

ISSN 2500-2627

Номер 4

Июль - Август 2024



РОССИЙСКАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ НАУКА

Научно-теоретический журнал



НАУКА

— 1727 —

Земледелие и мелиорация

- Д. А. Иванов, Н. А. Хархардинов, К. С. Курпас**
Прогнозирование урожайности травосмесей для целей адаптивно-ландшафтного земледелия 3
- А. С. Степанов, Г. В. Харитонов, Т. А. Асеева, А. Л. Верхотуров, К. Н. Дубровин, А. Н. Фролов**
Исследование внутривидовых неоднородностей развития посевов сои по данным ДЗЗ и свойствам пахотного горизонта (на примере юга Дальнего Востока) 8
- В. И. Зотиков, К. Ю. Зубарева**
Использование микробиологических препаратов при возделывании перспективных сортов сои в условиях Орловской области 14

Растениеводство, защита и биотехнология растений

- В. М. Косолапов, Л. Д. Сайфутдинова, В. И. Чернявских, Е. В. Думачева**
Проявление селекционных признаков и свойств кормовой продуктивности у групп сортообразцов люцерны с различной устойчивостью к вирусно-фитоплазменным инфекциям 20
- Н. Н. Зезин, П. Ю. Овчинников**
Оценка различных по скороспелости гибридов кукурузы по кормовой продуктивности в условиях лесолуговой зоны Среднего Урала 24
- О. Н. Шуплецова, Г. А. Баталова, Е. В. Товстик, Д. В. Попыванов, Ю. А. Злобина, О. Е. Кононова, О. А. Жуйкова**
Оценка адаптационной способности регенерантных и исходных генотипов овса к почвенным стрессорам 29
- Н. Н. Савельева, М. И. Козаева**
Определение адаптационных возможностей различных видов, форм и сортов яблони на основе показателей эндофитной и эпифитной микробиоты 36
- А. С. Ткач, А. С. Голубев, В. И. Долженко**
Эффективность совместного применения фомесафена и кломазона для борьбы с сорными растениями в посадках картофеля 41

Зоотехния и ветеринария

- Т. Н. Хамируев**
Селекционно-генетические параметры продуктивности овец (*Ovis aries*) забайкальской породы хангильского типа 47
- А. В. Мифтахутдинов, Е. А. Ноговицина, М. П. Лазарева, Е. В. Акентьева**
Изучение отдельных адаптационных механизмов и морфологических закономерностей у цыплят-бройлеров на фоне фармакологической профилактики сочетанного предубойного, теплового и транспортного стрессов в промышленном птицеводстве 53
- Л. И. Дроздова, А. С. Красноперов, О. Ю. Опарина, С. В. Малков, А. И. Белоусов, А. Е. Черницкий**
Влияние композиции гепатопротективного действия на биохимические и морфо-структурные изменения в организме кур-несушек при тепловом стрессе 61

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

- В. М. Коротченя, Ю. С. Ценч, Я. П. Лобачевский**
Система машин как фактор научно-технического прогресса в агропромышленном комплексе 67

Contents

Agriculture and land reclamation

D. A. Ivanov, N. A. Kharkhardinov, K. S. Kurpas

On the issue of forecasting crop yields for the purposes of adaptive landscape agriculture 3

A. S. Stepanov, G. V. Kharitonova, T. A. Aseeva, A. L. Verkhoturov, K. N. Dubrovin, A. N. Frolov

Investigation of in-field heterogeneities in the development of soybean according to remote sensing data and properties of the plow horizon (on the example of the south of the Far East) 8

V. I. Zotikov, K. Iu. Zubareva

Use of microbiological preparations in the cultivation of promising soybean varieties in the Oryol region 14

Agriculture and land reclamation Crop production, plant protection and biotechnology

V. M. Kosolapov, L. D. Sajfutdinova, V. I. Cherniavskih, E. V. Dumacheva

Manifestation of selection traits and properties of forage productivity in groups of alfalfa varieties with different resistance to viral and phytoplasma infections 20

N. N. Zezin, P. Yu. Ovchinnikov

Estimation of corn hybrids of different early maturity by fodder productivity in the conditions of the forest-meadow zone of the Middle Urals 24

O. N. Shupletsova, G. A. Batalova, E. V. Tovstik, D. V. Popyvanov,

Yu. A. Zlobina, O. E. Kononova, O. A. Zhuikova
Assessment of the adaptive ability of regenerant and original oat genotypes to soil stressors 29

N. N. Saveleva, M. I. Kozaeva

Determination of adaptive capabilities of various types, forms and varieties of apple trees based on endophytic and epiphytic microbiota indicators 36

A. S. Tkach, A. S. Golubev, V. I. Dolzhenko

Efficacy mixture of fomesafen and clomazone for weed control in potato 41

Animal science and veterinary medicine

T. N. Khamiruev

Selection and genetic parameters of productivity of sheep (*Ovis aries*) of the Trans-Baikal breed of the Khangil type 47

A. V. Miftakhutdinov, E. A. Nogovitsina, M. P. Lazareva, E. V. Akentyeva

Study of special adaptation mechanisms and morphological regularities of broiler chickens against the background of pharmacological prevention combined pre-slaughter, heat and transport stress in industrial poultry farming 53

L. I. Drozdova, A. S. Krasnoperov, O. Yu. Oparina, S. V. Malkov, A. I. Belousov, A. E. Chernitsky

The effect of the composition of hepatoprotective action on biochemical and morphostructural changes in the body of laying hens under thermal stress 61

Mechanization, electrification, automation and digitalization

V. M. Korotchenya, Yu. S. Tsench, Ya. P. Lobachevsky

The machine system as a factor of scientific and technological progress in agro-industrial complex 67

