТ была больше, по сравнению с КС, на 0,057 г ( $p=0,005^c$ ), с ПТ+КС – на 0,045 г ( $p=0,005^a$ ), селезёнки – на 0,002 г ( $p=0,005^c$ ), только по сравнению с вариантом КС. На 17-е сутки развития воздействие ПТ+КС подавляло рост длины и массы тела на 0,784 см и 5,049 г, сердца – на 0,023 г, мышечного желудка – на 0,354 г, печени – на 0,099 г, по сравнению с ПТ ( $p=0,005^a$ ), селезёнки – на 0,004 и 0,003 г, в сравнении с ПТ и КС ( $p=0,005^{a,c}$ ). При КС на 17-е эмбриогенеза наблюдали увеличение массы тела на 4,790 г, сердца – на 0,041 г, мышечного желудка – на 0,344 г, печени – на 0,098 г, в сравнении с ПТ+КС ( $p=0,005^b$ ). На 19-е сутки влияние ПТ+КС, а также ПТ проявлялось достоверно значимым снижением массы тела куриных эмбрионов на 3,464 г ( $p=0,030^b$ ) и 1,916 г ( $p=0,045^c$ ), в сравнении с КС, соответственно. К 19-м суткам инкубации воздействие ПТ стимулировало увеличение длины тела на 0,379 см, по сравнению с КС ( $p=0,016^c$ ), и массы селезёнки на 0,005 г, в сравнении с КС и ПТ+КС ( $p=0,016^{a,c}$ ).

Вне зависимости от режима инкубации прослеживается общая тенденция снижения ЧСС, повышение выделения CO<sub>2</sub> и теплопродукции у куриных эмбрионов с увеличением срока инкубации (рис. 1). Достоверно значимые различия в ЧСС наблюдали только на 17-е сутки при использовании режима инкубации с ПТ+КС.

Табл. 1. Влияние режима инкубации на абсолютные размеры тела эмбрионов кур и их висцеральных органов\*

Показатель	Режим инкубации		
	ПТ	КС	ПТ + КС
<b>14-е сутки развития</b>			
ДТ, см	6,867±0,100	6,702±0,139	6,713±0,057
МТ, г	11,666±0,255 <sup>a</sup>	11,032±0,147 <sup>b</sup>	10,421±0,227
МС, г	0,105±0,002 <sup>a</sup>	0,096±0,002	0,095±0,002
ММЖ, г	0,326±0,007 <sup>a,c</sup>	0,269±0,003	0,281±0,005
МП, г	0,235±0,007	0,224±0,008	0,222±0,007
МСел, г	0,009±0,001 <sup>c</sup>	0,007±0,001	0,008±0,001
<b>17-е сутки развития</b>			
ДТ, см	8,324±0,012 <sup>a</sup>	8,135±0,375	7,540±0,198
МТ, г	21,100±0,441 <sup>a</sup>	20,841±0,731 <sup>b</sup>	16,051±0,564
МС, г	0,161±0,005 <sup>a</sup>	0,179±0,011 <sup>b</sup>	0,138±0,004
ММЖ, г	0,825±0,018 <sup>a</sup>	0,815±0,013 <sup>b</sup>	0,471±0,029
МП, г	0,468±0,003 <sup>a</sup>	0,467±0,015 <sup>b</sup>	0,369±0,018
МСел, г	0,014±0,001 <sup>a,c</sup>	0,011±0,001	0,010±0,001
<b>19-е сутки развития</b>			
ДТ, см	9,064±0,108 <sup>c</sup>	8,685±0,061	8,806±0,148
МТ, г	28,617±0,714	30,533±0,869 <sup>b,c</sup>	27,069±0,680
МС, г	0,205±0,006	0,235±0,018	0,216±0,003
ММЖ, г	1,220±0,077	1,384±0,152	1,167±0,021
МП, г	0,606±0,028	0,541±0,049	0,526±0,022
МСел, г	0,019±0,001 <sup>a,c</sup>	0,014±0,001	0,014±0,001

\*здесь и в табл. 2 ПТ – переменные температуры; КС – красный светодиодное освещение; ПТ+КС – переменные температуры в сочетании с красным светодиодным освещением; а – статистически значимое различие между показателями при переменной температуре в сочетании с красным освещением (ПТ+КС), по отношению к переменной температуре (ПТ); b – статистически значимое различие между показателями при переменной температуре в сочетании с красным светодиодным освещением (ПТ+КС), по отношению к красному свету (КС); c – статистически значимое различие между показателями при переменной температуре (ПТ) и красным светодиодным освещением (КС). ДТ – длина тела, МТ – масса тела, МС – масса сердца, ММЖ – масса мышечного желудка, МП – масса печени, МСел – масса селезёнки.

Величина этого показателя возросла, по сравнению с режимом с ПТ, на 8,71 уд/мин<sup>-1</sup> ( $p=0,000$ ), КС – на и 8,26 уд/мин<sup>-1</sup>, что вероятно обусловлено стресс-реакцией куриных эмбрионов на совместное воздействие переменной температуры и светодиодного освещения во время инкубации.

При ПТ+КС выделение CO<sub>2</sub> куриными эмбрионами на 14-е сутки развития было ниже, по сравнению с эмбрионами, развивающимися при режимах с ПТ и КС, на 21,71 мл/ч ( $p=0,013$ ) и 10,76 мл/ч ( $p=0,045$ ), соответственно. Аналогичную тенденцию наблюдали на 17-е сутки развития, когда уровень выделения CO<sub>2</sub> и теплопродукции в варианте ПТ+КС был меньше на 77,06 мл/ч и 245,73 ккал/сут

( $p=0,004$ ), чем при режиме с ПТ, и на 73,09 мл/ч и 246,17 ккал/сут ( $p=0,000$ ), в сравнении с режимом с КС. На 19-е сутки развития при совместном воздействии ПТ+КС уровень выделяемого CO<sub>2</sub> был ниже, чем при режиме с КС на 47,20 мл/ч ( $p=0,030$ ), ПТ – на 21,42 мл/ч ( $p=0,077$ ). Уровень теплопродукции эмбрионов кур на 19-е сутки развития варьировал в незначительных пределах и чёткой зависимости выявить не удалось ( $p>0,05$ ).

Режимы ПТ+КС и КС во время инкубации положительно влияли на развитие суточных цыплят (табл. 2). Выявлено достоверно значимое увеличение массы их тела на 2,35 г ( $p=0,000^c$ ) при ПТ+КС и на 1,93 г ( $p=0,004^c$ ) при КС, по сравнению с ПТ. Достоверных изменений в длине

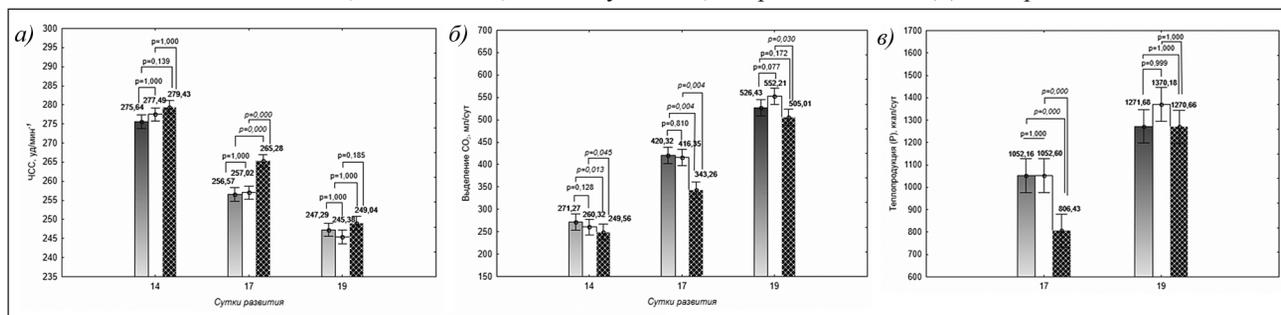


Рис. 1. Влияние ПТ, КС и ПТ+КС на ЧСС (а), интенсивность дыхания (б) и уровень базального метаболизма (в) у эмбрионов кур на 14-е, 17-е, 19-е сутки развития; ■ – ПТ, □ – КС, ▨ – ПТ + КС.

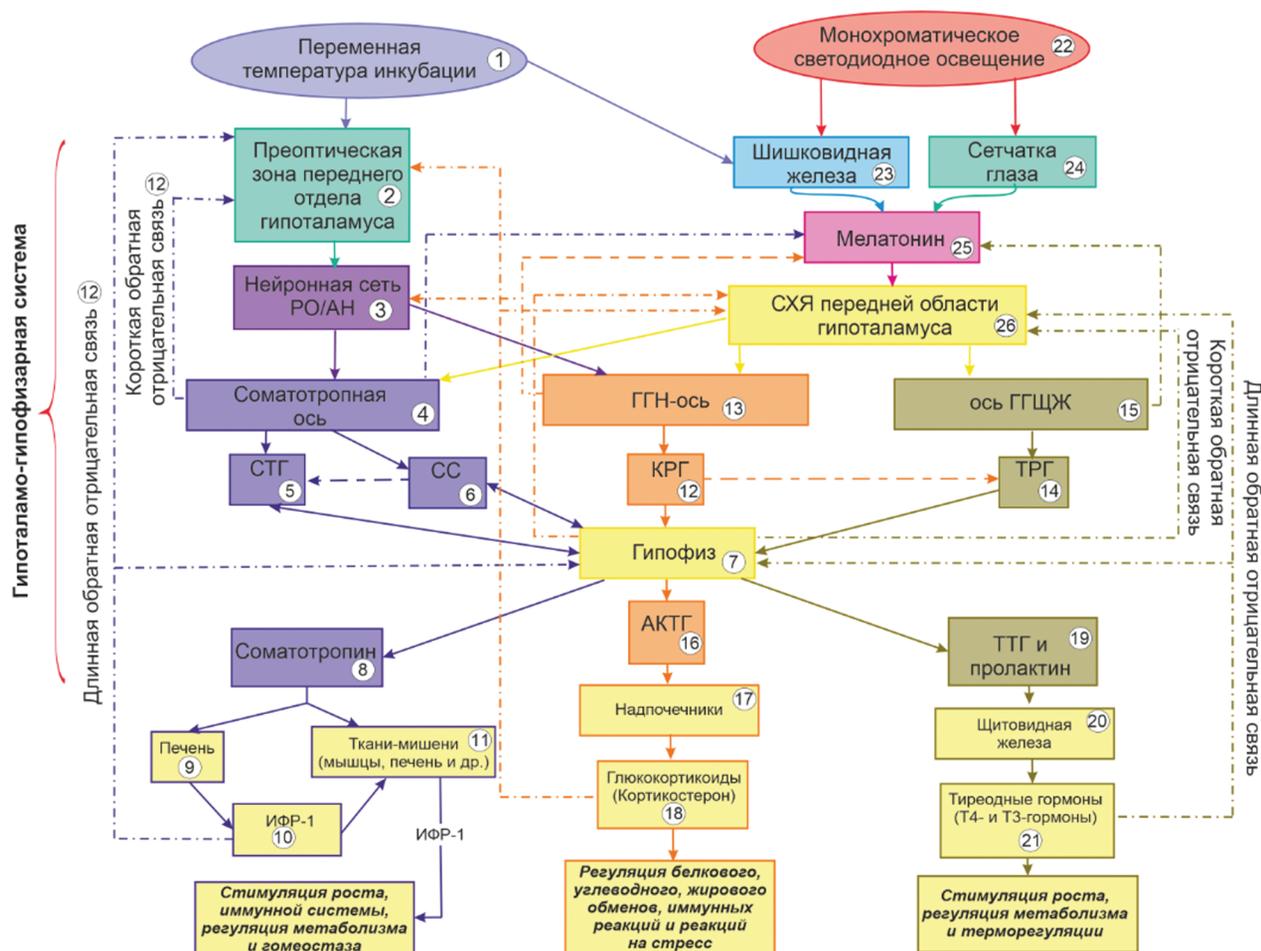
**Табл. 2. Влияние режимов инкубации на качество суточных цыплят**

Режим инкубации	Длина тела, см	Масса тела, г
ПТ (n=10)	18,21±0,15	43,11±0,30
КС (n=10)	18,27±0,20	45,04±0,39 <sup>c</sup>
ПТ+КС (n=10)	18,32±0,21	45,46±0,29 <sup>a</sup>

тела суточных цыплят в зависимости от режима инкубации не наблюдали.

Основную роль в регуляции роста, метаболизма, терморегуляции и реакции на стресс куриных эмбрионов отводят нейроэндокринным механизмам. Кроме того, есть сведения, описывающие развитие стрессовой реакции у куриных эмбрионов под действием исследуемых режимов инкубации [1, 2, 11]. На основе собственных результатов исследования и литературных данных разработана вероятная блок-схема центральных нейроэндокринных механизмов регуляции роста, метаболизма, иммунных реакций, терморегуляции и реакций на стресс куриных эмбрионов

на основе синергетического эффекта переменной температуры и красного светодиодного освещения (рис. 2). Согласно этой схеме, соматотропная ось (4) служит основным нейроэндокринным путём регуляции роста и метаболизма птиц [12]. С её участием контролируется синтез гормона инсулиноподобного фактора роста-1 (ИФР-1) (10) [13]. Соматотропин-рилизинг гормон (СТГ) (5), секретируемый преоптической зоной переднего отдела гипоталамуса (2), воздействует на переднюю долю гипофиза (7), вызывая секрецию соматотропина (гормона роста) (8). Соматостатин (СС) (6) снижает продукцию СТГ (5) гипофизом. Печень (9) вносит значительный вклад в концентрацию гормона инсулиноподобного фактора роста-1 (ИФР-1) (10) в плазме крови, и его секреция запускается соматотропином (8). Остальные ИФР-1 вырабатываются в различных тканях (11) с инициацией соматотропина и без него [13]. Регуляция секреции как соматотропина, так и ИФР-1 опосредована механизмами короткой и длинной отрицательной обратной связи (12) с участием гипоталамуса (2) [14]. Известно, что высокая температура инкубации (39,5 °С в течение 3 или 6 ч ежедневно) на поздних этапах эмбриогенеза (16...18-е сутки) увеличивает ЧСС и потребление O<sub>2</sub> эмбрионами



**Рис. 2. Блок-схема центральных нейроэндокринных механизмов регуляции роста, метаболизма, иммунных реакций, терморегуляции и реакций на стресс куриных эмбрионов на основе синергетического воздействия переменных температур и монохроматического красного освещения:** ГГН-ось – гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая ось; ось ГГЦЖ – ось гипоталамус-гипофиз-щитовидная железа; СТГ – соматотропин-рилизинг гормон; СС – соматостатин; КРГ – кортикотропин-рилизинг гормон; ТРГ – тиреотропин-рилизинг гормон; АКТГ – аденокортикотропный гормон; ТТГ – тиреотропный гормон; ИФР-1 – инсулиноподобный фактор роста-1; СХЯ – супрахиазматическое ядро передней области гипоталамуса; Т<sub>4</sub> – тироксин, Т<sub>3</sub> – трийодтиронин.

красса Cobb, повышает ИФР-1 скелетных мышц, усиливая пролиферацию и дифференцировку мышечных клеток, а также диаметр миофибрилл [15]. S. Yalcin с соавторами [16] установили, что воздействие температуры 38,8 °С с 10-х по 14-е сутки эмбриогенеза привело к увеличению массы тела, повышению экспрессии ИФР-1 и увеличению площади волокон в грудной мышце 42-дневных цыплят-бройлеров кроссов Ross308 и Cobb.