Земледелие и мелиорация

УДК 631.5:631.6:911.2

DOI 10.31857/S2500262724040015 EDN FLQQPS

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ТРАВΟΣМЕСЕЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ
АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**© 2024 г. Д. А. Иванов, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН,
Н. А. Хархардинов, К. С. КурпасФедеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева»,
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Исследования проводили с целью нахождения закономерностей влияния условий ландшафтной среды на урожайность клеверотимофеечных травостоев 1 года пользования в различных агроклиматических обстановках. Работу выполняли на основе данных длительного мониторинга (1998–2023 гг.), полученных в пределах моренного холма, находящегося на агрополигоне «Губино» ВНИИМЗ в Тверской области. Почвообразующие породы – двучленные отложения, состоящие из верхнего, сложенного относительно легкими породами слоя, подстилаемого моренным завалуненным суглинком. Травостой эксплуатировали без удобрений в одноукосном режиме на поле, разбитом на 120 делянок. Методом регрессионного анализа определяли влияние факторов ландшафтно-почвенной среды (рельеф, физические и агрохимические свойства почвы) на урожайность трав, а также на зависимость степени этого воздействия от климатических условий. Сильнее всего на сбор продукции многолетних трав влияют разнообразные фракции гранулометрического состава почв – от камней до пыли (до 16 % его вариабельности) и высота местоположения (до 38 %), так как от них во многом зависят термические и водно-воздушные характеристики почв и растительного покрова. Такие характеристики рельефа, как крутизна и кривизна поверхности, оказывают незначительное воздействие на урожай трав (до 12 %). Степень воздействия факторов агроландшафтной среды на произрастание трав во многом регулируется изменениями метеоусловий. «Климатические сценарии» конкретного фактора – наборы параметров погоды, при которых проявляется его действие на продукционный процесс культуры, в годы посева и укоса, как правило, кардинально не различаются. Знание характера влияния климатических факторов позволяет точнее прогнозировать урожайность культуры в пределах агроландшафта и, таким образом, оптимизировать расположение посевов на территории конкретного хозяйства.

**ON THE ISSUE OF FORECASTING CROP YIELDS FOR THE PURPOSES OF ADAPTIVE
LANDSCAPE AGRICULTURE**

D. A. Ivanov, N. A. Kharhardinov, K. S. Kurpas

Federal Research Centre Dokuchaev Soil Science Institute,
119017, Moscow, Pyzhevskii per., 7, str. 2
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Long-term monitoring (1998–2023) of the yield of clover-timothy grass stands of the first year of use was carried out in order to find patterns of influence of landscape environmental conditions on it in various agroclimatic conditions. The research was conducted within the moraine hill located at the Gubino VNIIMZ agro-testing site in the Tver region. Soil-forming rocks are two-membered deposits consisting of an upper layer composed of relatively light rocks, underlain by moraine bouldery loam. The grass stands were exploited without fertilizers in a single-cut mode on a field divided into 120 plots. Using regression analysis, the influence of landscape and soil environment factors was determined: relief, physical and agrochemical properties of soils on grass yield, as well as the dependence of the degree of this impact on climatic conditions. It was found that the yield of perennial grasses is most strongly influenced by various fractions of the granulometric composition of soils – from stones to dust (up to 16 % of its variability) and the altitude of the location (up to 38 %), since the thermal and water-air characteristics of soils and vegetation largely depend on them. Terrain characteristics such as steepness and curvature of the surface have a minor impact on grass yield (up to 12 %). The degree of influence of agro-landscape environmental factors on the growth of grasses is largely regulated by fluctuations in weather conditions. “Climate scenarios” of a specific factor – sets of weather parameters under which its effect on the production process of a crop is manifested – in the years of sowing and mowing, as a rule, do not differ fundamentally. Knowing the nature of the influence of climatic factors allows us to more accurately predict crop yields within an agricultural landscape and, thus, optimize the location of crops on the territory of a particular farm.

Ключевые слова: мониторинг, травостой, трансекта, статистический анализ, климат, ландшафт.

Keywords: monitoring, grass stand, transect, statistical analysis, climate, landscape.

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур – одна из наиболее сложных и старых проблем научной агрономии. Это необходимо, прежде всего, для планирования мероприятий по уборке и обработке урожая, а также организации производства на перспективу, оценки экономических и экологических рисков. Традиционное прогнозирование урожайности предназначено для оценки будущего урожая на конкретном поле на основе изучения состояния посевов в определенные сроки и влияния на них почвенно-ландшафтных и климатических условий [1, 2, 3].

Для количественного учета каждого, влияющего на урожай, фактора необходимо периодическое выполнение прямых или косвенных измерений параметров абиотической и биотической сред поля, что, в ряде случаев, представляет собой трудоемкий процесс, поэтому математические модели прогнозирования, работающие на прямом измерении широкого набора показателей состояния посевов и ландшафтных условий, пока не получили большого распространения в реальном производстве [4, 5, 6].

Появление доступных космоснимков с изображением сельхозугодий в разных спектральных диапазонах

не только открыло широкие возможности для дифференциации растительного покрова по уровню биомассы или морфологическим отличиям, но и дало основу для создания принципиально новых моделей прогнозирования урожайности. Результаты многочисленных экспериментов свидетельствуют, что динамика спектральных индексов в процессе вегетации сельскохозяйственных культур имеет выраженную корреляцию с урожайностью [7, 8, 9].

Развитие теории адаптивно-ландшафтного земледелия также требует применения прогнозных процедур при проектировании мероприятий по адаптации агротехнических приемов к условиям агроландшафта. Однако, в отличие от традиционных подходов, прогнозирование в этом случае должно иметь ярко выраженную экстраполяционный смысл – давать возможность строить пространственные модели изменения урожайности культуры в пределах реального поля на основе анализа данных, полученных на опытном полигоне, расположенном за его пределами. Прогнозирование поведения культур на территории проектируемого хозяйства позволяет определить оптимальные местоположения посевов и угодий, а также характер использования того или иного агротехнического приема [10, 11].

Для прогнозирования урожайности культур и корректного переноса установленных закономерностей на другие территории, необходимо знать особенности их адаптивных реакций на смену ландшафтной (в пространстве) и климатической (во времени) обстановок, главным инструментом выявления которых служит долговременный мониторинг особенностей их произрастания в пределах опытных участков. Основа проектирования системы земледелия – учет погодных условий [12, 13]. Это показано еще в трудах классиков агроклиматологии и ландшафтоведения [14, 15]. Анализ влияния климата и, прежде всего, характера пространственного перераспределения гидротермических ресурсов на процессы создания биомассы служит основой для разработки стратегий адаптации производства сельскохозяйственных культур к условиям различных регионов [16].

Изучение влияния погодных условий позволяет выявить многие закономерности процесса формирования биомассы сельскохозяйственных растений. Воздействие климата на урожайность культур проявляется в сложной системе временных, пространственных и агротехнических факторов, во многом определяющих характер динамических процессов в агрогеокомплексе [17].

Следует отметить, что изменение погодных условий сказывается не только напрямую на физиологических процессах в растениях, но и на характере их зависимости от факторов рельефа, агрохимических, агрофизических, биологических свойств почв и др. Влияние климата на микробиологические сообщества почвы довольно хорошо изучена. В частности, для почв Северного Кавказа выявлена тесная связь активности почвенной дегидрогеназы с показателями увлажнения, а инвертазы, с температурными особенностями климата [18]. Отмечено влияние глобального потепления на микробные пулы почв сельскохозяйственных угодий в разных климатических зонах [19]. Есть сведения и об изменении при трансформации погодных условий набора эдафических факторов, влияющих на урожайность [20, 21]. Изучение зависимостей степени влияния на растение конкретного параметра почв и рельефа от вариабельности погодных условий позволяет развивать научную агрономию как в фундаментальном, так и в прикладном аспектах. Такие знания позволяют более полно представить картину культурного ландшафтогенеза и, как следствие, про-

водить «тонкую настройку» продукционного процесса культуры в различных ландшафтных условиях.

Цель исследований – выявление особенностей зависимости продуктивности клеверотимофеечных травосмесей от почвенно-ландшафтных условий в различных климатических обстановках на основе изучения результатов многолетнего мониторинга для прогнозирования урожайности трав в условиях адаптивно-ландшафтного земледелия.

Методика. Исследования проводили на агроэкологическом полигоне «Губино» ВНИИМЗ, который заложен в 1996 г. и располагается в 4 км к востоку от г. Тверь. Он занимает площадь 50 га в пределах моренного холма с относительной высотой 15 м, с четко выраженными геоморфологическими элементами – плоской вершиной, северным пологим склоном, крутизной 2...3°, южным, более крутым (3...5°), склоном и межхолмными депрессиями (северной и южной).

Почвообразующие породы на полигоне – двучленные отложения, состоящие из верхнего, сложенного относительно легкими породами слоя, подстилаемого моренным завалуненным суглинком. В южной части полигона мощность песчаного наноса иногда превышает 1,5 м (мощный двучлен). На вершине и северном склоне холма верхние горизонты почв сложены супесью, мощность которой составляет около 1 м (среднемощный и маломощный двучлены), а в межхолмной депрессии на севере полигона морена местами выходит на поверхность. Почвенный покров полигона представляет собой вариацию-мозаику дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв. Полигон осушен гончарным дренажем со средним междренним расстоянием – 30 м.

В ходе исследований, в период с 1998 по 2023 г., проводили мониторинг урожайности сена клеверотимофеечной травосмеси 1 года пользования на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – производственном массиве, состоящем из 10 продольных полей-полос, пересекающим все микроландшафтные позиции полигона. Поля имели ширину 7,2 м, длину – 1300 м. Травы высевали под покров овса и выращивали без внесения удобрений, кроме подкормки его в фазе кушения аммиачной селитрой в дозе 1 ц/га (N_{30}). Травостой эксплуатировали в одноукосном режиме. Каждое поле разбито на 120 одинаковых равноудаленных делянок, площадью 20 м², на которых определяли урожайность сена в четырехкратной повторности.

Исследования заключались в определении методом регрессионного анализа влияния на продуктивность трав ряда факторов, величины показателей которых измеряли в точках опробования: высота местоположения над уровнем моря (м), показатель радиационного баланса (ватт/м²), кривизна поверхности, крутизна поверхности (град.), pH пахотного горизонта, гидролитическая кислотность, содержание легкоподвижного фосфора и калия (мг/100 г), гумуса (%), частиц >10 мм, 10...7 мм, 7...5 мм, 5...3 мм – камни, 3...2 мм, 2...1 мм – гравий, 1...0,5 мм – крупный песок, 0,5...0,25 мм – средний песок, 0,25...0,05 мм – мелкий песок, 0,05...0,01 мм – крупная пыль, 0,01...0,005 мм – средняя пыль, сумма пылевых фракций, сумма песчаных фракций, сумма фракций <0,25 мм. Статистический анализ по каждому году исследований проводили с использованием пакета Statgraphics+. Степень влияния факторов на урожайность рассчитывали методом Н. А. Плехинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую [22]. Так как влияние факторов ландшафтной среды различалось по годам, то методом регрессионного анализа, определяли зависимость наиболее значимых

эдафических факторов от многолетнего варьирования следующих метеорологических параметров: минимальная температура (град.), среднегодовая температура (град.), максимальная температура (град.), максимум суточных осадков (мм), сумма осадков при температуре $>0^{\circ}\text{C}$ (мм), $>5^{\circ}\text{C}$ (мм), $>8^{\circ}\text{C}$ (мм), $>10^{\circ}\text{C}$ (мм), $>15^{\circ}\text{C}$ (мм), сумма температур $>0^{\circ}\text{C}$, $>5^{\circ}\text{C}$, $>8^{\circ}\text{C}$, $>10^{\circ}\text{C}$, $>15^{\circ}\text{C}$, градусо-дни с температурой $>5^{\circ}\text{C}$, $>8^{\circ}\text{C}$, $>15^{\circ}\text{C}$, сумма температур $10\ldots 30^{\circ}\text{C}$, число дней с пересечением отметки 0°C , 5°C , 10°C , 15°C , число дней с температурой $>30^{\circ}\text{C}$, ГТК по Селянинову, индекс аридности Де Мартона. Климатические данные взяты из архивов метеостанции Тверь.

Результаты и обсуждение. Анализируя 26 регрессионных моделей, можно отметить, что степень и характер влияния эдафических факторов на урожайность культуры меняется год от года. Все факторы по частоте воздействия на урожайность сена можно разделить на несколько групп. Достоверно влияют на величину этого показателя более чем в 50 % случаев содержание в почве камней ($10\ldots 7$ мм), гравия ($1\ldots 0,5$ мм), среднего песка ($0,5\ldots 0,25$ мм), суммы фракций $<0,25$ мм, крупной пыли. Факторы, влияющие на продуктивность трав с вероятностью 40...50 % – содержание в почве камней (>10 мм), гравия ($3\ldots 2$ мм), средней пыли, гидролитическая кислотность почвы, содержание в ней фосфора. С вероятностью 30...40 % на урожайность воздействуют высота местоположения, содержание в почве калия, крупного песка, суммы пылевых фракций, камней ($5\ldots 3$ мм), гравия ($3\ldots 2$ мм), тонкого песка, суммы песчаных фракций, пространственная вариабельность солнечной радиации и кислотность почв. Содержание в почве гумуса и камней диаметром от 7 до 5 мм воздействуют на урожай в 25 % случаев. Крутизна и кривизна поверхности проявляют себя реже всего (<20 %).