Существует гипотеза о том, что воздействие кратковременных переменных или постоянных температур ниже или выше оптимальных приводит к развитию эпигенетической памяти у куриных эмбрионов, которая усиливает устойчивость цыплят к низким или высоким температурам окружающей среды в постнатальный период. Эпигенетическая память связана с изменениями гормонального профиля, активности и экспрессии генов, которые контролируют систему терморегуляции [17, 18]. Ранее было показано, что эпигенетическая адаптация к переменным температурам, формирующаяся в течение эмбриогенеза, повышает вывод молодняка кур и его качество, по сравнению со стабильным режимом инкубации [19].

Переменные температуры инкубации (1) в эмбриональном развитии курицы (см. рис. 2) оказывают тренировочный эффект и приводят к изменениям в преоптической области передних гипоталамических нейронов (РО/АН) (3), что влияет на температурную чувствительность куриных эмбрионов [18]. Преоптическая зона переднего отдела гипоталамуса (2) участвует в регуляции синтеза кортикотропин-рилизинг-гормона (КРГ) (12) от гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси (ГН-ось) (13) и тиреотропин-рилизинг-гормона (ТРГ) (14) от оси гипоталамус-гипофиз-щитовидная железа (ось ГГЩЖ) (15) гипоталамо-гипофизарной системы. КРГ (12) стимулирует переднюю долю гипофиза (7), что приводит к синтезу и секреции адренотропного гормона (АКТГ) (16), который, в свою очередь, вызывает секрецию надпочечниками (17) кортикостерона (18), регулирующего у эмбрионов кур белковый, углеводный, жировой обмен, иммунные реакции и реакции на стресс. КРГ (12) также играет роль в активации ТРГ (14), который стимулирует высвобождение ТТГ (19) гипофизом (7). ТТГ (19), в свою очередь, повышает уровень гормонов щитовидной железы (20), главным образом, гормона  $T_4$  (тироксина) (21) [20]. Перед тем, как оказать воздействие на клетки органов-мишеней (все кроме селезёнки и семенников), большая часть тироксина непосредственно в клетках конвертируется в биологически активную форму – трийодтиронин ( $T_3$ ) (21). Пролактин (19) регулирует функции щитовидной железы (20), обеспечивающие стимуляцию роста куриных эмбрионов, регуляцию у них метаболизма и терморегуляцию. Поскольку оси ГГЩЖ и ГН играют важную роль в адаптации терморегуляции организма [21, 22], модуляция температуры инкубации во время формирования этих осей в эмбриогенезе может улучшить термотолерантность птиц и вызывать долгосрочную адаптацию осей гипоталамо-гипофизарной системы в постнатальный период развития [23]. Имеющиеся литературные сведения ясно указывают, что на эмбриональное развитие осей ГГЩЖ и ГН влияют изменения температуры во время инкубации, которые формируются между 10,5...11,5 и 14...15 сутками эмбриогенеза продуктивных птиц соответственно [24, 2].

Светодиодное освещение во время инкубации (22) активирует фоторецепторы сетчатки глаз (23) и шишковидную железу (эпифиз) (24) – посредников гормона мелатонина (25), поступающего в кровь и спинномозговую жидкость (ликвор), проходящего через которую, накапливается в супрахиазматическом ядре передней области гипоталамуса (СХЯ) (26) гипоталамо-гипофизарной системы. Ось

ГГЩЖ (15) и ГН-ось (13) ответственны за ритмичную выработку мелатонина (25) [25, 26, 2].

Ранние исследования показали, что температура 39 °С в течение 3 ч/сут на 16...18-е сутки в сочетании с зелёным светодиодным освещением с 6-х суток до вывода стимулирует пролиферацию миообластов куриных эмбрионов Ross 308 [27, 28]. В работе T. Shah и S. Özkan [29] показано, что повышение температуры яичной скорлупы до 38,5 °С в течение 6 ч в сутки на 11...16-е сутки в комбинации с фотопериодом (16 ч освещение, 8 ч темнота) увеличивает длину тела суточных цыплят кросса Ross 308 и массу их печени.

В нашем исследовании показано, что эффекты синергетического воздействия сопровождались подавлением роста длины и массы тела, массы селезёнки и уровня метаболизма (по выделению  $CO_2$ ) к периоду вылупления (19-е сутки), но повышением массы тела суточных цыплят. Известно, что кортикостерон влияет на функциональную активность соматотропной оси посредством ингибирующего действия на СТГ, который уменьшает рост тела путем подавления синтеза ИФР-1 [30]. Следовательно, можно предположить, что на фоне воздействия стресс-факторов (температура и свет) во время искусственной инкубации снижается функциональная активность соматотропной и ГГЩЖ осей посредством ингибирующего действия на СТГ и ТРГ, которые задерживают процессы роста и метаболизма у куриных эмбрионов в антенатальном онтогенезе.

Таким образом, ориентируясь на представленные данные, можно полагать, что механизмы, опосредующие возможные стимулирующие эффекты переменной температуры и красного светодиодного освещения яиц во время инкубации на развитие куриных эмбрионов и их органов, а также морфофизиологические процессы, связаны с пластическими изменениями в функциональной активности гипоталамо-гипофизарной системы в процессе эмбриогенеза и раннего постнатального онтогенеза. Так, при режиме ПТ+КС развитие эмбрионов кур и их селезёнки к 19-м суткам проходит медленнее, чем при режиме КС и ПТ, соответственно. Кроме того, воздействие ПТ+КС вызывает оптимизацию метаболизма у эмбрионов на 19-е сутки эмбриогенеза и вместе с тем повышает качество суточных цыплят, выражающееся в увеличении массы их тела на 1,93 г, в сравнении с ПТ.

## Литература

1. *Chicken Incubation Conditions: Role in Embryo Development, Physiology and Adaptation to the Post-Hatch Environment* / K. Tona, K. Voemesse, O. N'nanlé, et al. // *Front. Physiol.* 2022. Vol. 13. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2022.895854/full> (дата обращения: 04.07.2022). doi: 10.3389/fphys.2022.895854.
2. Yalcin S., Özkan S., Shah T. *Incubation Temperature and Lighting: Effect on Embryonic Development, Post-Hatch Growth, and Adaptive Response* // *Front. Physiol.* 2022. Vol. 13. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2022.899977/full> (дата обращения: 04.07.2022). doi: 10.3389/fphys.2022.899977.
3. Archer G.S., Mench J.A. *The Effects of the Duration and Onset of Light Stimulation during Incubation on the Behavior, Plasma Melatonin Levels, and Productivity of Broiler Chickens* // *J. Anim. Sci.* 2014. Vol. 92. P. 1753-1758. doi: 10.2527/jas.2013-7129.
4. Rogers L.J. «*Environmental Influences on Development of the Embryo*» in *The Development of Brain and Behaviour in the Chicken*. Wallingford, Oxon: CAB International, 1995. P. 41-70.

5. Chelnokova M.I. Differential Incubation Temperature Effects on Growth of Hisex Brown Chick Embryos and Development of Their Visceral Organs // *Russian Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 47(4). P. 418-424. doi: 10.3103/S1068367421040042
6. Челнокова М.И., Сулейманов Ф.И., Челноков А.А. Развитие и метаболизм эмбрионов курицы в эмбриогенезе при разном светодиодном освещении яиц во время инкубации // *Иппология и ветеринария*. 2021. № 4(42). С. 219-224.
7. Prenatal Effects of Red and Blue Light on Physiological and Behavioural Parameters of Broiler Chickens / A. Drozdová, Z. Kaňková, B. Bilčík, et al. // *Czech J. Anim. Sci.* 2021. Vol. 66. P. 412-419. doi:10.17221/80/2021-cjas.
8. Allometric relationships between embryonic heart rate and fresh egg mass in birds / Tazawa H., Pearson J.T., Komoro T., et al. // *J. Exp. Biol.* 2001. Vol. 204. P. 165-174. doi: 10.1242/jeb.204.1.165.
9. Болотников А.М. Каменский Ю.Н., Добринский Л.Н. Экология раннего онтогенеза птиц. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. 228 с.
10. Vleck C.M., Hoyt D.F. Metabolism and energetics of reptilian and avian embryos. Deeming C.D., Ferguson M.W. (red) Egg incubation: its effects on embryonic development in birds and reptiles. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. P. 285-304.
11. Scanes C.G. Perspectives on the Endocrinology of Poultry Growth and Metabolism // *General and Comparative Endocrinology*. 2009. Vol. 163. P. 24-32. doi: 10.1016/j.ygcen.2009.04.013.
12. Effects of Monochromatic Blue Light on Reducing the Adverse Impact of Induced Cyclic Chronic Heat Stress during the Thermal Manipulation of Broiler Embryos / L. Zeng, Q. Liu, T. Wang, et al. // *Oxid Med Cell Longev*. 2022. Vol. 2022. URL: <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2022/9898311/> (дата обращения: 04.07.2022). doi: 10.1155/2022/9898311.
13. Mcmurtry J.P., Francis G.L., Upton Z. Insulin-like Growth Factors in Poultry // *Domestic Animal Endocrinology*. 1997. Vol. 14. P. 199-229. doi: 10.1016/S0739-7240(97)00019-2.
14. Yakar S., Isaksson O. Regulation of Skeletal Growth and Mineral Acquisition by the Gh/igf-1 Axis: Lessons from Mouse Models // *Growth Hormone & IGF Research*. 2016. Vol. 28. P. 26-42. doi: 10.1016/j.ghir.2015.09.004.
15. Piestun Y., Halevy O., Yahav S. Thermal Manipulations of Broiler Embryos-The Effect on Thermoregulation and Development during Embryogenesis // *Poult. Sci.* 2009. Vol. 88. P. 2677-2688. doi: 10.3382/ps.2009-00231.
16. Yalcin S., Aksit M., Ozkan S., Hassanzadeh M., Bilgen G., Helva I. B., et al. Effect of Temperature Manipulation during Incubation on Body Weight, Plasma Parameters, Muscle Histology, and Expression of Myogenic Genes in Breast Muscle of Embryos and Broiler Chickens from Two Commercial Strains / S. Yalcin, M. Aksit, S. Ozkan, et al. // *Br. Poult. Sci.* 2021. Vol. 63. P. 21-30. doi: 10.1080/00071668.2021.1958297.
17. Nichelmann M., Janke O., Tzschentke B. Efficiency of Thermoregulation in Precocial Avian Species during the Prenatal Period // *J. Therm. Biol.* 2001. Vol. 26. P. 273-280. doi: 10.1016/s0306-4565(01)00030-4.
18. Tzschentke B., Basta D. Early Development of Neuronal Hypothalamic Thermosensitivity in Birds: Influence of Epigenetic Temperature Adaptation // *Comp. Biochem. Physiol. Part A: Mol. Integr. Physiol.* 2002. Vol. 131. P. 825-832. doi: 10.1016/s1095-6433(02)00020-x.
19. Челнокова М.И., Сулейманов Ф.И., Челноков А.А. Эпигенетическая адаптация эмбрионов кур кросса «Ломанн Браун» к переменным температурам инкубации // *Ветеринария*. 2022. № 3. С. 65-70. doi: 10.30896/0042-4846.2022.25.3.65-69.
20. Decuyper E., Kühn E. R. Thyroid Hormone Physiology in Galliformes: Age and Strain Related Changes in Physiological Control // *Am. Zool.* 1988. Vol. 28. P. 401-415. doi: 10.1093/icb/28.2.401.
21. Heat Stress Responses in Birds: A Review of the Neural Components / M.W. Bohler, V.S. Chowdhury, M.A. Cline, et al. // *Biology (Basel)*. 2021. Vol. 10. URL: <https://www.mdpi.com/2079-7737/10/11/1095> (дата обращения: 04.07.2022). doi: 10.3390/biology10111095
22. Ruuskanen S., Hsu B.-Y., Nord A. Endocrinology of Thermoregulation in Birds in a Changing Climate // *Mol. Cell Endocrinol.* 2021. Vol. 519. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.mce.2020.111088> (дата обращения: 04.07.2022). doi: 10.1016/j.mce.2020.111088.
23. Halevy O., Yahav S. The Effect of thermal Manipulations during the Development of the Thyroid and Adrenal Axes on in-hatch and post-hatch Thermoregulation / Y. Piestun, D. Shinder, M. Ruzal, et al. // *J. Therm. Biol.* 2008. Vol. 33. P. 413-418. doi: 10.1016/j.jtherbio.2008.06.007.
24. de Groef B., Grommen S.V.H., Darras V.M. The Chicken Embryo as a Model for Developmental Endocrinology: Development of the Thyrotropic, Corticotropic, and Somatotropic Axes // *Mol. Cell Endocrinol.* 2008. Vol. 293. P. 17-24. doi: 10.1016/j.mce.2008.06.002.
25. Various LED Wavelengths Affected Myofiber Development and Satellite Cell Proliferation of Chick Embryos via the IGF-1 Signaling Pathway / Y. Wang, X. Bai, Z. Wang, et al. // *Photochem. Photobiol.* 2017. Vol. 93. P. 1492-1501. doi: 10.1111/php.12806.
26. Effect of a Photoperiodic green Light Programme during Incubation on Embryo Development and hatch Process / Q. Tong, I.M. McGonnell, T.G.M. Demmers, et al. // *Animal*. 2018. Vol. 12. P.765-773. doi: 10.1017/s1751731117002117.
27. The Effects of thermal and Light Exposure on the Development of Broiler Chicken Leg Musculature / S. Stojanovic, D. Zikic, Z. Kanacki, et al. // *Arch. Biol. Sci. Belgra.* 2014. Vol. 66. P. 1547-1557. doi: 10.2298/abs1404547s.
28. Influence of Modified Incubation Factors on Meat Characteristics of Broiler Chickens / Z. Kanački, S. Stojanović, D. Žikić, et al. // *Anim. Sci. Pap. Rep.* 2017. Vol. 1. P. 87-96. doi: 10.2298/BAH1104605K.
29. Shah T., Özkan S. Effect of thermal Manipulation and Photoperiodic Lighting during Incubation on Hatching Performance, Hatching Time, Chick Quality and Organ Growth // *Ege Univ. Ziraat Fak. Derg.* 2022. Vol. 59. P. 17-31. doi: 10.20289/zfdergi.
30. Tolon R., Lopez J., Sanchez-Franco F. Corticosterone Modulates Growth Hormone-releasing Factor and Somatostatin in Fetal Rat Hypothalamic Cultures / G. Fernandez-Vazquez, L. Cacicedo, M.J. Lorenzo, et al. // *Neuroendocrinology*. 1995. Vol. 61. P. 31-35. doi: 10.1159/000126824.