По средним значениям степени воздействия на урожайность трав факторы также можно разбить на несколько групп. Наиболее сильно влияет на величину этого показателя – определяет в среднем >6 % его пространственной вариабельности – высота местоположения. Содержание в почве камней диаметром от 10 до 7 мм и суммы фракций $<0,25$ мм в среднем определяет от 3 до 4 % пространственной изменчивости выхода сена с 1 га. От 2 до 3 % вариабельности урожайности трав зависит от содержания в почве калия и фосфора, среднего песка, крупного песка, сумм пылевых и песчаных фракций, а также от ее гидролитической и обменной кислотностей. От 1 до 2 % сбора сена определяют содержание в почве камней крупнее 10 мм и от 5 до 3 мм, крупного и среднего песка, крупной и средней пыли, а также пестроты степени прогрева территории. Менее 1 % урожайности определяют содержание в почве камней от 7 до 5 мм, гравия ($3\ldots 2$ мм), тонкого песка, гумуса, крутизны и кривизны поверхности.

В целом, степень воздействия изучаемых факторов на урожайность трав за многолетний период наблюдений была непостоянной, что во многом объясняется изменением агроклиматических условий. Сопоставление временной изменчивости степени воздействия фактора на урожайность с климатическими параметрами лет наблюдения позволит описать его «климатический сценарий» – совокупность погодных условий, при которых фактор ландшафтной среды оказывает достоверное влияние на сбор продукции культуры. Определение основных черт «климатических сценариев» факторов осуществляется также с помощью регрессионного анализа.

Многолетние травы зависят от метеоусловий как года посева, так и года укоса. Поэтому для описания

Характеристики «климатических сценариев» факторов почвенно-ландшафтной среды агрополигона «Губино», наиболее сильно влияющих на урожайность трав

Фактор	Климатический параметр	Оптимальные значения
Год посева		
Высота местоположения	индекс аридности Мартонна	1280...1480
	сумма осадков при $t > 8^{\circ}\text{C}$	300...400 мм
	градусо-дни $>5^{\circ}\text{C}$	1800 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$
	градусо-дни $>15^{\circ}\text{C}$	400 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$
	сумма $t > 15^{\circ}\text{C}$	1500...2000
	суточные максимумы осадков	>400 мм
Камни $10\ldots 7$ мм	индекс аридности Мартонна	1000 $<>$ 1500
	сумма $t > 10^{\circ}\text{C}$	2200
	сумма $t > 8^{\circ}\text{C}$	2500
	количество дней с пересечением	>80
	10-и градусной отметки	
	сумма осадков при $t > 5^{\circ}\text{C}$	360 $<>$ 460
	количество дней с пересечением	>75
	5-и градусной отметки	
Сумма фракций $<0,25$ мм	количество дней с пересечением	>80
	0-градусной отметки	
	градусо-дни $>5^{\circ}\text{C}$	1850 $<>$ 1870 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$
	сумма $t > 5^{\circ}\text{C}$	2700 $<>$ 2900
	сумма t от 10 до 30°C	<11060
	количество дней с пересечением	70
	0-градусной отметки	
	сумма $t > 15^{\circ}\text{C}$	1440
Год укоса		
Высота местоположения	сумма осадков при $t > 10^{\circ}\text{C}$	350...400 мм
	индекс аридности Мартонна	1000...2000
	среднесуточная температура	5...6 $^{\circ}\text{C}$
	сумма осадков при $t > 0^{\circ}\text{C}$	500...700 мм
	количество дней с пересечением	90...110
Камни $10\ldots 7$ мм	10-и градусной отметки	
	ГТК	1,5 ... 2
	индекс аридности Мартонна	1000 $<>$ 1500
	сумма $t > 10^{\circ}\text{C}$	2300...2500
	максимальная t	$<33^{\circ}\text{C}$
Сумма фракций $<0,25$ мм	градусо-дни $>15^{\circ}\text{C}$	227...427 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$
	сумма $t > 8^{\circ}\text{C}$	2427...2627
	количество дней с пересечением	<120
	15-и градусной отметки	
	сумма осадков при $t > 0^{\circ}\text{C}$	280...480 мм
	градусо-дни $>8^{\circ}\text{C}$	$<1380^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут.}$

«климатических сценариев» необходимо рассчитывать две мультирегрессионные модели, которые позволят выявить климатические особенности проявления конкретного фактора в оба года их развития. Для выявления оптимальных значений климатических параметров, при которых фактор ландшафтно-почвенной среды достоверно воздействует на растения, применяли метод парных регрессий (см. табл.).

Влияние высоты местоположения на продуктивность трав объясняется тем, что она тесно связана с геохимическими и микроклиматическими особенностями территории. Самые высокие гипсометрические отметки ландшафта занимают, как правило, элювиальные и элювиально-аккумулятивные геокомплексы, на средних отметках располагаются транзитные (склоновые) позиции, а в низинах – транзитно-аккумулятивные местоположения. Разность геохимических обстановок существенным образом сказывается на урожайности трав и других культур. Следует также отметить, что на вершинах холмов формируются наиболее благоприятные для растений термические и фотосинтетические условия, тогда как в низинах нередко наблюдается об-

разование «озер холода», а также недостаток освещенности. Степень влияния высоты на урожайность трав зависит от характера варьирования как термических ресурсов, так и осадков в годы посева и укоса. При взрослении трав особенности «климатического сценария» высоты сильно не меняются, отмечается только снижение влияния индекса аридности Мартонна, увеличение роли суммы осадков, как в теплые, так и в прохладные периоды и достоверное воздействие изменений ГТК.

Крупные камни выполняют в агроландшафте роль регуляторов термического и водно-воздушного режимов. Они способствуют увеличению суточной амплитуды температуры почв, а также усиливают отвод излишней влаги. Влияние камней на урожайность трав в пределах опытного участка в основном определяет временная вариабельность поступления тепла в агроландшафт. Осадки в этом случае играют подчиненную роль, что свидетельствует о дефиците термических ресурсов в агроландшафтах центра Нечерноземья. По мере взросления трав влияние термических ресурсов только увеличивается.

Сумма фракций тоньше среднего песка во многом определяет тепловые, мелиоративные и агрохимические свойства почв. В пределах агрополигона «Губино» их влияние на урожайность трав определяла изменчивость термического режима, однако в годы укоса воздействие тонких фракций мелкозема зависело и от осадков в холодные периоды.

Выводы. К факторам, чаще всего (до 55 % случаев) влияющим на урожайность трав, и, как следствие, в наименьшей степени зависящим от метеоусловий года, относятся разнообразные фракции гранулометрического состава почв (от камней до пыли), что свидетельствует о высокой чувствительности растений к физическим и химическим особенностям почв. Наиболее редко на величину изучаемого показателя влияют такие параметры рельефа, как кривизна и крутизна поверхности (только в 20 % случаев наблюдается достоверная зависимость от этих факторов), что указывает на высокую пластичность травостоев к условиям увлажнения.

Самое значительное воздействие на урожайность многолетних трав оказывают такие факторы агроландшафтной среды, как высота местоположения (до 38 % вариабельности) и гранулометрический состав почв (до 16 %), от которых во многом зависят термические и водно-воздушные характеристики почв и растительного покрова. Такие характеристики рельефа, как крутизна и кривизна поверхности оказывают незначительное влияние на величину изучаемого показателя (до 12 %).

Степень воздействия факторов агроландшафтной среды на произрастание трав во многом регулируется варьированием метеоусловий. Так, степень влияния высоты местоположения на их урожайность во многом зависит от изменений термических ресурсов агроландшафта, выраженных через различные показатели, а также от степени увлажнения территории. Влияние камней и мелких фракций почвы на растения в основном регулирует изменчивость степени прогрева поверхности. «Климатические сценарии» конкретного фактора – наборы погодных параметров, при которых проявляется его воздействие на продукционный процесс культуры, в годы посева и укоса, как правило, кардинально не различаются.

Знание характеров «климатических сценариев» факторов позволяет точнее прогнозировать урожайность культуры в пределах агроландшафта и, таким образом, оптимизировать расположение посевов на территории конкретного хозяйства.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

Литература.

1. *Methodological evolution of potato yield prediction: a comprehensive review* / Y. Lin, S. Li, S. Duan, et al. // *Frontiers in plant science*. 2023. Vol. 14. 1214006. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1214006> (дата обращения: 19.06.2024).
2. *Crop Yield Prediction through Proximal Sensing and Machine Learning Algorithms* / F. Abbas, H. Afzaal, A. A. Farooque, et al. // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. No. 7. 1046. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/7/1046> (дата обращения: 19.06.2024). doi: 10.3390/agronomy10071046.
3. Abou Ali H., Delparte D., Griffel L. M. From pixel to yield: forecasting potato productivity in lebanon and Idaho. *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020. Vol. 42–3. No. 11. P. 1–7. URL: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-3-W11/1/2020/> (дата обращения: 19.06.2024). doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-W11-1-2020.
4. Бисчиков Р. М. Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур средствами искусственных нейронных сетей // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2022. Т. 17. № 2. С. 146–157. doi: 10.22363/2312-797X.2022-17-2-146-157.
5. *Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе математических моделей баланса гумуса, кислотности почвы, НПК / Д. А. Благос, С. В. Митрофанов, В. С. Никитин и др. // Междугосударственный научный сельскохозяйственный журнал*. 2019. № 3. С. 62–66.
6. Лебедева В. М., Найдина Т. А. Учет осенне-зимнего увлажнения почвы в динамико-статистической модели прогноза урожайности озимых культур // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2022. № 4(386). С. 79–95. doi: 10.37162/2618-9631-2022-4-79-95.
7. Степанов А. С. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования Земли (на примере сои) // *Вычислительные технологии*. 2019. Т. 24. № 26. С. 125–132.
8. Степанов А. С., Асеева Т. А., Дубровник К. Н. Влияние климатических характеристик и значений вегетационного индекса NDVI на урожайность сои (на примере районов Приморского края) // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 1 (192). С. 10–19. doi: 10.32417/1997-4868-2020-192-1-10-19.
9. Буховец А. А., Кучеренко М. В., Семин Е. А. Прогнозирование урожайности зерновых культур с помощью динамической модели нормализованного относительного индекса растительности,

- учитывающей физиологические особенности развития сельскохозяйственных растений // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2021. № 3 (70). С. 93–104. doi: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_93.
10. Principles and applications of topography in precision agriculture / A. H. Rabia, J. Neupane, Z. Lin, et al. // *Advances in Agronomy*. 2022. Vol. 171. P. 143–189. doi: 10.1016/bs.agron.2021.08.005.
11. Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В. Изучение динамики продуктивности трав на основе данных многолетнего мониторинга // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021. № 22(1). С. 76–84. doi: 10.30766/2072-9081.2021.22.1.76-84.
12. Средостабилизирующая роль многолетних трав в условиях современных вызовов экологического и климатического характера / А. И. Белолюбцев, А. Н. Куприянов, И. А. Кузнецов и др. // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 1 (55). doi: 10.51419/202131127.
13. Ksenofontov M. Y., Polzikov D. A. On the issue of the impact of climate change on the development of russian agriculture in the long term // *Studies on Russian Economic Development*. 2020. Vol. 31. No. 3. P. 304–311. doi: 10.1134/S1075700720030089.
14. Шашко Д. И., Розов Н. Н. Внутриобластное природно-сельскохозяйственное районирование как форма учета биоклиматического потенциала // *Земледелие*. 1989. № 3. С. 18–22.
15. Беручашивили Н. Л. Геофизика ландшафта. М.: Высшая школа, 1990. 287 с.
16. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates / C. Zhaoa, B. Liub, S. Piaoa, et al. // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017. Vol. 114. No. 35. P. 9326–9331. doi: 10.1073/pnas.1701762114.
17. The application of the soil-agroclimatic index for assessing the agronomic potential of arable lands in the forest-steppe zone of Russia / D. S. Bulgakov, D. I. Rukhovich, E. A. Shishkonakova, et al. // *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51(4). P. 448–459. doi: 10.1134/S1064229318040038.
18. Козунь Ю. С., Казеева К. Ш., Колесников С. И. Влияние климата на ферментативную активность лесных почв северного Кавказа // *Лесоведение*. 2022. № 3. С. 262–269. doi: 10.31857/S002411482203010X.
19. Effects of Plastic Film Mulching on Soil Enzyme Activities and Stoichiometry in Dryland Agroecosystems / M. Liu, X. Zhao, M. E. Hossain, et al. // *Plants*. 2022. Vol. 11(13). P. 1748. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/13/1748> (дата обращения: 19.06.2024). doi: 10.3390/plants11131748.
20. Иванов Д. А., Рублюк М. В. Влияние погодных и ландшафтных условий на урожайность яровой пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2023. Т. 15. № 5. С. 70–77. doi: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-70-77.
21. Иванов Д. А., Рублюк М. В., Хархардинов Н. А. К вопросу об адаптивно-ландшафтном обустройстве заброшенных земель на основе результатов прогнозирования урожайности ячменя // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2023. № 5. С. 27–33. doi: 10.31857/S2500262723050058.
22. Плохинский Н. А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с.