Поступила в редакцию 19.07.2022  
 После доработки 29.09.2022  
 Принята к публикации 08.11.2022

## ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА СОМАТИЧЕСКИХ КЛЕТОК С УЧЕТОМ ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ НА КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ МОЛОКА КОРОВ

**М.В. Позовникова**, кандидат биологических наук, **В.Б. Лейбова**, кандидат биологических наук, **О.В. Тулинова**, кандидат сельскохозяйственных наук, **Е.А. Романова**, **Ю.С. Щербаков**

*Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал  
Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста,  
196601, Санкт-Петербург, Пушкин, Московское ш., 55А  
E-mail: pozovnikova@gmail.com*

*Исследования проводили с целью изучения динамики компонентного состава молока в зависимости от состояния здоровья вымени, определенного методом комбинации количества соматических клеток (КСК) и дифференциального количества соматических клеток (ДКСК) у коров голштинской и айрширской породы. Пробы молока условно разделили на четыре группы. К группе А отнесены пробы от здоровых особей (КСК ≤ 200 тыс. ед/мл, ДКСК ≤ 70 %); в группу В – от животных с подозрением на мастит (КСК ≤ 200 тыс. ед/мл, ДКСК > 70 %); С – от коров с субклинической/клинической формой мастита (КСК > 200 тыс. ед/мл, ДКСК ≤ 70 %); D – от особей хронической формой мастита (КСК > 200 тыс. ед/мл, ДКСК > 70 %). У голштинских коров в группе В, по сравнению с группой А, наблюдали снижение содержания белково-жировых компонентов молока (молочного жира на 6,8 %, молочного белка на 2,9 %, казеина на 2,7 %, сухого вещества на 2,9 % и жирных кислот миристиновой (С14:0) на 9,8 %, пальмитиновой (С16:0) на 8,7 %, олеиновой (С18:1) на 3,0 %, длинно-, средне- и короткоцепочечных (ДЦЖК, СЦЖК, КЦЖК) – на 5,5 %, 8,9 % и 9,6 % соответственно, насыщенных (НЖК) на 8,9 % и мононенасыщенных (МНЖК) на 5,3 % при p ≤ 0,001 и p ≤ 0,05). У айрширских коров в группе В установлено понижение доли С14:0 на 5 % (p ≤ 0,05). Прогрессирование болезни (группа С) и переход в хроническую форму (группа D), по сравнению с группой В, у коров обеих пород сопровождалось снижением процентного содержания лактозы в молоке от 1,9 до 5,2% (p ≤ 0,001).*

## EFFECT OF THE SOMATIC CELL COUNT, TAKING INTO ACCOUNT THEIR MORPHOLOGICAL DIFFERENTIATION, ON THE COMPONENT COMPOSITION OF COW'S MILK

**Pozovnikova M.V., Leibova V.B., Tulinova O.V., Romanova E.A., Shcherbakov Yu.S.**

*Russian Research Institute of Farm Animal Genetics and Breeding — Branch of the L.K. Ernst Federal Research Center  
for Animal Husbandry  
196601, Sankt-Peterburg, Pushkin, Moskovskoe sh., 55A  
E-mail: pozovnikova@gmail.com*

*The aim was carried out in order to study the dynamics of the component composition of milk depending on the health status of the udder, determined by the method of combining the somatic cell count (SCC) and the differential somatic cell count (DSCC) in Holstein and Ayrshire cows. Milk samples were conventionally divided into four groups. Group A includes samples from healthy individuals (SCC ≤ 200 thousand units/ml, DSCC ≤ 70%); group B – from animals with suspected mastitis (SCC ≤ 200 thousand units/ml, DSCC > 70%); C – from cows with subclinical/clinical form of mastitis (SCC > 200 thousand units/ml, DSCC > 70%); D – from individuals with a chronic form of mastitis (SCC > 200 thousand units / ml, DSCC ≤ 70%). In Holstein cows in group B, compared with group A, a decrease in the content of protein-fat components of milk was observed (milk fat by 6.8%, milk protein by 2.9%, casein by 2.7%, solids content by 2, 9% and fatty acids myristic (C14:0) by 9.8%, palmitic (C16:0) by 8.7%, oleic (C18:1) by 3.0%, long-, medium- and short-chain (LCFA, MCFA, SCFA), by 5.5%, 8.9% and 9.6%, respectively, saturated (SFA) by 8.9% and monounsaturated (MUFA) by 5.3% at p ≤ 0.001 and p ≤ 0, 05). Ayrshire cows in group B showed a decrease in the proportion of C14:0 by 5% (p ≤ 0.05). The progression of the disease (group C) and the transition to a chronic form (group D), compared with group B, in cows of both breeds was accompanied by a decrease in the percentage of lactose in milk from 1.9 to 5.2% (p ≤ 0.001).*

**Ключевые слова:** голштинская порода, айрширская порода, жирные кислоты, мастит

**Key words:** Holstein breed, Ayrshire breed, fatty acids, mastitis.

Состояние здоровья животного – важное условие для производства полноценного по составу молока. Наличие воспалительных процессов, как в острой, так и хронической форме приводит к нарушению секреции молока и изменению его качественного состава. Мастит, как одно из самых распространенных заболеваний у молочных коров [1], относится к числу ключевых негативных факторов, влияющих на качество молока, в том числе с точки зрения его безопасности как продукта питания. Воспалительные процессы в молочной железе приводят к сложным изменениям в ее функционировании, что фенотипически проявляется резким снижением удоев [2] (из-за повреждения паренхимы) и изменением белкового состава [3] (в результате повышения проницаемости сосудистой стенки и поступления белков из крови). Кроме того, к маркерам

воспаления можно отнести изменение кислотности молока и содержания лактозы [4].

Один из важных признаков, свидетельствующих о наличии заболевания, – повышение количества соматических клеток (КСК) молока. В небольшом количестве они присутствуют постоянно и состоят в основной своей массе из лимфоцитов, макрофагов и полиморфноядерных нейтрофилов (ПМН) [5]. При воспалительном процессе в вымени не только возрастает суммарное число клеток, но и изменяется их соотношение, а именно значительно увеличивается количество ПМН [6, 7]. Современный доступный метод проточной цитометрии в сочетании с инфракрасной спектроскопией позволяет определить КСК, а также процентное соотношение основных популяций клеток воспалительного ответа, а именно долю лимфоцитов и ПМН в общей сумме клеток (ДКСК –

\*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-16-00049.

Табл. 1. Средние значения КСК и ДКСК в группах проб молока от животных разных пород (Mean± Std.Dev)

Группа	Голштинская			Айрширская		
	n <sup>1</sup>	КСК, тыс. ед./мл	ДКСК, %	n	КСК, тыс. ед./мл	ДКСК, %
Группа А	601	52,23±36,16	21,53±28,27	1304	38,83±32,23	12,46±23,83
Группа В	284	116,62±40,39	77,22±4,42	161	112,38±40,83	76,19±4,34
Группа С	387	980,49±1019,41	82,79±4,98	148	651,97±582,99	81,66±5,31
Группа D	15	290,67±86,97	63,78±5,70	29	345,48±200,11	59,91±14,48
Всего	1287	346,87±695,61 <sup>a</sup>	52,66±35,30 <sup>a</sup>	1642	106,73±252,19 <sup>b</sup>	25,79±33,93 <sup>b</sup>

<sup>a-b</sup>КСК p≤0,001; <sup>a-b</sup>ДКСК p≤0,001;  
<sup>1</sup>число наблюдений

дифференциальное количество соматических клеток). В рамках профилактических мероприятий по выявлению коров, больных субклинической формой болезни этот метод более эффективен, чем общепринятый, который предусматривает оценку состояния здоровья вымени только по уровню КСК [8]. Своевременное выявление мастита, посредством лабораторного исследования проб молока на предмет содержания КСК, до появления клинических признаков заболевания – один из ключевых факторов производства высококачественной и безопасной продукции в молочном скотоводстве.

Цель исследования – изучение динамики компонентного состава молока в зависимости от состояния здоровья вымени, определенного методом комбинации количества соматических клеток (КСК) и дифференциального количества соматических клеток (ДКСК) у коров голштинской и айрширской породы.

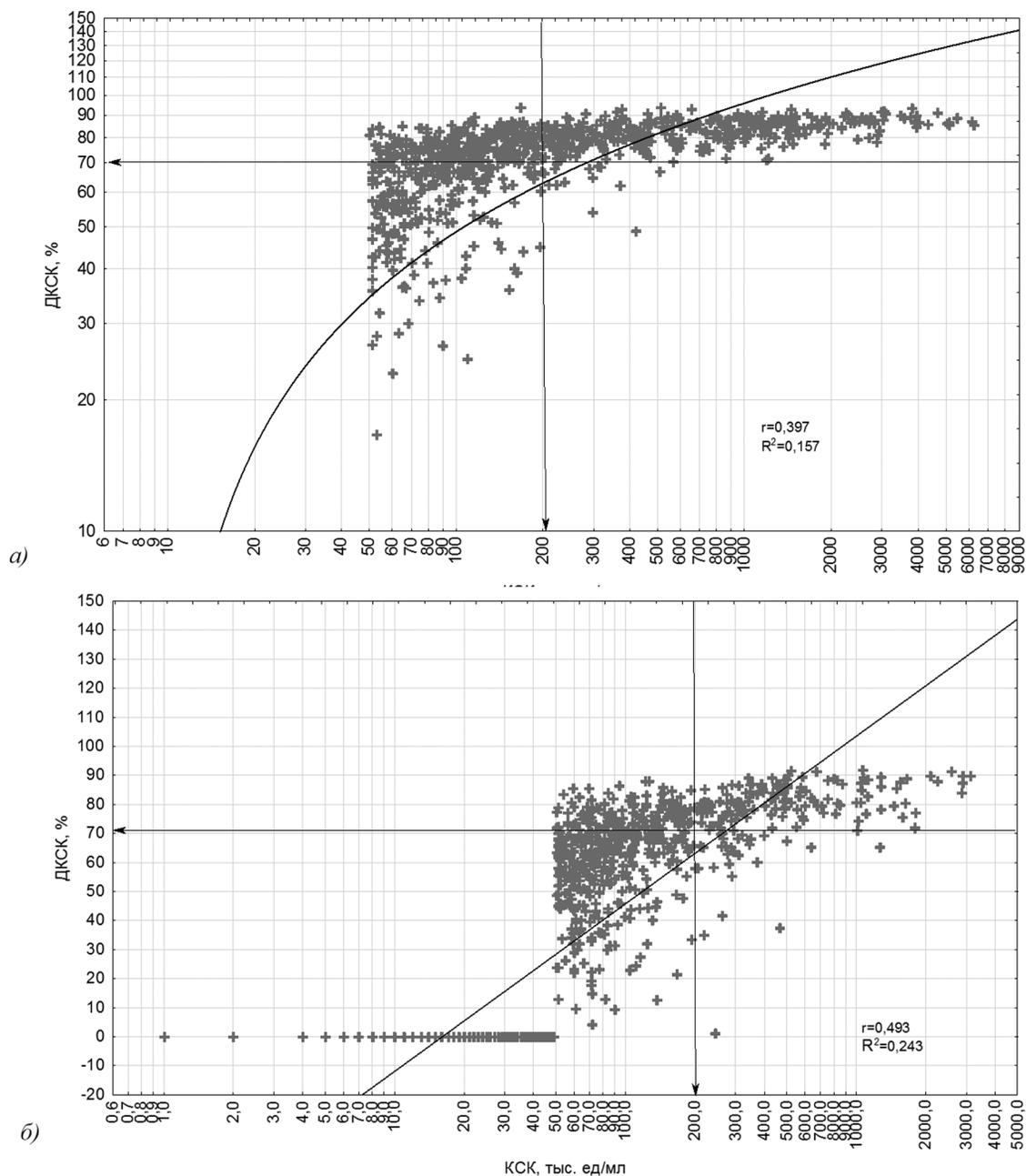
**Методика.** Работу проводили в период с мая 2021 г. по июль 2022 г. в Ленинградской области. В выборку вошли пробы молока коров голштинской породы в количестве 171 головы и айрширской породы в количестве 180 голов. Индивидуальный отбор проб сырого молока проводили ежемесячно в период контрольных доек. Для их стабилизации использовали консервант на основе бронопола и натамицина (Microtabs, США). Лабораторные исследования осуществляли в ЦКП ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста с использованием инфракрасного анализатора FOSS 7 DSCC (Дания). В каждой пробе определяли следующие показатели: жир (МДЖ), %; белок (МДБ), %; казеин, %; лактоза, %; сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО), %; сухое вещество (СВ), %; ацетон, мМоль/л; бета-гидроксibuтират (БГБ), мМоль/л; мочевины, мг×100мл-1; точка замерзания (ТЗ), °С; активная кислотность молока (рН); основные жирные кислоты (ЖК), г/100 г молока; насыщенные ЖК (НЖК), в том числе миристиновая (С14:0), пальмитиновая (С16:0), стеариновая (С18:0); мононенасыщенные ЖК (МНЖК), в том числе олеиновая (С18:1), длинноцепочечные ЖК (ДЦЖК), среднецепочечные ЖК (СЦЖК), короткоцепочечные ЖК (КЦЖК), полиненасыщенные ЖК (ПНЖК), транс-жирные кислоты (ТЖК), количество соматических клеток, тыс. ед./мл и ДКСК, %. После фильтрации полученного массива данных в анализ было включено 1287 записей для голштинских коров и 1642 записи для айрширских коров. При построении графиков для улучшения распределения значений признака проводили логарифмирование исходных величин. Для оценки опосредованного влияния уровня КСК с учетом ДКСК на качественный состав молока проводили условное разделение проб молока выборки согласно методике [9] в модификации, предложенной Сермягиной А.А. [10]. При этом в группу А были отнесены пробы от здоровых особей (КСК ≤ 200 тыс. ед./мл, ДКСК ≤ 70

%), в группу В – от животных с подозрением на мастит (КСК ≤ 200 тыс. ед./мл, ДКСК > 70 %); в группу С – от коров с субклинической/клинической формой мастита (КСК > 200 тыс. ед./мл, ДКСК > 70 %); в группу D – от особей с хроническим (персистирующим) маститом (КСК > 200 тыс. ед./мл, ДКСК ≤ 70 %). Математические расчеты проводили с использованием пакета программы STATISTICA 10 («StatSoft, Inc.», США) и Microsoft Excel 2013. Статистические различия между средними считали значимыми при p ≤ 0,05. Расчет и визуализацию корреляции осуществляли в программе R-studio с использованием библиотеки corrplot [11].

**Результаты и обсуждение.** В пробах молока коров голштинской породы максимальное абсолютное КСК составляло 6238 тыс. ед./мл, ДКСК – 93,9 %, у коров айрширской породы – 3114 тыс. ед./мл и 92,1 % соответственно. Средние величины КСК и ДКСК в молоке голштинских коров (табл. 1) были выше, по сравнению с аналогичными показателями у коров айрширской породы, соответственно в 3,2 и 2 раза (p≤0,001). При этом доля проб от условно здоровых животных (группа А) составила 46,69 % и 79,41 %, а условно пораженных субклиническим маститом (группа С) – 30,07 % и 9,01 % у голштинских и айрширских коров соответственно. Визуализация зависимости значений ДКСК от уровня КСК свидетельствует о положительной связи между величинами этих показателей при r=0,397 (p<0,05) для молока коров голштинской породы и при r=0,493 (p<0,05) для айрширской породы (рис. 1).

Анализ средних значения оцениваемых показателей в выборке проб молока голштинских и айрширских коров в зависимости от соотношения КСК/ДКСК свидетельствует о том, что воспалительные заболевания вымени в разной степени выраженности ведут к резким изменениям состава молока коров. Значение КСК в целом отражает воспаление вымени, а величина ДКСК служит критерием, по которому можно судить о стадии развития заболевания. Так, в начале развития мастита, когда уровень КСК не превышает 200 тыс. ед./мл, но уже можно наблюдать повышение числа ПМН, которое следует рассматривать как первичный иммунный ответ, происходит снижение белково-жировых компонентов молока на фоне повышения лактозы (группа В). Прогрессирование болезни (группа С) и переход в хроническую форму (группа D) показывает прямо противоположную картину, что может быть обусловлено как компенсационным эффектом, так и патофизиологическими процессами, протекающими в молочной железе [12].