Поступила в редакцию 04.07.2024
После доработки 21.07.2024
Принята к публикации 06.08.2024

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРИПОЛЕВЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ ПОСЕВОВ СОИ ПО ДАННЫМ ДЗЗ И СВОЙСТВАМ ПАХОТНОГО ГОРИЗОНТА (НА ПРИМЕРЕ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА)

© 2024 г. А. С. Степанов¹, доктор фармацевтических наук, Г. В. Харитонов², доктор биологических наук, Т. А. Асеева¹, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, А. Л. Верхотуров³, К. Н. Дубровин³, А. Н. Фролов¹

¹Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН, 680521, Хабаровский край, с. Восточное, ул. Клубная, 13

²Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН, 680000, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56

³Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровский Федеральный исследовательский центр ДВО РАН, 680000, Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65
E-mail: stepanfx@mail.ru

Оценка неоднородностей развития посевов сельскохозяйственных культур – одно из ключевых условий прогнозирования урожайности и повышения экономической эффективности земледелия. Цель исследования – разработка методов оценки внутриполевых неоднородностей посевов сои на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и определение взаимосвязи между показателями продуктивности сои и характеристиками почвы. Работу проводили на лугово-бурой тяжелосуглинистой почве, для отбора образцов в мае и августе 2023 г. было выбрано 10 участков поля, занятого соей, общей площадью 36,9 га (Хабаровский край). Исследования базировались на результатах обработки данных ДЗЗ (спутник Sentinel-2, квадрокоптер DJI Mavic3M), оценке показателей продуктивности сои, агрохимических, физико-химических характеристик почв и микро- и макроэлементного состава. Пространственное распределение NDVI, смоделированное по данным Sentinel-2 (начало августа) соответствовало распределению NDVI по данным DJI Mavic3M. Установлена достоверная корреляция значений индекса NDVI в августе 2023 г. с высотой сои ($R = 0,64$) и числом бобов ($R = 0,64$). Влажность почвы имеет положительную корреляционную связь с NDVI ($R = 0,87$) и высотой сои ($R = 0,68$) для всего периода вегетации культуры. Установлена положительная корреляция NDVI с H_+ ($R = 0,79$) и отрицательная – с pH ($R = -0,79$). Содержание $N-NO_3^-$ находилось в диапазоне от 2,51 до 6,84 мг/кг ($V = 35,12\%$), подвижных форм P_2O_5 – от 2,47 до 6,07 мг/100 г ($V = 33,13\%$), K_2O – от 4,98 до 9,37 мг/100 г ($V = 20,07\%$). Вариабельность содержания $N-NO_3^-$ и P_2O_5 снизилась к августу до 11,61% и 21,99%. Между первым и вторым отборами проб не отмечали значимых изменений валового состава почвы. Варьирование содержания редкоземельных элементов (Sc, Y, лантаноиды) по выделенным участкам не превышало 5%. К дате второго отбора отмечали достоверное снижение их содержания в почве на 4...10,5% ($p < 0,05$).

INVESTIGATION OF IN-FIELD HETEROGENEITIES IN THE DEVELOPMENT OF SOYBEAN ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA AND PROPERTIES OF THE PLOW HORIZON (ON THE EXAMPLE OF THE SOUTH OF THE FAR EAST)

A. S. Stepanov¹, G. V. Kharitonova², T. A. Aseeva¹, A. L. Verkhoturov³, K. N. Dubrovin³, A. N. Frolov¹

¹Far-Eastern Agriculture Research Institute, Khabarovsk Federal Research Center of FEB RAS, 680521, Khabarovskii krai, s. Vostochnoe, ul. Klubnaya, 13

²Institute of Water and Environmental Problems, Khabarovsk Federal Research Center of FEB RAS, 680000, Khabarovsk, ul. Dikopol'tseva, 56

³Computing Center, Khabarovsk Federal Research Center of FEB RAS, 680000, Khabarovsk, ul. Kim Yu Chena, 65
E-mail: stepanfx@mail.ru

Assessment of crop heterogeneities is one of the key conditions for predicting crop yield and increasing the economic efficiency of farming. The aim of the study is to develop methods for assessing in-field heterogeneities of soybean based on remote sensing data and to determine the relationship between soybean productivity indicators and soil characteristics. The work was carried out on meadow-brown heavy loamy soil, 10 plots of soybean field with a total area of 36.9 ha (Khabarovsk Krai) were selected for sampling in May and August 2023. The research was based on the results of remote sensing data processing (Sentinel-2 satellite, DJI Mavic3M quadcopter), assessment of soybean productivity indicators, agrochemical, physical and chemical characteristics of soils and micro- and macroelement composition. The spatial distribution of NDVI modeled from Sentinel-2 data (early August) corresponded to the distribution of NDVI from DJI Mavic3M data. NDVI index values in August 2023 were found to be significantly correlated with soybean height ($R = 0.64$) and number of beans ($R = 0.64$). Soil moisture has a positive correlation with NDVI ($R = 0.87$) and soybean height ($R = 0.68$) for the entire growing season of the crop. NDVI was positively correlated with H_+ ($R = 0.79$) and negatively correlated with pH ($R = -0.79$). The content of $N-NO_3^-$ ranged from 2.51 to 6.84 mg/kg ($V = 35.12\%$), mobile forms of P_2O_5 – from 2.47 to 6.07 mg/100 g ($V = 33.13\%$), K_2O – from 4.98 to 9.37 mg/100 g ($V = 20.07\%$). The variability of $N-NO_3^-$ and P_2O_5 content decreased to 11.61% and 21.99% by August. No significant changes in soil bulk composition were observed between the first and second sampling. Variation of content of rare-earth elements (Sc, Y, lanthanides) in the selected sites did not exceed 5%. By the date of the second sampling a significant decrease by 4–10.5% ($p < 0.05$) in the content of rare earth elements in soil was noted.

Ключевые слова: цифровое земледелие, индекс вегетации, соя (*Glycine max*), дистанционное зондирование, почва, продуктивность.