У голштинских коров в группе В, по сравнению с группой А, наблюдали значимое снижение содержания молочного белка и казеина (p≤0,05), СВ (p≤0,001), молочного жира (p≤0,001) и большинства жирных кислот (p≤0,001; p≤0,05) за исключением С18:0, ПНЖК и ТЖК



**Рис. 1. График линейной зависимости уровня ДКСК от КСК в выборке проб молока: а) коров голштинской породы; б) коров айрширской породы (вертикальной и горизонтальной стрелкой указаны пороговые линии для КСК – 200 тыс. ед./мл, для ДКСК – 70 %).**

(табл. 2). Состояние субклинического или клинического мастита (группа С) характеризовалось изменением компонентного состава молока, по сравнению с молоком коров группы А, в сторону увеличения белка и казеина ( $p \leq 0,05$ ), снижением лактозы ( $p \leq 0,001$ ) и мочевины ( $p \leq 0,001$ ). В жирнокислотном составе молока повышалась доля МНЖК ( $p \leq 0,05$ ), ПНЖК ( $p \leq 0,001$ ) и ТЖК ( $p \leq 0,001$ ). В группе D (персистирующий мастит), относительно группы А, установлено повышение содержания белка и казеина ( $p \leq 0,05$ ), СВ ( $p \leq 0,001$ ), жира ( $p \leq 0,01$ ), сопряженное с увеличением уровня всех жирных кислот ( $p \leq 0,001$ ;  $p \leq 0,05$ ) за исключением ТЖК. Показатель лактозы был существенно снижен ( $p \leq 0,001$ ). В группе В, относительно групп С и D, установлено снижение содержания белка, казеина ( $p \leq 0,001$ ), СВ, ( $p \leq 0,001$ ),

МДЖ и жирных кислот кроме ТЖК ( $p \leq 0,001$ ), а также СОМО, но только относительно группы С ( $p \leq 0,05$ ). Между группами С и D также выявлены некоторые различия, а именно, в группе D возрастали значения МДЖ ( $p \leq 0,001$ ), жирных кислот, кроме ТЖК ( $p \leq 0,001$ ;  $p \leq 0,05$ ), СВ ( $p \leq 0,05$ ), мочевины ( $p \leq 0,05$ ) и снижался уровень лактозы ( $p \leq 0,05$ ).

У айрширских коров (табл. 3) при начальной стадии воспалительного процесса в вымени (группа В) не выявлено значимых изменений в составе молока, по сравнению с группой А, за исключением снижения доли миристиновой ЖК (С14:0) ( $p \leq 0,001$ ). В группе С, по сравнению с группой А, установлено повышение СОМО ( $p \leq 0,001$ ) и доли некоторых жирных кислот, а именно С14:0 ( $p \leq 0,05$ ), С18:1 ( $p \leq 0,05$ ), ПНЖК ( $p \leq 0,05$ ) и ТЖК

**Табл. 2. Распределение средних значений основных компонентов молока в зависимости от уровня ДКСК и КСК в пробах молока коров голштинской породы (Mean± Std.Dev)**

Показатель	Группа			
	A (n=601)	B (n=284)	C (n=387)	D (n=15)
МДЖ, %	3,81±0,97 <sup>b</sup>	3,55±0,92 <sup>a</sup>	3,96±0,93 <sup>b</sup>	5,03±1,28 <sup>a,b</sup>
МДБ, %	3,14±0,44 <sup>A</sup>	3,05±0,41 <sup>A,B</sup>	3,23±0,45 <sup>B</sup>	3,48±0,46 <sup>B</sup>
Лактоза, %	4,81±0,16 <sup>a</sup>	4,83±0,15 <sup>a</sup>	4,74±0,19 <sup>A</sup>	4,58±0,26 <sup>B</sup>
СОМО, %	8,87±0,47	8,80±0,45 <sup>A</sup>	8,89±0,47 <sup>B</sup>	9,03±0,50
СВ, %	12,61±1,25 <sup>b</sup>	12,25±1,15 <sup>a</sup>	12,72±1,20 <sup>b,A</sup>	13,84±1,28 <sup>a,b</sup>
Казеин, %	2,63±0,38 <sup>A</sup>	2,56±0,36 <sup>A,B</sup>	2,70±0,38 <sup>B</sup>	2,91±0,39 <sup>B</sup>
Ацетон, мМоль/л	0,072±0,055	0,076±0,053	0,077±0,048	0,099±0,085
БГБ, мМоль/л	0,044±0,036	0,043±0,035	0,047±0,036	0,053±0,035
Мочевина, мг×100мг <sup>-1</sup>	43,01±6,94 <sup>a</sup>	41,71±7,00	40,33±7,79 <sup>b,A</sup>	46,31±5,82 <sup>B</sup>
ТЗ, °С	-0,528±0,008	-0,528±0,006	-0,527±0,012	-0,530±0,007
pH	6,55±0,07	6,55±0,06	6,53±0,06	6,53±0,07
С14:0, г/100 г	0,41±0,11 <sup>b,A</sup>	0,37±0,10 <sup>a</sup>	0,41±0,10 <sup>b,A</sup>	0,49±0,09 <sup>b,B</sup>
С16:0, г/100 г	1,03±0,24 <sup>b</sup>	0,94±0,21 <sup>a,b</sup>	1,03±0,24 <sup>b</sup>	1,28±0,31 <sup>a,b</sup>
С18:0, г/100 г	0,28±0,07 <sup>b</sup>	0,27±0,07 <sup>b,A</sup>	0,29±0,08 <sup>b,B</sup>	0,38±0,12 <sup>a</sup>
С18:1, г/100 г	1,01±0,227 <sup>a,A</sup>	0,96±0,24 <sup>B,d</sup>	1,05±0,24 <sup>a,c</sup>	1,36±0,50 <sup>b,d</sup>
ДЦЖК, г/100 г	1,27±0,31 <sup>a,A</sup>	1,20±0,34 <sup>d,B</sup>	1,31±0,32 <sup>c</sup>	1,72±0,63 <sup>b,c,d</sup>
СЦЖК, г/100 г	1,57±0,42 <sup>a</sup>	1,43±0,36 <sup>b,c</sup>	1,58±0,40 <sup>c,d</sup>	2,00±0,45 <sup>b,d</sup>
МНЖК, г/100 г	0,94±0,21 <sup>a,A</sup>	0,89±0,23 <sup>a,B,c</sup>	0,98±0,22 <sup>a,B,d</sup>	1,26±0,49 <sup>b</sup>
ПНЖК, г/100 г	0,10±0,02 <sup>b</sup>	0,09±0,02 <sup>b</sup>	0,11±0,02 <sup>a,b</sup>	0,13±0,03 <sup>a,b</sup>
НЖК, г/100 г	2,59±0,68 <sup>b</sup>	2,36±0,61 <sup>a,b</sup>	2,64±0,65 <sup>b</sup>	3,4±0,71 <sup>a,b</sup>
КЦЖК, г/100 г	0,52±0,15 <sup>b</sup>	0,47±0,13 <sup>a,b</sup>	0,52±0,14 <sup>b</sup>	0,67±0,12 <sup>a,b</sup>
ТЖК, г/100 г	0,04±0,02 <sup>a</sup>	0,05±0,03	0,06±0,03 <sup>b</sup>	0,06±0,05

значения достоверных различий между группами: <sup>a,b,c,d</sup>p≤0,001; <sup>A-B</sup>p≤0,05

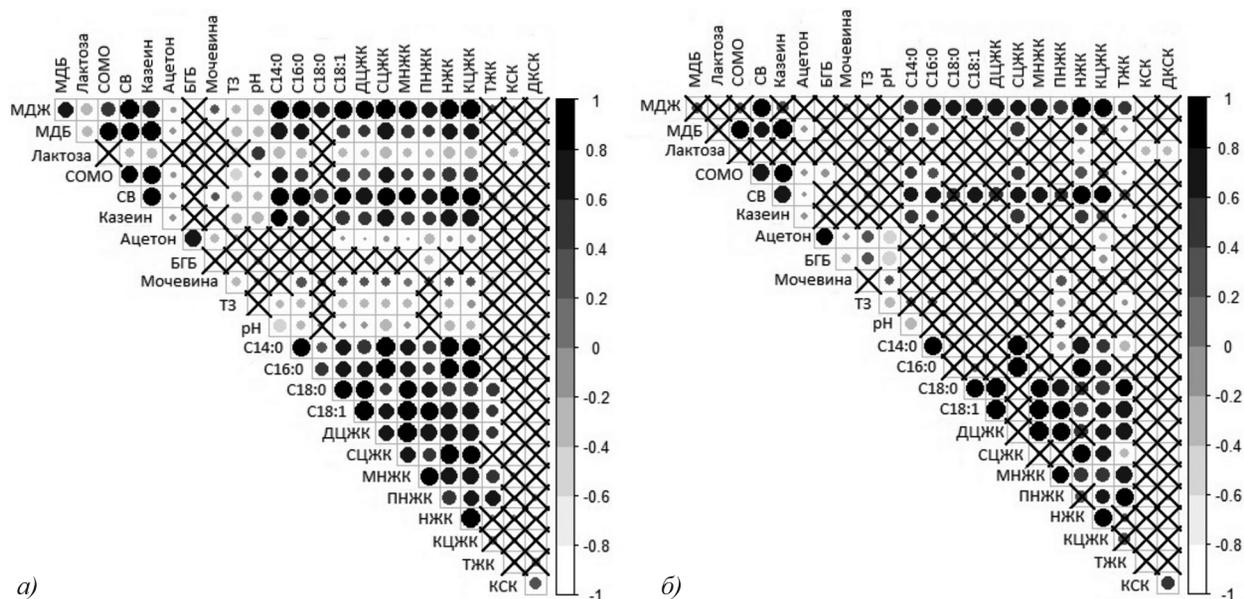
(p≤0,05), но снижение уровня лактозы (p≤0,001). Для группы D, относительно группы A, показано повышение содержания белка и казеина (p≤0,001), а также уменьшение лактозы (p≤0,001). Различие в компонентном составе

проб молока в группе С при сопоставлении с группой В заключалось в снижении содержания лактозы (p≤0,001). Сравнительный анализ групп С и D показал, что переход в хроническую форму течения мастита сопровождается

**Табл. 3. Распределение средних значений основных компонентов молока в зависимости от уровня ДКСК и КСК в пробах молока коров айрширской породы (Mean± Std.Dev)**

Показатель	Группа			
	A (n=1304)	B (n=161)	C (n=148)	D (n=29)
МДЖ, %	3,99±0,64	3,88±0,59 <sup>A</sup>	4,01±0,75	4,26±0,86 <sup>B</sup>
МДБ, %	3,23±0,36 <sup>a</sup>	3,21±0,32 <sup>a</sup>	3,24±0,37	3,52±0,46 <sup>b</sup>
Лактоза, %	4,80±0,15 <sup>a</sup>	4,80±0,13 <sup>a</sup>	4,70±0,22 <sup>a,b</sup>	4,57±0,26 <sup>b</sup>
СОМО, %	9,02±0,40 <sup>A</sup>	9,01±0,35	8,92±0,45 <sup>B</sup>	9,11±0,52
СВ, %	12,81±0,80	12,70±0,76 <sup>A</sup>	12,74±0,93 <sup>A</sup>	13,17±1,13 <sup>B</sup>
Казеин, %	2,69±0,30 <sup>a</sup>	2,68±0,27 <sup>a</sup>	2,69±0,30	2,91±0,37 <sup>b</sup>
Ацетон, мМоль/л	0,132±0,119	0,122±0,080	0,131±0,128	0,149±0,104
БГБ, мМоль/л	0,094±0,124	0,085±0,091	0,103±0,171	0,116±0,122
Мочевина, мг×100 мг <sup>-1</sup>	34,55±7,03	35,06±6,10	34,35±6,69	32,58±6,78
ТЗ, °С	-0,529±0,006	-0,528±0,006	-0,527±0,006	-0,529±0,007
pH	6,54±0,11	6,55±0,10	6,55±0,09	6,50±0,12
С14:0, г/100 г	0,40±0,08 <sup>A</sup>	0,38±0,06 <sup>B</sup>	0,38±0,09 <sup>B,C</sup>	0,42±0,09 <sup>D</sup>
С16:0, г/100 г	0,99±0,19	0,95±0,16	0,97±0,20	1,03±0,20
С18:0, г/100 г	0,36±0,10	0,35±0,09	0,37±0,11	0,38±0,15
С18:1, г/100 г	1,04±0,24 <sup>A</sup>	1,02±0,22	1,09±0,28 <sup>B</sup>	1,13±0,36
ДЦЖК, г/100 г	1,33±0,33	1,31±0,30	1,38±0,39	1,40±0,51
СЦЖК, г/100 г	1,56±0,30	1,50±0,25	1,50±0,31	1,65±0,33
МНЖК, г/100 г	0,97±0,23	0,96±0,20	1,02±0,26	1,07±0,33
ПНЖК, г/100 г	0,11±0,03 <sup>A</sup>	0,11±0,02	0,12±0,03 <sup>B</sup>	0,12±0,04
НЖК, г/100 г	2,66±0,44	2,58±0,38 <sup>A</sup>	2,64±0,48	2,84±0,52 <sup>B</sup>
КЦЖК, г/100 г	0,53±0,10	0,53±0,09	0,54±0,11	0,57±0,12
ТЖК, г/100 г	0,07±0,04 <sup>A</sup>	0,07±0,03	0,08±0,04 <sup>B</sup>	0,09±0,06

Значения достоверных различий между группами: <sup>a,b</sup>p≤0,001; <sup>A-B,C-D</sup>p≤0,05



**Рис. 2.** Корреляционная матрица анализируемых признаков проб молока коров: а) голштинской породы, б) айрширской породы (площади кружков показывают абсолютное значение соответствующих коэффициентов корреляции, чем она больше, тем выше величина коэффициента; интенсивность цвета кружка показывает направление корреляции и соответствует цветовой шкале на графике: от темно-серой до черной – положительная корреляция; от светлой до белой – отрицательная корреляция; × – значение не достоверны).

повышением содержания белка и казеина ( $p \leq 0,001$ ), СВ ( $p \leq 0,05$ ) и доли С14:0 ( $p \leq 0,05$ ), а также падением уровня лактозы ( $p \leq 0,001$ ).

В целом в значительной части выборки проб молока голштинских коров отмечены признаки воспалительных заболеваний вымени разной степени выраженности. Литературные данные свидетельствуют о том, что животные этой породы менее маститоустойчивы, чем коровы айрширской породы. Это может быть обусловлено такими факторами, как морфофункциональные особенности вымени [13], уровень молочной продуктивности [14], а также целенаправленной селекцией на устойчивость к маститу, которая популярна среди айрширских стад России [15].

Анализ корреляционной матрицы изучаемых признаков (рис. 2) показал в молоке голштинских коров наличие достоверных связей только между содержанием лактозы и КСК ( $r = -0,271$  при  $p < 0,05$ ), айрширских коров – между уровнем лактозы с КСК и ДКСК ( $r = -0,255$  и  $r = -0,0258$  при  $p < 0,05$  соответственно). Полученные нами данные согласуются с результатами крупномасштабного исследования, проведенного на 5-и породах молочного и молочно-мясного скота из Китая и таких европейских стран как Австрия, Эстония, Германия и Испания [9]. В совокупности с результатами других исследователей, это позволяет выдвинуть предположение о том, что содержание лактозы может служить дополнительным надежным маркером для диагностики субклинического мастита коров [16, 17].