Keywords: digital farming, vegetation index, Far East, soybean (*Glycine max*), remote sensing, arable land, productivity.

В последние годы переход к точному и цифровому земледелию для повышения урожайности культур в условиях внутриполевой изменчивости развития посевов стал мировым трендом [1, 2]. Эффективным подходом к организации точного земледелия служит количественная оценка вариативности распределения агроэкологических параметров, влияющих на продуктивность сельскохозяйственных культур [1]. К перспективным методам оценки неоднородностей развития посевов относят в первую очередь подходы, основанные на использовании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Исследования в области поиска зависимостей значений вегетационных индексов (по данным ДЗЗ) и показателей, характеризующих физиологическое состояние посевов, проводятся в Агрофизическом научно-исследовательском институте. По их результатам, например, было установлено, что состояние стресса растений, смоделированное посредством снижения уровня азотного питания и кратковременной почвенной засухи, вызывает изменение значений индексов отражения [3]. Величины оптических индексов, в том числе NDVI, коррелируют с обеспеченностью растений азотом в начале вегетационного цикла, а для дальнейшей оценки обеспеченности азотом перспективнее использовать индексы, характеризующие активность фотосинтеза (ChlRI, WRI и др.) [4]. Другой немаловажный аспект организации точного земледелия – проведение исследований по изучению почвенных характеристик с использованием данных ДЗЗ, в том числе в рамках одного поля [5]. Так, было установлено, что на продуктивность посевов и, в конечном итоге, на урожайность культур влияют такие свойства, как содержание органического вещества, влажность, гранулометрический состав и др. [6, 7]. Они могут быть оценены опосредованно, исходя из спектральной отражательной способности почвы на основе данных космической и аэрофотосъемки.

Для оценки неоднородности посевов в основном используют значения оптических индексов вегетации, полученные при помощи БПЛА [8, 9, 10, 11]. Например, было установлено, что наиболее высокую точность прогнозирования при оценке изменчивости содержания подвижного азота на пастбищах можно достичь при использовании БПЛА, но при некотором снижении точности для этого пригодны и данные Sentinel-2 и Landsat 8/9 [12, 13].

Интенсивное использование пахотных земель, в том числе при выращивании сои – ведущей культуры ДФО, в крайне непростых погодных условиях дальневосточного региона (муссонный характер климата, частые наводнения) вместе с внесением минеральных удобрений может приводить к потере органического вещества (гумуса) и, в конечном итоге, к существенному снижению биологической продуктивности почв [14]. Поэтому особое значение приобретают исследования, направленные на совместный анализ свойств почвы и оценку развития посевов сои, в том числе спутниковыми методами.

Цель исследования – с использованием методов ДЗЗ разработать подходы для оценки внутриполевой неоднородности развития посевов сои и установить возможность определения взаимосвязей между показателями продуктивности сои, агрохимических и физико-химических свойств, а также микро- и макроэлементного состава почв.

Для ее достижения решали следующие задачи:

провести агрохимический анализ почвы, оценить количественное содержание микро- и макроэлементов, сравнить данные космо- и аэрофотосъемки для разных участков поля с посевами сои;

построить карты пространственного распределения значений NDVI, агрохимических показателей, показателей продуктивности сои и физико-химических характеристик почвы;

оценить корреляционные зависимости между характеристиками почвы, показателями продуктивности сои и значениями NDVI.

Условия, материалы и методы. Работу проводили в 2023 г. на одном из опытных полей ДВ НИИСХ (правый берег Амура, окрестности г. Хабаровска) площадью 36,9 га (рис. 1). В эксперименте выращивали сорт сои Марината. Посев проводили 29–30 мая с предпосевным внесением минерального удобрения Фертим (Fertim) NPS+Ca 9:14:10+26. Почва опытного участка лугово-бурая тяжелосуглинистая с низким естественным плодородием, обусловленным повышенной кислотностью и незначительным содержанием питательных элементов [15]. Содержание гумуса в почве опытного поля составляло 3,3 % (по Тюрину), подвижного фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) – 3,8 мг/100 г и 6,9 мг/100 г (по Кирсанову), рН почвы – 4,8 (потенциометрическим методом).

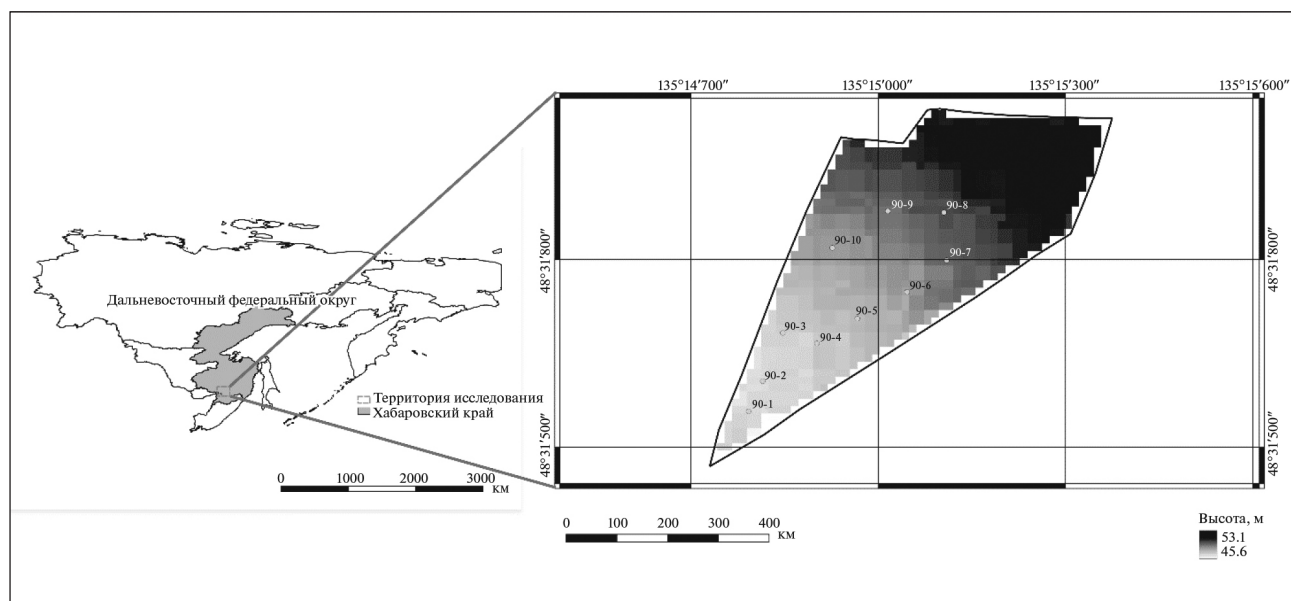


Рис. 1. Область исследования с участками отбора почвенных проб.