Таким образом, компонентный состав молока коров подвержен изменениям в зависимости от состояния здоровья вымени. Метод на основе определения комбинации КСК и ДКСК, использованный в исследовании, позволяет выявить животных на более ранней фазе развития болезни (группа В). У голштинских коров группы В установлено ухудшение качества молока, выраженное в снижении содержания белково-жировых фракций (молочного белка и казеина ( $p \leq 0,05$ ), СВ ( $p \leq 0,001$ ), молочного жира ( $p \leq 0,001$ ) и доли жирных

кислот таких как миристиновая (С14:) пальмитиновая (С16:0), олеиновая (С18:1), длинно-, средне- и короткоцепочечных ЖК, насыщенных ЖК и мононенасыщенных ЖК ( $p \leq 0,001$ ;  $p \leq 0,05$ ). Для айрширских коров значимых изменений не выявлено, кроме уменьшения доли миристиновой ЖК (С14:0) ( $p \leq 0,001$ ). В пробах, соответствующих клиническому/субклиническому и хроническому маститу (группа С и D), по сравнению с группой В установлено снижение содержания лактозы в молоке коров обеих пород ( $p \leq 0,001$ ). Таким образом, изменение компонентного состава молока наблюдается уже на этапе первичного иммунного ответа в вымени, что особенно выражено у коров голштинской породы. По мере прогрессирования мастита динамика состава молока у животных голштинской и айрширской породы имеет сходный характер.

### Литература.

1. Nalon E., Stevenson P. Protection of dairy cattle in the EU: State of play and directions for policymaking from a legal and animal advocacy perspective // *Animals*. 2019. Vol. 9(12). P. 1066. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/9/12/1066> (дата обращения: 10.08.2022). doi: 10.3390/ani9121066.
2. The effects of somatic cell count on milk yield and milk composition in Holstein cows / E. Kul, A. Sahin, S. Atasever, et al. // *Veterinarski arhiv*. 2019. Vol. 89(2). P. 143-154. doi: 10.24099/vet.arhiv.0168.
3. Impact of somatic cell count combined with differential somatic cell count on milk protein fractions in Holstein cattle / V. Bisutti, A. Vanzin, A. Toscano, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2022. Vol. 105(8). P. 6447-6459. doi: 10.3168/jds.2022-22071.
4. Inline milk lactose concentration as biomarker of the health status and reproductive success in dairy cows / M. Televicius, V. Juozaitiene, D. Malasauskiene, et al. // *Agriculture*. 2021. Vol. 11(1). P. 38. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/1/38> (дата обращения: 10.08.2022). doi: 10.3390/agriculture11010038.

5. Boutinaud M., Jammes H. Potential uses of milk epithelial cells: A review *Reprod. Nutr. Dev.* 2002. Vol. 42. P. 133–147. doi: 10.1051/rnd:2002013.
6. Chengolova Z., Atanasova M., Godjevargova T. Neutrophil and CD4+ milk cell count related to natural incidence of mastitis in Jersey cattle // *Journal of Dairy Research*. 2021. Vol. 88(3). P. 334–336. doi: 10.1017/S0022029921000510.
7. Immune response in nonspecific mastitis: What can it tell us? / F.N. Souza, M.G. Blagitz, C.F. Batista, et al. // *Journal of dairy science*. 2020. Vol. 103(6). P. 5376–5386. doi: 10.3168/jds.2019-17022.
8. Farschtschi S., Mattes M., Pfaffl M.W. Advantages and Challenges of Differential Immune Cell Count Determination in Blood and Milk for Monitoring the Health and Well-Being of Dairy Cows // *Veterinary Sciences*. 2022. Vol. 9(6). P. 255. URL: <https://www.mdpi.com/2306-7381/9/6/255> (дата обращения: 10.08.2022). doi: 10.3390/vetsci9060255.
9. Investigation of dairy cow performance in different udder health groups defined based on a combination of somatic cell count and differential somatic cell count / D. Schwarz, S. Kleinhans, G. Reimann, et al. // *Preventive Veterinary Medicine*. 2020. No. 183. P. 105123. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016758772030444X> (дата обращения: 10.08.2022). doi: 10.1016/j.prevetmed.2020.105123.
10. Морфологический состав соматических клеток в молоке коров как критерий оценки здоровья молочной железы в связи с продуктивностью и компонентами молока / А.А. Сермягин, И.А. Лашнева, А.А.Косицин и др // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56(6). С. 1183–1198. doi: 10.15389/agrobiology.2021.6.1183rus.
11. Package 'corrplot' / T. Wei, V. Simko, M. Levy, et al. // *Statistician*. 2017. Vol. 56(316). e24. URL: [https://peerj.com/articles/9945/Supplemental\\_Data\\_S10.pdf](https://peerj.com/articles/9945/Supplemental_Data_S10.pdf) (дата обращения 31.08.2022).
12. Bovine subclinical mastitis reduces milk yield and economic return / J.L. Goncalves, C. Kamphuis, C.M.M.R. Martins, et al. // *Livestock Science*. 2018. No. 210. P. 25–32. doi: 10.1016/j.livsci.2018.01.016.
13. Морфофункциональные свойства вымени, экстерьерные особенности и молочная продуктивность коров разных пород / Н.М. Костомахин, Г.П. Табаков, Л.П. Табакова и др. // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2020. № 2. С. 64–84. doi: 10.26897/0021-342X-2020-2-64-84.
14. Беликова А.О. Генетические основы устойчивости молочного скота к маститу // *Генетика и разведение животных*. 2022. № 1. С. 47–53. doi: 10.31043/2410-2733-2022-1-47-53.
15. Болгов А.Е., Комлык И.П., Гришина Н.В. Определение и использование индексов племенной ценности быков по соматическим клеткам молока у дочерей при отборе на резистентность к маститу // *Генетика и разведение животных*. 2020. № 1. С. 3–8. doi: 10.31043/2410-2733-2020-1-3-8.
16. Milk Lactose as a Biomarker of Subclinical Mastitis in Dairy Cows / R. Antanaitis, V. Juozaitiene, V. Jonike, et al. // *Animals*. 2021. Vol. 11(6). P. 1736. doi: 10.3390/ani11061736.
17. A large-scale study of indicators of sub-clinical mastitis in dairy cattle by attribute weighting analysis of milk composition features: highlighting the predictive power of lactose and electrical conductivity / E. Ebrahimie, F. Ebrahimi, M. Ebrahimi, et al. // *Journal of dairy research*. 2018. Vol. 85(2). P. 193–200. doi: 10.1017/S0022029918000249.

Поступила в редакцию 08.09.2022

После доработки 12.10.22

Принята к публикации 11.11.2022

**Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация**

УДК 631.358:633.521

DOI: 10.31857/S2500262722060126, EDN: MKUMKC

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫРАВНИВАНИЯ ЛЕНТЫ РАСТЕНИЙ ВО ВТОРОЙ ФАЗЕ  
РАЗДЕЛЬНОЙ УБОРКИ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА****Ю.Ф. Лачуга<sup>1</sup>**, академик РАН, **А.Н. Зинцов<sup>2</sup>**, доктор технических наук,  
**М.М. Ковалев<sup>3</sup>**, доктор технических наук, **Г.А. Перов<sup>3</sup>**, кандидат технических наук<sup>1</sup>Российская академия наук,  
119334, Москва, Ленинский просп., 32 А<sup>2</sup>Костромская государственная сельскохозяйственная академия,  
156530, Кострома, пос. Караваяево, учебный городок, 34<sup>3</sup>Федеральный научный центр лубяных культур,  
170041, Тверь, Комсомольский проспект, 17/56  
E-mail: m.kovalev@fnclk.ru

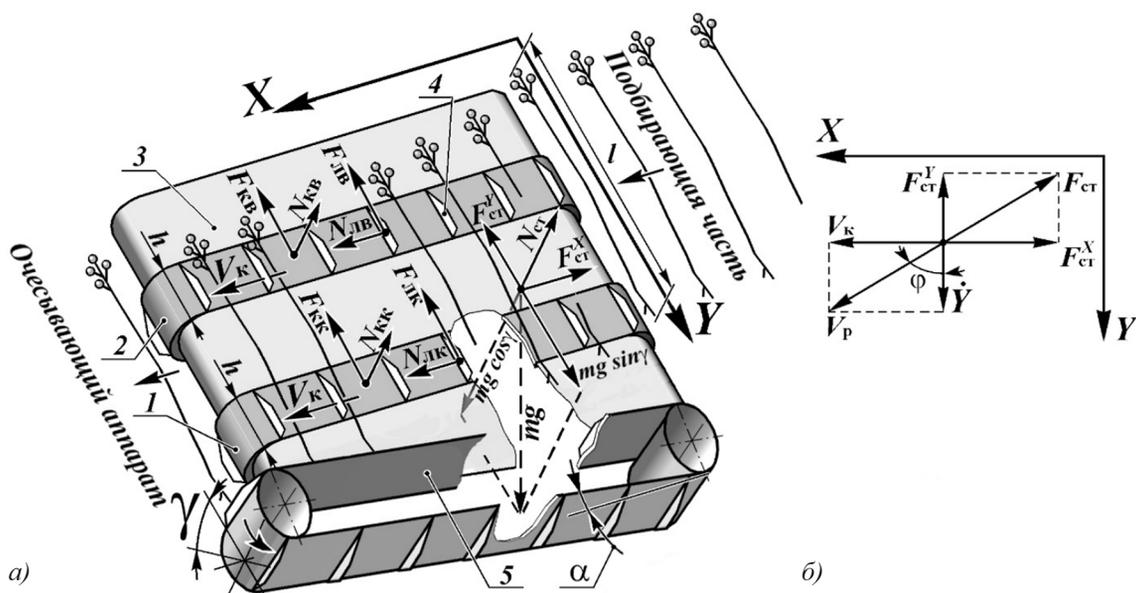
*Для снижения зависимости двухфазной уборки льна-долгунца от метеоусловий целесообразно использовать гребневой очесывающий аппарат. Высокая эффективность процесса очеса может быть обеспечена только после исправления ошибок горизонтального копирования кривизны ленты растений льна подборщиком. Решение этой задачи возможно при помощи выравнивающего устройства, установленного между подбирающей частью и очесывающим аппаратом подборщика-очесывателя. Работа устройства основана на смещениях ленты растений по наклонному столу под действием силы тяжести и (или) выравнивающего конвейера. Цель исследования – обоснование параметров и режимов работы выравнивающего устройства для ориентированной подачи ленты растений в очесывающий аппарат при двухфазной уборке льна-долгунца. Выравнивающее устройство наиболее эффективно работает с сухими растениями при скорости движения конвейеров 1,5 м/с и наклоне стола 60°. При работе с увлажненными растениями активизации исследуемого процесса будет способствовать увеличение ширины конвейеров. Полученные результаты реализованы в конструкции подборщика-очесывателя ПОЛ-1,5К. Оценка эффективности выравнивающего устройства проведена в реальных условиях производства путем видеорегистрации и корреляционно-спектрального анализа процессов изменения ординат вершинной части ленты льна на входе и выходе устройства. Зафиксированы положительные изменения внутренней структуры исследуемых процессов в виде уменьшения средних квадратических отклонений с 7,22 см на входе до 3,33 см на выходе выравнивающего устройства. При этом характер выходных колебаний стал более плавным с увеличением интервала корреляции от 2,1 до 7,8 с и узкополосным с фильтрацией спектра дисперсий в диапазоне частот от 0,3 до 3,3 с<sup>-1</sup>. Отфильтрованные колебания были следствием ошибок копирования ленты льна подборщиком. Качество работы выравнивающего устройства оценивается положительно, так как фактические значения среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации выходного процесса находятся в допустимых пределах.*

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF PLANT RIBBON ALIGNMENT IN THE SECOND PHASE  
OF FIBER FLAX SEPARATE HARVESTING****Lachuga Yu. F.<sup>1</sup>, Zintsov A.N.<sup>2</sup>, Kovalev M. M.<sup>3</sup>, Perov G. A.<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Russian Academy of Sciences,  
119334, Moscow, Leninskii prosp., 32 A<sup>2</sup>Kostroma State Agricultural Academy,  
156530, Kostroma, pos. Karavaevo, uchebnyi gorodok, 34<sup>3</sup>Federal Research Center for Bast Crops,  
170041, Tver, Komsomolsky prosp., 17/56  
E-mail: m.kovalev@fnclk.ru

*In order to reduce the dependence of the two-phase harvesting of fiber flax on weather conditions, it is advisable to use a comb comber to separate the seeds from the stems. The high efficiency of the seed collection process can be ensured only after correcting the errors of horizontal copying of the curvature of the flax plant ribbon by the picker. The solution to this problem is possible with the help of a leveling device installed between the pick-up part and the ridge apparatus of the pick-up stripper. The operation of the device is based on the displacement of the plant belt on an inclined table under the action of gravity and (or) a leveling conveyor. The purpose of the study is to substantiate the parameters and modes of operation of the leveling device for the oriented feeding of the plant strip into the stripper during two-phase harvesting of fiber flax. It has been analytically established that the leveling device works most effectively with dry plants at a conveyor speed of 1.5 m/s and with a table tilt of 60 degrees. When working with moistened plants, an increase in the width of the conveyors will contribute to the activation of the process under study. The obtained results are implemented in the design of the pick-up stripper POL-1.5K. Evaluation of the effectiveness of the leveling device was carried out in real production conditions by video recording and correlation-spectral analysis of the processes of changing the ordinates of the top part of the flax tape at the input and output of the device. Positive changes in the internal structure of the processes under study were recorded in the form of a decrease in standard deviations from 7.22 cm at the input to 3.33 cm at the output of the leveling device. At the same time, the nature of the output oscillations became smoother with an increase in the correlation interval from 2.1 to 7.8 s, and narrow-band with dispersion spectrum filtering in the frequency range from 0.3 to 3.3 s<sup>-1</sup>. The filtered fluctuations were the result of errors in copying the flax sliver by the pick-up. The quality of the leveling device is assessed positively, since the actual values of the standard deviation and the coefficient of variation of the output process are within acceptable limits.*

**Ключевые слова:** лен, технология двухфазной уборки, лента растений, очесывающий аппарат, выравнивающее устройство, смещение, систематическая ошибка.

**Key words:** flax, two-phase harvesting technology, plant belt, combing machine, leveling device, displacement, systematic error.



**Рис. 1. Выравнивающее устройство: 1 – конвейер транспортирующий, комлевой; 2 – конвейер транспортирующий, верхний; 3 – стол; 4 – лопасти; 5 – конвейер выравнивающий; а – распределение сил, действующих на растение; б) распределение скоростей движения растения по поверхности стола ВУ ( $V_k$  – скорость конвейеров 1 и 2;  $\dot{Y}$  – проекция скорости растения  $V_p$  на ось  $Y$ ,  $N_{лв}$  и  $N_{лк}$  – силы воздействия лопастей верхнего и комлевого конвейеров на растении).**

На протяжении многих веков лен был особенно важен для экономики России на самых разных этапах ее политической истории. До 1936 г. Россия была главным поставщиком льняного сырья на мировой рынок и производила около 80 % мирового урожая [1]. Наряду с высокой экономической значимостью, возделывание льна-долгунца – высокозатратное производство. При этом уборка всегда была наиболее трудоемким и энергоемким процессом, который коренным образом влиял на жизнеспособность отрасли [2].

Из всех известных способов уборки льна особого внимания заслуживает двухфазная (раздельная) технология. Ее привлекательность состоит в возможности одновременного получения высококачественной волокнистой продукции и семенного материала при минимальных затратах энергоносителей и времени на сушку и переработку льновороха. Главный недостаток раздельной уборки – зависимость ее второй фазы от погодных условий, что связано с низкой технологической надежностью существующих подборщиков-очесывателей или подборщиков-молотилок при отделении семян с увлажненных растений [3]. Поэтому при раздельной уборке существует определенная вероятность потери семенной части урожая даже при незначительном количестве осадков. Снизить такую зависимость и приравнять обозначенную вероятность к уровню комбайновой уборки возможно при использовании гребневого очесывающего аппарата, надежно работающего в широком диапазоне влажности и спелости растений [4]. Однако это сопряжено с появлением дополнительных помех, сгенерированных ошибками горизонтального копирования ленты растений льна подбирающим рабочим органом. Такие помехи мешают эффективной работе подборщика-очесывателя со снижением чистоты очеса семян до 88,4 % [5]. Поэтому для обеспечения нормальных условий функционирования гребневого очесывающего аппарата при выполнении второй фазы раздельной уборки следует исправлять указанные ошибки перед отделением семян от растений. С учетом этого было предложено [5] использование в конструкции подборщиков-очесывателей

выравнивающего устройства для ориентированной подачи растительной массы в очесывающий аппарат (далее выравнивающее устройство или ВУ), выполненного на основе известного выравнивателя стеблей льна [6, 7] и установленного между подбирающей частью и очесывающим аппаратом машины (рис. 1).

Принцип действия ВУ основан на смещениях ленты растений льна по наклонному столу 3 в двух противоположных направлениях – вниз или вверх. Смещение растений вниз до упора комлями в поверхность выравнивающего конвейера 5 обусловлено влиянием силы тяжести. Сдвигание растительной массы вверх происходит под воздействием того же конвейера, поверхность которого выполнена с подъемом на угол  $\alpha$  относительно направления движения конвейеров 1 и 2. Смещение ленты растений вниз необходимо для исправления ошибок копирования, возникших в результате отклонений подбирающего рабочего органа от ленты льна в сторону ее комлевой части, а вверх – при отклонениях в сторону вершин. Все указанные смещения происходят в процессе передачи ленты растений лопастями 4 конвейеров 1 и 2 от подбирающей части к очесывающему аппарату подборщика-очесывателя. В любом случае величина этих смещений должна быть достаточной для устранения помех, характеризующихся систематической ошибкой горизонтального копирования ленты растений льна подбирающим рабочим органом  $m_{\Delta} = -11,0 \dots +11,4$  см [8].

Возможность сдвигания растительной массы вверх под влиянием рабочей ветви выравнивающего конвейера 5 сомнений не вызывает, так как сила этого воздействия несоизмеримо больше силы тяжести и возникающих при этом сил трения. Для обеспечения такого движения ведущий шкив на входе выравнивающего конвейера 5 за счет угла  $\alpha$  установлен ниже его выходного шкива на 15 см. Обозначенный размер гарантированно превышает возможный диапазон систематических отклонений подбирающего рабочего органа от ленты растений в сторону ее верхинной части.

Однако поведение стеблевой массы в ВУ под комбинированным влиянием силы тяжести, конструкционных

элементов и множества технологических факторов малоизучено и поэтому нуждается в изучении и обосновании.

Цель исследования – обоснование параметров и режимов работы выравнивающего устройства для ориентированной подачи ленты растений в очесывающий аппарат при двухфазной уборке льна-долгунца.

**Методика.** Поскольку состояние структурных параметров ленты растений льна зависит от множества случайных факторов, значения которых невозможно предсказать с высокой степенью точности, то допускаем проведение теоретических исследований поведения ленты льна в ориентирующем устройстве на примере единичного растения.

Известно, что движение любого физического тела по наклонной поверхности под действием силы тяжести зависит от угла наклона этой поверхности к горизонту и коэффициента трения скольжения, а путь, пройденный телом, ограничивается отрезком времени такого движения. Кроме того, движение растений в выравнивающем устройстве происходит также под воздействием элементов его конструкции и возникающих при этом дополнительных внешних сил (см. рис. 1). Для обоснования параметров и режимов работы ВУ спроецируем все эти силы на оси  $X$  и  $Y$ . Сгруппировав полученные проекции по обозначенным направлениям, имеем систему дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{X} &= N_{лв} + N_{лк} - F_{ст}^X; \\ m\ddot{Y} &= mg \cdot \sin\gamma - F_{ст}^Y - (F_{лв} + F_{лк}) - (F_{кв} + F_{кк}) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $m$  – масса растения, г;  $\ddot{X}$  – ускорение растения в горизонтальном направлении,  $m/c^2$ ;  $N_{лв}$  и  $N_{лк}$  – силы воздействия лопастей вершинного и комлевого конвейеров на растение, Н;  $F_{ст}^X$  – проекция силы трения растения по металлической поверхности стола на ось  $X$ , Н;  $\ddot{Y}$  – ускорение растения в направлении наклона стола (ось  $Y$ ),  $m/c^2$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/c^2$ ;  $\gamma$  – наклон стола к горизонту, град.;  $F_{ст}^Y$  – проекция силы трения растения по металлической поверхности стола на ось  $Y$ , Н;  $F_{лв}$  и  $F_{лк}$  – силы трения растения по металлической поверхности лопастей вершинного и комлевого конвейеров, Н;  $F_{кв}$  и  $F_{кк}$  – силы трения растения по резиновой поверхности вершинного и комлевого конвейеров, Н.

Далее следует раскрыть физическую сущность всех слагаемых системы уравнений (1).

Сила трения растения по металлической поверхности неподвижного стола ВУ определяется по выражению:

$$F_{ст} = N_{ст} \cdot f_{ст}, \quad (2)$$

где  $N_{ст}$  – реакция поверхности стола, Н;  $f_{ст}$  – коэффициент трения скольжения растения по металлической поверхности стола.

С учетом того, что стебель растения контактирует с поверхностью стола только частью своей длины, реакция опоры будет пропорциональна указанной части:

$$N_{ст} = mg \frac{l-H}{l} \cos\gamma, \quad (3)$$

где  $l$  – длина льняного стебля, м;  $H$  – суммарная ширина рабочих поверхностей вершинного и комлевого конвейеров выравнивающего устройства,  $H=2h$ , м (см. рис. 1).

Коэффициент пропорциональности  $\frac{l-H}{l}$  определяет часть длины растения, контактирующую с поверхностью стола.

Выражение (2) в развернутом виде будет иметь следующий вид:

$$F_{ст} = mg \frac{l-H}{l} \cos\gamma \cdot f_{ст}. \quad (4)$$

Проекция силы трения  $F_{ст}$  на оси  $X$  и  $Y$  будут равны (см. рис. 1б) соответственно:

$$F_{ст}^X = F_{ст} \cdot \sin\varphi, \quad (5)$$

$$F_{ст}^Y = F_{ст} \cdot \cos\varphi, \quad (6)$$

где  $\varphi$  – направление движения растения по отношению к оси  $Y$ , град.

Сила трения растения о металлическую поверхность лопастей будет равна:

$$F_{л} = N_{л} \cdot f_{л}, \quad (7)$$

где  $N_{л} = N_{лв} + N_{лк}$  – суммарная сила воздействия лопастей вершинного и комлевого конвейеров на растение льна, Н;  $f_{л}$  – коэффициент трения скольжения растения по металлической поверхности лопастей.

Поскольку движение транспортирующих конвейеров происходит только в направлении оси  $X$  с постоянной скоростью  $V_k$ , то ускорение  $\ddot{X}$  растений под воздействием лопастей этих конвейеров в указанном направлении будет равно нулю. Тогда из первого уравнения системы (1) имеем:

$$N_{лв} + N_{лк} = N_{л} = F_{ст}^X. \quad (8)$$

С учетом (4), (5) и (8) выражение (7) примет вид:

$$F_{л} = mg \frac{l-H}{l} \cos\gamma \cdot f_{ст} \cdot \sin\varphi \cdot f_{л}. \quad (9)$$

Сила трения стебля по рабочим поверхностям транспортирующих конвейеров пропорциональна доле  $\frac{H}{l}$  длины растения, которая находится в контакте с указанными рабочими органами:

$$F_{кв} + F_{кк} = mg \frac{H}{l} \cos\gamma \cdot f_k, \quad (10)$$

где  $f_k$  – коэффициент трения скольжения растений по резиновой поверхности транспортирующих конвейеров.

Поскольку анализируемое действие ВУ основано на смещении растительной массы вниз по наклонному столу под влиянием силы тяжести, то дальнейшие исследования этого движения будем проводить только в направлении оси  $Y$ . При этом сумма проекций всех рассмотренных сил, действующих на растения в указанном направлении, будет равна:

$$m\ddot{Y} = mg \cdot \sin\gamma - \frac{mg}{l} \cdot \cos\gamma [f_{ст} \cdot (l-H)(\cos\varphi + f_{л} \cdot \sin\varphi) + f_k \cdot H]. \quad (11)$$

Направление движения растения по отношению к оси  $Y$  с учетом направления скорости транспортирующих конвейеров определяем из треугольника скоростей (см. рис. 1б):

$$\cos\varphi = \frac{\dot{Y}}{\sqrt{\dot{Y}^2 + V_k^2}} \text{ и } \sin\varphi = \frac{V_k}{\sqrt{\dot{Y}^2 + V_k^2}}. \quad (12)$$

Используя полученные выражения (12), представим ускорение растения в направлении оси  $Y$  в виде нелинейного дифференциального уравнения второго порядка:

$$\ddot{Y} = g \cdot \sin\gamma - \cos\gamma \left[ f_k \frac{gH}{l} + f_{ст} \frac{g(l-H)}{l} \left( \frac{f_{л} \cdot V_k + \dot{Y}}{\sqrt{V_k^2 + \dot{Y}^2}} \right) \right]. \quad (13)$$

Из уравнения (13) видно, что смещение растения в направлении оси  $Y$  при работе ВУ зависит от наклона стола –  $\gamma$ , ширины конвейеров –  $H$ , коэффициентов трения растений по рабочим поверхностям устройства –  $f_{ст}, f_{л}, f_k$  и скорости конвейеров –  $V_k$ .

Анализ полученной зависимости выполняли с использованием числовых значений исследуемых параметров, представленных в литературных источниках [9, 10].



Рис. 2. Подборщик-очесыватель ПОЛ-1,5К в работе: а) вид спереди; б) процесс выравнивания ленты льна.

При этом угол наклона стола исследовали в диапазоне значений от 40 до 60°. Нижний предел этого параметра обусловлен особенностями конструкции выравнивающего устройства, верхний – условием вертикальной устойчивости стеблевой массы.

Ширину  $H$  транспортирующих конвейеров учитывали в долях единицы от длины стебля  $l$ . Для реализации

нижнего предела ( $H=0$ ) можно использовать колковый транспортер, тогда подавляющая часть длины растения будет контактировать с неподвижной поверхностью стола. В другом крайнем случае, при  $H=1$  – вся поверхность стола служит транспортирующим конвейером, и растение всей своей длиной  $l$  и массой  $m$  будет воздействовать на его поверхность.

Следует учесть, что при раздельной уборке сбор семян должен быть успешно реализован и в условиях ненастья [11]. Поэтому для практических расчетов необходимо использовать максимальные величины коэффициентов трения скольжения влажных стеблей по резине ( $f_k = 0,6 \dots 0,9$ ) и по стали ( $f_n = f_{ст} = 0,4 \dots 1,0$ ). В связи с тем, что указанные значения различаются несущественно, то было принято решение об использовании в расчетах обобщенного коэффициента  $f$ , изменяющегося в пределах от 0,4 до 1,0.

Диапазон исследуемых скоростей движения транспортирующих конвейеров выравнивающего устройства ( $V_k = 1,5 \dots 3,0$  м/с) продиктован условием нерастягивания ленты льна в переходных зонах на выходе из подбирающей части подборщика-очесывателя и на входе в зажимной транспортер очесывающего аппарата. При этом скорость ремней зажимного транспортера очесывающего аппарата составляет 1,5 м/с, а ремней подбирающей части подборщика-очесывателя – 3 м/с.

Для практической оценки результатов теоретических исследований использовали корреляционно-спектральный анализ процесса выравнивания ленты льна с помощью ВУ при работе макетного образца подборщика-очесывателя ПОЛ-1,5К (рис. 2).

В ходе выполнения программы исследований решали следующие задачи:

получить информацию в виде реализаций процессов изменения ординаты вершинной части ленты льна  $y_b(t)$  на входе и выходе ВУ при работе подборщика-очесывателя ПОЛ-1,5К;

выполнить корреляционно-спектральный анализ входного и выходного процессов  $y_b(t)$ ;

оценить качество работы ВУ.

Объект исследований – процесс выравнивания ленты растений льна при работе подборщика-очесывателя ПОЛ-1,5К.

Сбор необходимой информации проводили путем видеосъемки при работе подборщика-оборачивателя в производственных условиях опытного поля Кост-

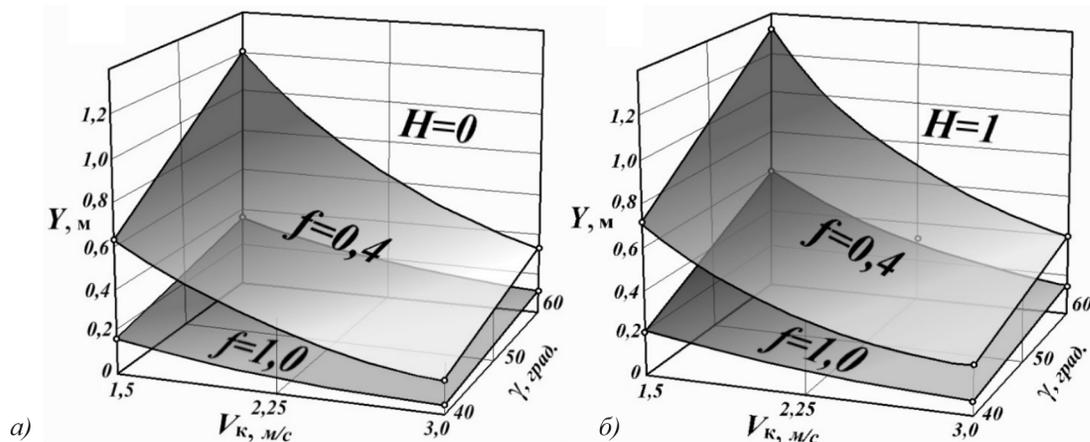


Рис. 3. Зависимость смещения стеблей от исследуемых факторов: а) применение колкового транспортера; б) транспортирующий конвейер вся поверхность стола ВУ.

Числовые характеристики процессов  $y_a(t)$  (вход) и  $y_b(t)$  (выход)

Процесс	$m_y$ , см	$\sigma_y$ , см	$\sigma_{\text{доп.}}$	$V_y$ , %	$V_{\text{доп.}}$ , %	$\tau_0$ , с	$\omega_{\text{op}}$ , с <sup>-1</sup>	$\omega_{\text{cp}}$ , с <sup>-1</sup>
$y_a(t)$ (вход)	50,9	7,22	4,06	14,18	8,11	2,1	0...0,84	3,30
$y_b(t)$ (выход)	46,7	3,33		7,13		7,8	0...0,04	0,30

ромской ГСХА. Положения ленты на входе и выходе ВУ регистрировали в режиме покадрового воспроизведения видеозаписи через каждые пять кадров, то есть с интервалом  $\Delta t=0,1$  с.

Для анализа использовали 600 ординат с длиной реализации  $T=60$  с. Собранную информацию обрабатывали методом оценки временных рядов на ПЭВМ в среде Excel с применением программы STATGRAPHICS Plus 5.0. При этом вычисляли математические ожидания –  $m_y$ , дисперсии –  $D_y$ , средние квадратические отклонения –  $\sigma_y$ , коэффициенты вариации –  $V_y$ , нормированные корреляционные функции –  $\rho_y(\tau)$  и спектральные плотности –  $\sigma_y(\omega)$ . Параметры корреляционных функций оценивали по времени  $\tau_0$  исчезновения корреляционной связи, а спектральные плотности – по частоте среза  $\omega_{\text{cp}}$  и частоте  $\omega_{\text{op}}$ , на которую приходится максимум частотного спектра. Качество работы выравнивающего устройства определяли по вероятности  $P_{\Delta}$  нахождения ординат выходного процесса в заданном поле допуска  $\beta$  [12, 13]. В нашем случае приняли  $\beta=0,1$  и  $P_{\Delta}=0,8$ . При этом допустимые значения коэффициента вариации и среднего квадратичного отклонения были соответственно равны  $V_{\text{доп.}}=8,11\%$ ,  $\sigma_{\text{доп.}}=4,06$  см.

**Результаты и обсуждение.** С использованием уравнения (13) и значений исследуемых параметров были построены графические зависимости смещения несцепленных стеблей в направлении наклона стола выравнивающего устройства от исследуемых факторов (рис. 3).

Визуализация зависимости (13) наглядно свидетельствует о заметном смещении растений в ВУ подборщика-очесывателя в направлении оси  $Y$ , что следует считать положительным фактом. Причем наибольшее смещение наблюдается в зоне минимальных скоростей движения конвейеров ( $V_k = 1,5$  м/с) и коэффициентов трения ( $f = 0,4$ ). Увеличение угла наклона стола до  $60^\circ$  и расширение конвейеров также способствует активизации исследуемого процесса, особенно на пониженных скоростях. При работе машины на более сухой ленте влияние ширины конвейеров уменьшается.

При этом сопоставление возможных значений систематических ошибок копирования ленты растений льна прицепными подборщиками с полученными результатами [8] свидетельствует, что выравнивающее устройство

способно успешно выполнять свои функции во всем диапазоне факторного пространства.

Проверка полученных результатов в реальных условиях функционирования уборочного агрегата подтвердила эффективность нового рабочего органа. Результаты корреляционно-спектрального анализа (см. табл.) и характер реализаций исследуемых процессов (рис. 4) обозначили существенные положительные изменения во внутренней структуре процесса под влиянием работы ВУ подборщика-очесывателя.

При работе ВУ наблюдаются заметные смещения ленты, особенно при тех отклонениях, которые появились в результате подбора ленты за комлевую часть. Вместе с тем, на участке с 23,3 по 23,7 секунды представленного фрагмента отчетливо видна фильтрация противоположных отклонений, возникших в результате подбора ленты за ее верхнюю часть. Таким образом, рабочий процесс ВУ осуществляется как в результате смещения стеблевой массы вниз под действием силы тяжести, так и благодаря сдвиганию вверх рабочей ветвью выравнивающего конвейера, выполненной под наклоном  $\alpha$ . Отмеченные положительные изменения подтверждает двукратное сокращение диапазона разброса ординат исследуемого процесса на выходе из ВУ. При этом характер выходных колебаний стал более плавный с увеличением интервала корреляции  $\tau_0$  от 2,1 до 7,8 с и узкополосный с фильтрацией спектра дисперсий в диапазоне частот от 0,3 до 3,3 с<sup>-1</sup>. Отфильтрованные колебания были следствием ошибок копирования ленты льна подборщиком. За пределами фильтрации остались лишь низкочастотные колебания вершинной части ленты льна, которые возникли на этапе возделывания льна в результате формирования стеблестоя, неравномерного по длине гона, из-за несоблюдения агротехнических требований [14].

Поскольку фактические значения среднего квадратичного отклонения и коэффициента вариации выходного процесса  $y_b(t)$  (см. табл.) находятся в допустимых пределах, то качество работы выравнивающего устройства оценивается положительно.

Таким образом, принцип действия выравнивающего устройства для ориентированной подачи растительной массы в очесывающий аппарат основан на смещениях ленты льна по наклонной поверхности стола под влия-

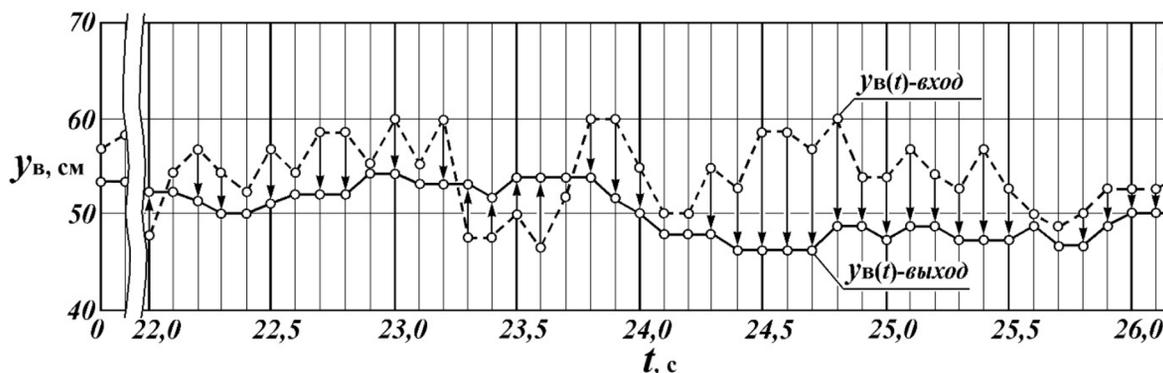


Рис. 4. Фрагмент реализации процесса выравнивания ленты льна в ВУ подборщика-очесывателя ПОЛ-1,5К.

нием силы тяжести и (или) под воздействием рабочей поверхности выравнивающего конвейера. Результаты теоретических исследований показали, что предложенное устройство наиболее эффективно работает с сухими растениями на минимальных скоростях движения конвейеров  $V=1,5$  м/с и при максимальных углах наклона стола  $\gamma=60^\circ$ . При работе на увлажненных лентах активизации исследуемого процесса будут способствовать более широкие конвейеры ( $H \rightarrow \max$ ). Полученные значения смещений во всем факторном пространстве превышают диапазон обозначенных ранее ошибок, что свидетельствует о возможности выравнивания ленты растений льна перед подачей в очесывающий аппарат подборщика-очесывателя. Результаты корреляционно-спектрального анализа процесса выравнивания ленты льна в реальных условиях функционирования уборочного агрегата продемонстрировали существенное сглаживание выходных колебаний с увеличением интервала корреляции  $\tau_0$  от 2,1 до 7,8 с и фильтрацией спектра дисперсий в диапазоне частот от 0,3 до 3,3 с<sup>-1</sup>. Отфильтрованные колебания были следствием ошибок копирования ленты льна подборщиком, что подтверждает эффективность работы выравнивающего устройства.

### Литература

1. Akin D.E. *Linen Most Useful: Perspectives on Structure, Chemistry, and Enzymes for Retting Flax* / *International Scholarly Research Notices*. Vol. 2013, Article ID 186534. 2013. URL: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2013/186534/> (дата обращения: 04.06.2022). doi: 10.5402/2013/186534.
2. Основные проблемы научного обеспечения льноводства / Р.А. Ростовцев, В.Г. Черников, И.В. Ущановский и др. // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т.14. №3. С. 45-52. doi: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.
3. Поздняков Б.А. Актуальные направления совершенствования системы машин для уборки льна-долгунца // *Техника и оборудование для села*. 2019. № 8 (266). С. 2–6. doi: 10.33267/2072-9642-2019-8-2-6.
4. Галкин А.В., Фадеев Д.Г., Ущановский И.В. Исследование качественных характеристик льноволокна в зависимости от конструкции очесывающего аппарата // *Вестник Мордовского университета*. 2018. Т. 28. №3. С. 389-399. doi: 10.15507/0236-2910.028.201803.389-399.
5. Научные аспекты повышения эффективности процессов очеса семенных коробочек при двухфазной уборке льна-долгунца / Ю.Ф. Лачуга, А.Н. Зинцов, М.М. Ковалев и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. №1. С. 53-58. doi: 10.31857/S2500262722010094.
6. Зинцов А.Н., Ковалев М.М., Перов Г.А. Вероятностная модель кинематики устройства для уменьшения растянутости стеблей льна-долгунца в ленте // *Инженерные технологии и системы*. 2022. Т. 32. № 1. С. 126–144. doi: 10.15507/2658-4123.032.202201.126-144.
7. Исследование инновационного процесса комлеподбивания стеблей в слое при оборачивании лент льна-долгунца / А.Н. Зинцов, М.М. Ковалев, В.Н. Соколов и др. // *Наука в центральной России*. 2021. №4(52). С. 40-50. doi: 10.35887/2305-2538-2021-3-40-50
8. Зинцов А.Н. Ошибки копирования ленты стеблей льна-долгунца прицепными подборщиками // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2017. №2. С.84-87.
9. Контактное и трение стеблей льна в льноуборочных машинах / И.И. Беркович, М.В. Крюков, Л.В. Родионов и др. // *Механика и физика фрикционного контакта: Межвуз. сб. науч. тр. / под ред. Н.Б. Демкина*. Тверь: ТГТУ, 2003. С. 10 – 104.
10. Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. *Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства)*. М.: ИК «Родник», 1998. 208 с.
11. Льноуборочные машины / Г.А. Хайлис, Н.Н. Быков, В.Н. Бухаркин и др. М.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
12. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1977. 528 с.
13. Горлач Б. А. Теория вероятностей и математическая статистика: учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 320 с.
14. Goudenhoofit C., Bourtaud A., Baley C. Flax (*Linum usitatissimum* L.) Fibers for Composite Reinforcement: Exploring the Link Between Plant Growth, Cell Walls Development, and Fiber Properties. Review article // *Front. Plant Sci*. 2019. No. 3. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00411/full> (дата обращения: 10.06.2022). doi: 10.3389/fpls.2019.00411

Поступила в редакцию 07.07.2022

После доработки 01.09.2022

Принята к публикации 15.10.2022

## КОНСТРУКТИВНАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ВЫСЕВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

**Б.Х. Ахалая**<sup>1</sup>, кандидат технических наук, **Ю.Х. Шогенов**<sup>2</sup>, академик РАН,  
**С.И. Старовойтов**<sup>1</sup>, доктор технических наук, **С.А. Квас**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ  
109428, Москва, 1-й Институтский пр., 5, стр. 1  
E-mail: badri53@yandex.ru

<sup>2</sup>Российская академия наук  
119991, Москва, Ленинский просп., 32  
E-mail: yh1961s@yandex.ru

*Исследование проводили с целью конструктивной модернизации пневматического высевающего аппарата, повышающего производительность работы посевного агрегата при сохранении качества и точности посева семян. Представленное высевающее устройство работает на избыточном давлении воздушного потока, что позволяет проводить посев семян нескольких зерновых культур с использованием одного дозатора. Дозатор содержит три части в виде ячеек дисков, размещенных на одной оси, ячейки на всех дисках выполнены в виде конусовидных отверстий, соответствующих размерам посевного материала культуры. Высевающие диски связаны между собой с возможностью вращения вокруг горизонтальной оси. Посев семян с каждого диска происходит через комбинированный патрубок, разделенный на три сопла отдельно для каждого диска. Заделка семян каждой культуры осуществляется трехуровневым полозовидным сошником. Использование разработанной конструкции дает возможность высевать семена трех культур по различной схеме и размещать их на разную глубину. Конструктивно высевающий диск и полозовидный сошник выполнены в комбинированном виде. Связь составных частей высевающего диска обеспечивает прижимная втулка. Конструктивные элементы полозовидного сошника скреплены болтами. Детали высевающего диска и сошника равны геометрически по ширине и могут фиксировано смещаться одна относительно другой. Семена воздушным потоком от основного патрубка направляются с высоты 10...12 см от высевающего диска вниз на горизонтальную поверхность почвы. Для устранения отскока от земли зерновка подхватывается компенсирующей скоростью движения сеялки воздушным потоком из дополнительного патрубка, установленного под углом 30° относительно горизонтальной поверхности под высевающим диском. Это дает возможность увеличить скорость в рабочем режиме и способствует росту производительности на 5...7% при сохранении точности и качества посева, снижению повреждаемости семян на 0,2%.*

## CONSTRUCTIVE MODERNIZATION OF PNEUMATIC SEEDING DEVICES

**Akhalaya B.Kh.**<sup>1</sup>, **Shogenov Yu.Kh.**<sup>2</sup>, **Starovoitov S.I.**<sup>1</sup>, **Kvas S.A.**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM,  
109428, Moskva, 1-i Institutskii pr., 5, str.1  
E-mail: badri53@yandex.ru

<sup>2</sup>Russian Academy of Sciences,  
119991, Moskva, Leninskii prosp., 32  
E-mail: yh1961s@yandex.ru

*The study was carried out with the aim of constructive modernization of the pneumatic seeding machine, which increases the productivity of the unit while maintaining the quality and accuracy of seeding. The presented seeding device operates at excessive air flow pressure, which allows seeding of seeds of several grain crops using a single dispenser. The dispenser contains three parts in the form of cellular disks placed on one axis, the cells on all disks are made in the form of cone-shaped holes corresponding to the size of the culture seed. The seeding discs are interconnected with the possibility of rotation around a horizontal axis. The seeds are sown from each disc through a combined nozzle divided into three nozzles separately for each disc. The sealing of the seeds of each crop is carried out by a three-level polozovidny coulter. The application of the developed design of the seeding device makes it possible to sow seeds of three crops according to a different scheme and place them at different depths. Structurally, the sowing disc and the polozovidny coulter are made in a combined form. The connection of the components of the sowing disc is provided by a clamping sleeve. The structural elements of the polozovidny coulter are bolted together. The details of the sowing disc and the coulter are geometrically equal in width and can be fixed relative to each other. Seeds are directed by the air flow from the main branch pipe from a height of 10... 12 cm from the sowing disc down to the horizontal surface of the soil. To eliminate the bounce from the ground, the seedling is picked up by the air flow compensating the speed of the drill from an additional nozzle installed at an angle of 30° relative to the horizontal surface under the sowing disc. This makes it possible for the seeder to move at a higher speed in operating mode and contributes to an increase in its productivity by 5... 7% while maintaining the accuracy and quality of sowing, reducing seed damage by 0.2%.*

**Ключевые слова:** бункер для семян, высевающее устройство, дозатор, сопло, трехуровневый сошник.

**Key words:** seed hopper, seeding device, dispenser, nozzle, three-level coulter.

Совмещение посевов различных культур способствуют повышению продуктивности сельскохозяйственных угодий, благодаря улучшению эффективности фотосинтеза, повышению плодородия почвы и устойчивости растений к стрессам, культур. Такой способ посева, в основном, предназначенный для силосных культур и

востребован как крупными сельскохозяйственными предприятиями, так и небольшими фермерскими хозяйствами.

Важную роль в формировании урожая в таких посевах играет способ посева и норма посева семян [1, 2, 3]. Для этого используют различного рода высевающие

аппараты, работающие с наибольшей эффективностью и минимальным повреждением семян.

К косвенным преимуществам совмещенных посевов можно отнести меньшее уплотнение почвы, экономии горюче-смазочных материалов и сокращение посевных площадей [4-6].

Цель исследования – разработка модернизированного пневматического высевача, повышающего производительность работы агрегата и качество высева семян.

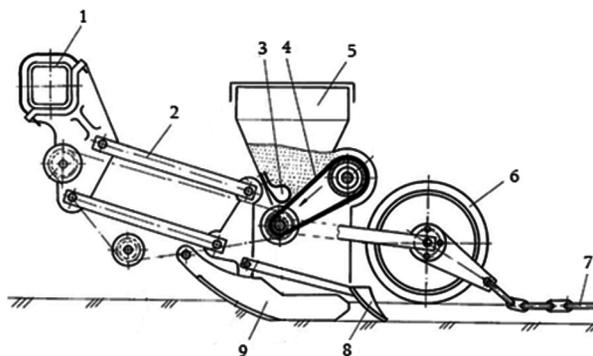
**Методика.** В статье рассматривается два разных пневматических высевача, один из которых работает на избыточном воздушном потоке, другой – на вакууме. Анализ существующих конструкций высевача показал, что техническое устройство, реализующее совмещенный посев, должно иметь две дозирующие системы, функционирующие в определенной последовательности, и общий сошник, обеспечивающий заделку семян на различной глубине. Исходя из этого, была создана система высева, работающая на избыточном давлении воздушного потока, с использованием которой можно проводить одновременный посев двух-трех культур с размещением семян в почве на глубину, необходимую для каждого вида растений. Такая конструкция была реализована в пневматической сеялке, которую можно использовать для однозернового, совмещенного и гнездового посева семян пропашных, бобовых и кормовых культур. Кроме того, была модернизирована конструкция высевача аппарата однозернового пунктирного высева семян под воздействием вакуума.

Основные способы посева кукурузы и ряда других пропашных культур – пунктирный, совмещенный и гнездовой. Исходя из этого необходима разработка высокоэффективной посевной техники, технические требования к которой могут быть сформулированы следующим образом: сеялка должна обеспечивать посев заданного количества семян кукурузы на 1 га в пределах от 20...30 тыс. шт. в засушливых районах до 40...50 тыс. шт. в районах с более обильными осадками и 60...70 тыс. шт. на орошаемых участках; ширина междурядья должна составлять 70...80 см, а в засушливых районах 90...100 см. Она должна обеспечивать высева не только семян кукурузы, но и ряда других возделываемых культур, а также одновременный посев нескольких видов семян при уплотненных посевах (кукурузы с фасолью, кукурузы с кабачками, кукурузы с соей) и внесение минеральных удобрений.

**Результаты и обсуждение.** Для посева семян различных сельскохозяйственных культур пунктирным, совмещенным и гнездовым способами с соблюдением агротехнических требований была разработана конструкция сеялки с пневматическими высевачами аппаратами, действующими на основе избыточного давления воздушного потока (рис. 1).

Высевач (рис. 2) для совмещенного высева семян состоит из бункера для семян 1, вала 2, дозатора, содержащего три элемента, выполненных в виде высевача дисков 3 с соединительной втулкой 4, и ячеек 5, размещенных на торцевой поверхности.

Пневмовысевающая система сеялки состоит из патрубков 6 и 7, один из них содержит три сопла, установленных над отверстием диска, второй – подведен к высевачу диску с нижней стороны и установлен под углом 10...15° к горизонтальной плоскости. Высеваче устройство по бокам прикрыто крышками 8, а снизу к нему прикреплен полозвидный сошник 9, состоящий из трех частей для каждого высевача диска отдель-



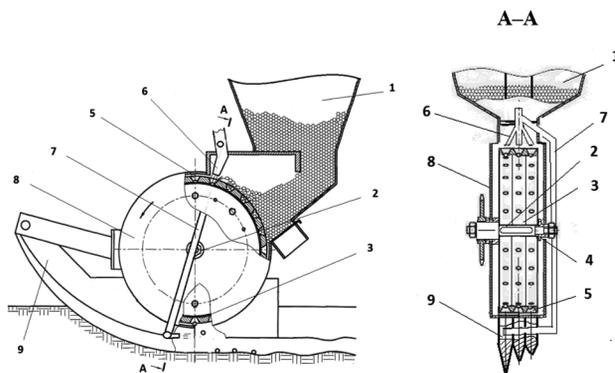
**Рис.1.** Схема сеялки с пневматическим высевачим аппаратом для совмещенного высева семян нескольких культур: 1 – рама сеялки; 2 – параллелограммный механизм подвески; 3 – заслонка; 4 – цепная передача; 5 – бункер для семян с высевачим аппаратом; 6 – прикатывающее колесо; 7 – шлейф; 8 – заготовка; 9 – полозвидный сошник.

но. Сошник изготовлен ступенчатым, что позволяет укладывать семена на разную глубину заделки.

Во время работы высевача устройства посевной материал из бункера поступает в ячейки конической формы, которые вместе с заполненными семенами, проходят зону воздушного потока, где происходит выдувание всех семян за исключением одного. Высевачие диски вместе с одним оставшимся на дне конической ячейки семенем смещаются к месту его сброса воздушным потоком, поступающим из патрубка 7. После этого семена укладываются на дно борозды, открытой трехступенчатым полозвидным сошником.

Высевачий диск и полозвидный сошник выполнены составными. Три составляющих высевача диска связаны между собой прижимной втулкой, элементы полозвидного сошника скреплены болтами. Составляющие элементы высевача диска и сошника равны по ширине и фиксируются с возможностью смещения.

При окружной скорости вращения диска исследуемого пневматического высевача аппарата избыточного давления менее 0,3 м/с вокруг ячейки из-за разрежения скапливается избыточное число семян. Их удаляет воздушный поток поступающий из воздушного сопла, растекаясь по поверхности диска. Если скорость диска больше 0,3 м/с избыток семян не образуется, поскольку



**Рис. 2.** Пневматический высевачий аппарат для совмещенного высева семян нескольких культур: 1 – бункер для семян; 2 – ось; 3 – составной высевачий диск; 4 – прижимающая втулка; 5 – ячейка высевача; 6 и 7 – патрубки; 8 – крышка высевача; 9 – составной сошник.

скорость воздушного потока в этом случае возрастает. При этом семя, находящееся в сквозной конической ячейке, не удаляется, так как оно плотно прижато к отверстию дна ячейки.

Для удаления семян и направления их в борозду в нижней части высевающего диска, взамен металлического выталкивателя, применяемого в известных устройствах, установлен патрубок, выдувающий семена сжатым воздухом. Это способствует снижению их повреждаемости и тем самым увеличивает урожайность выращиваемых культур.

Для каждой культуры в лаборатории почвообработывающих и мелиоративных машин ФНАЦ ВИМ определена критическая скорость воздушного потока вытекающего из патрубков 6 (см. рис. 2). Например, для семян кукурузы она равна 18 м/с, сои – 24 м/с. При таких величинах в почве образуется воронка глубиной в 1...2 аксиальных размера зерновки каждой культуры. При скоростях воздушного потока выше критических значений происходит увеличение размеров воронки и перемещение или попадание отдельных зерновок на откосы гнезда. Это может привести к выдуванию семени из ячейки, что уменьшает их количество в рядке и соответственно в дальнейшем снижает урожайность.

Модернизированный пневматический высевающий аппарат вакуумного действия (рис. 3) работает по такому же принципу, что и высевающий аппарат серийно выпускаемой сеялки СУПН-8, но с существенными изменениями в конструкции пневмовысевающей системы. Она обеспечивает принудительное выталкивание, транспортировку и укладку семян на дно борозды с повышенной скоростью, что увеличивает производительность устройства [7, 8, 9].

Высевающий аппарат состоит из корпуса 1, внутри которого имеется камера разрежения 2 и приемная семенная камера 3. На валу 4 с горизонтальной осью вращения размещен высевающий диск 5, на котором выполнены отверстия 6. Кроме того, на валу 4 размещена резиновая ворошилка 7. Вентилятор 8 патрубком 9 связан с камерой разрежения 2. Нагнетающий патрубок 10 разделен на два рукава 11 и 12. Рукав 11 ориентирован по горизонтали относительно продольной оси отверстия 6 в верхней части диска 5. Рукав 12 располагается вертикально в зоне сброса семян в нижней части высевающего диска 5.

Работает устройство следующим образом [10, 11, 12]. В камере 2 при работе вентилятора 8 через патрубок 9 создается разрежение. В результате несколько семян прижимается к отверстию 6 в верхней половине высевающего диска 5. Лишние семена, присосавшиеся вокруг основного, удаляются воздушным потоком с помощью рукава 11, а семя, прижатое к отверстию, вместе с вращающимся высевающим диском перемещается в нижнюю часть высевающего аппарата.

Воздушный поток, подводимый через рукав 12, выдувает семя из отверстия 6 и сообщает ему дополнительную скорость. Это увеличивает скорость перемещения семени, по сравнению со скоростью его свободного падения, что позволяет увеличить угловую скорость вращения диска 5 высевающего аппарата.

В то же время большая разница между скоростью падающего семени и движения сеялки может привести к нарушению схемы посева, увеличению или сокращению количества семян на одном погонном метре. Для снижения неравномерности размещения семян в рядке под высевающим диском под углом 30° к горизонтальной плоскости, который определен экспериментальным путем, установлен дополнительный патрубок 3 (рис. 4).

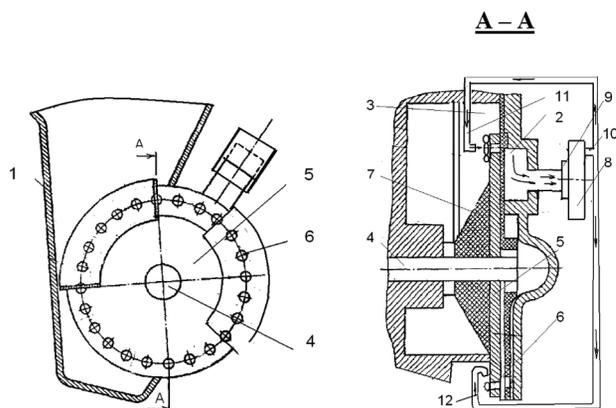


Рис. 3. Макетный образец высевающего аппарата, работающего на вакууме: 1 – бункер для семян; 2 – камера разрежения; 3 – приемная семенная камера; 4 – ось; 5 – высевающий диск; 6 – отверстие; 7 – ворошилка семян; 8 – вентилятор; 9 – патрубок; 10 – нагнетающий патрубок; 11 и 12 – рукава.

Скорость воздушного потока, исходящего из патрубка, равна поступательной скорости сеялки, но противоположна по направлению. При горизонтальной укладке семян в борозду с небольшой высоты (5...7 см) их отскок в момент удара о почву отсутствует, для этого воздушный поток из дополнительного патрубка 3 меняет направления движения семян, вертикально падающих с высоты 10...12 см, переводя его в горизонтальную плоскость и сбивая скорость перемещения семян. Это дает возможность сеялке с экспериментальными высевающими аппаратами двигаться с более высокой скоростью при сохранении качества посева, что способствует росту производительности на 5...7 %.

Разработанный пневматический высевающий аппарат в процессе посева не повреждает семена, так как используется не механическая система удаления семян из ячейки и направления их в борозду, как в серийной СУПН-8, а пневматическая. Доля пустых гнезд в борозде из-за пропусков семян в процессе посева в среднем составляет 8,5...9,0 %, нарушение равномерности распределения семян в ряду – 0,7 %, а повреждение семян при посеве – 0,2 %.

Результаты исследований свидетельствуют, что высевающие системы вакуумного действия обеспечивают

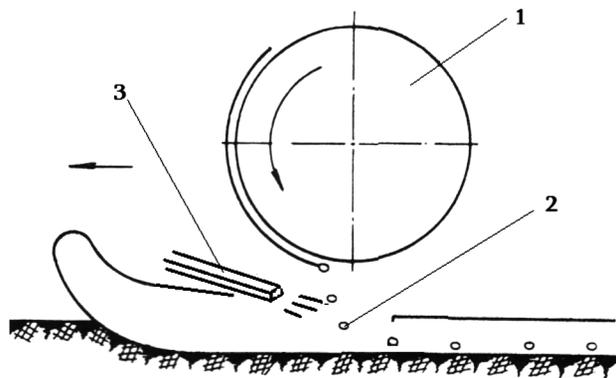


Рис. 4. Схема транспортировки семян в борозду: 1 – высевающий диск; 2 – семя; 3 – дополнительный патрубок под высевающим диском вакуумного высевающего аппарата.

более высокую точность распределения семян вдоль рядка, чем аппараты избыточного давления.

Из анализа проведенных исследований по сравнительной оценке разработанных конструкций высевальных устройств можно заключить, что с увеличением линейной скорости высевального диска качество высева семян аппаратом с избыточным давлением воздуха ухудшается на 0,3...0,5 %. Тем не менее разработанные конструкции высевальных аппаратов обеспечивают соблюдение агротехнических требований при посеве.

Дозирующая система устройства, работающего на вакууме, лучше адаптирована к различным геометрическим параметрам семян и их физико-механическим свойствам. В то же время пневматический высевальный аппарат, работающий на избыточном давлении воздушного потока обеспечивает высева семян пунктирным, совмещенным и гнездовым способами. С экономической точки зрения такие посевы выгоднее, чем одновидовые, благодаря более эффективному использованию пашни, рациональному распределению во времени труда рабочих, максимальному использованию возможностей комплексных сельскохозяйственных машин. Кроме того, высевальные аппараты с избыточным давлением для совмещенного высева семян нескольких культур снижает экологическую нагрузку на окружающую среду и расход горюче-смазочных материалов благодаря сокращению числа проходов агрегата.

Таким образом, разработанное устройство, работающее сжатым воздухом, дает возможность проводить совмещенный посев семян до трех культур с точным размещением их в ряду с заданным чередованием. В случае необходимости высевальное устройство легко перестраивается на одновидовый посев с увеличенной нормой высева.

Удаление лишних присосавших к отверстию семян потоком воздуха в обоих разработанных высевальных аппаратах обеспечивает более низкий уровень механического повреждения семян, по сравнению с существующими аналогами с металлическим выталкивателем.

Модернизированный высевальный аппарат для серийной сеялки СУПН-8, благодаря повышению производительности (на 5...7 %), снижению повреждаемости семян (на 0,2 %) и степени неравномерности пунктирного высева (на 0,7 %) обеспечивает значимое повышение урожайности сельскохозяйственной культуры при меньших расходах семян.

#### Литература

1. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергооб-

- спечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе / Ю.Ф. Лачуга, А.Ю. Измайлов, Я.П. Лобачевский и др. // *Техника и оборудование для села*. 2019. № 6(266). С.2-8.
2. Ким А.А., Миклашевич В.Л. Пневматический высевальный аппарат точного высева для мелкосеменных культур // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2016. №2. С. 234-238.
3. Фирсов А.С., Голубев В.В. Результаты исследования параметров и режимов работы дискового пневматического высевального аппарата для льна // *Агротехника и энергообеспечение*. 2016. № 3. С. 43-45.
4. Лобачевский П.Я. Закономерности оптимальной подачи семян аппаратом точного высева // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2003. № 2. С. 20.
5. Экономически эффективный и экологически обоснованный способ уплотненных посевов сельхозкультур / Я.П. Лобачевский, Б.Х. Ахалая, О.А. Сизов и др. // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. №6. С.4-8.
6. Экспериментальные исследования по разработке автоматизированной системы регулирования плотности почвы посевной машины / А.С. Дорохов, А.В. Сибирев, А.Г. Аксенов и др. // *Агроинженерия*. 2021. № 2 (102). С. 9-15.
7. Performance comparison of residue management units of no-tillage sowing systems: A review / K. Aikins, L. Diogenes, A. Troy, et al. // *Engineering in Agriculture, Environment and Food*. 2019. Vol. 12. No. 2. P. 181-190.
8. Evaluation of seed dressing dust dispersion from maize sowing machines / P. Balsari, M. Manzone, P. Marucco, et al. // *Crop Protection*. 2013. Vol. 55. No. 7. P. 19-23.
9. Akhalaya B.Kh. A laboratory study of the pneumatic sowing device for dotted and combined crops // *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2019. Vol. 50. No. 1. P. 57-59.
10. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х. Влияние турбулентного воздушного потока на качество высева семян // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018. № 1. С. 54-57.
11. Ахалая Б.Х. Модернизация пневматической сеялки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. №1. С.35-36.
12. Пат №126888 РФ. Пневматический высевальный аппарат / Б.Х. Ахалая и др. // *Бюл.* 2015. №30.

Поступила в редакцию 06.07.2022  
После доработки 19.08.2022  
Принята к публикации 27.09.2022