На исследуемом поле выделяли 10 участков площадью 10 м², из пахотного горизонта (глубина 0...30 см) которых 24.05.2023 и 03.08.2023 отбирали по пять точечных проб, далее для каждого участка формировали объединенные пробы.

В почвенных образцах содержание нитратного азота (N-NO₃, мг/кг) и величину pH определяли потенциометрическим методом; гидролитическую кислотность (H_г, мг-экв/100 г) – методом Каппена; содержание подвижного фосфора (P₂O₅, мг/100 г) и калия (K₂O, мг/100 г) – методом Кирсанова; влажность – по ГОСТ 28268-89.

Оценку содержания макро- и микроэлементов в почвенных образцах проводили методом рентгено-флуоресцентного анализа (РФА, S4 Pioneer (Bruker, AXS)) и масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS ELAN-9000 (PerkinElmer)). Определяли валовые содержания оксидов (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, P₂O₅) и химических элементов (Li, B, P, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Y, Mo, Cd, Sb, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hg, Pb, Bi).

На каждом из исследуемых участков определяли следующие показатели продуктивности сои: высота растения, см (h, см); высота прикрепления первого узла, см; количество узлов на растении, шт (X_{узлов}, шт); количество бобов на одном растении, шт (X_{бобов}, шт); количество семян с одного растения, шт (X_{семян}, шт); масса семян с растения, г (m_{семян}, г); масса 1000 семян, (m_{1000семян}, г).

Карты пространственного распределения характеристик почвенных образцов и продуктивности сои строились в SAGA с использованием метода универсального кригинга.

Значения вегетационного индекса NDVI для каждого пикселя рассчитывали после обработки изображений уровня L2A, полученных со спутников Sentinel-2 с разрешением 10 м 07.08.2023, 03.09.2023 и 04.10.2023 по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR и RED – значения спектральной отражательной способности в ближнем инфракрасном и красном диапазонах соответственно.

Кроме того, съемку исследуемого поля проводили с использованием DJI Mavic3M (21.08.2023, 28.09.2023). Значения NDVI для всех пикселей поля рассчитывали с использованием Metashape, полученные значения усредняли до пикселя 1 м, а также для выбранных участков 10 м².

Анализ данных на соответствие нормальному распределению проводили с помощью критерия Шапиро–Уилка. Зависимости между показателями выявляли с использованием коэффициентов корреляции: для нормально распределенных данных – Пирсона (R); для не нормально распределенных данных – Спирмена (R_s). Оценку значимости различий между средними величинами для показателей, полученных при первом и втором отборе проб, для нормально распределенных данных проводили с использованием t-критерия Стьюдента; для данных, не подчинявшихся закону нормального распределения – U-критерия Манна–Уитни.

Результаты и обсуждение. При первом отборе почвенных образцов содержание подвижных форм P₂O₅ и K₂O на всем поле находилось в диапазоне соответственно от 2,47 до 6,07 мг/100г (V = 33,13%) и от 4,98 до 9,37 мг/100г (V = 20,07%). Содержание N-NO₃ в почве в конце весны до использования удобрений

Табл. 1. Варьирование показателей продуктивности сои и агрохимических характеристик почвы (август 2023 г.)

Показатель	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	h, см	X _{узлов} шт.	X _{бобов} шт.	X _{семян} шт.	m _{семян} г
X _{мин}	4,13	2,51	2,57	64	10	21	47	8
X _{макс}	6,45	4,50	4,96	79	12	32	72	12
X _{ср}	5,39	3,10	3,27	69,4	10,7	24,6	53,6	8,9
V, %	11,61	21,99	24,14	6,77	—	12,88	—	—

*значения показателя не соответствуют нормальному распределению (p < 0,05).

также отличалось достаточно высокой вариабельностью (X_{мин} = 2,51 мг/кг, X_{макс} = 6,84 мг/кг, V = 35,12%). Внесение удобрений позволило снизить вариативность содержания N-NO₃ и P₂O₅ до 11,61% и 21,99% соответственно. Известно, что применение азотных удобрений с усредненной нормой по полю снижает вариабельность внутрипольного содержания N-NO₃ [16]. Логичным эффектом от применения удобрений стало и выравнивание вариативности подвижных форм фосфора, а отсутствие аналогичной картины по калию можно объяснить составом удобрения. Корреляционных связей между содержанием N-NO₃, P₂O₅ и K₂O для разных участков поля выявлено не было.

Валовое содержание макроэлементов и их варьирование соответствовали естественным для рассматриваемого типа почва (табл. 2). Не были отмечены и значимые изменения величин этих показателей как для участков,

Табл. 2. Варьирование показателей пахотного горизонта почвы исследуемого поля (валовой состав, август 2023 г.), % на воздушно-сухое вещество

Показатель	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
X _{мин} , %	64,42	0,83	13,38	4,80	0,08	0,91	0,84	1,33	2,23	0,19
X _{макс} , %	70,19	0,88	14,79	5,63	0,25	1,22	1,02	1,56	2,38	0,26
X _{ср} , %	68,46	0,87	14,25	5,04	0,14	1,01	0,96	1,48	2,33	0,22
V, %	2,54	1,82	3,22	5,03	35,99	9,94	5,21	4,71	2,57	8,57

так и для поля в целом, в период между первым и вторым отборами проб. Наиболее высокая доля макроэлементов приходилась на SiO₂ (68,5% на воздушно-сухое вещество) и Al₂O₃ (14,3% на воздушно-сухое вещество).

Повышенное валовое содержание F₂O₃ и MnO может свидетельствовать о формировании в пахотном горизонте железомарганцевых конкреций, которые могут играть роль геохимических «барьеров» и аккумулировать поступающие из фосфорных удобрений токсичные микроэлементы, что предотвращает их попадание в конечную продукцию [17].

Варьирование среднего содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) по выделенным участкам не было значительным и не превышало 5%. Для некоторых микроэлементов (например, Со, Мо, а в особенности Сг и Mn) наблюдали существенный разброс значений. Содержание микроэлементов (Zn, Cu, Pb, Со, Мо, Ni) для исследуемой территории находилось в пределах кларка, соответствующего рассматриваемому типу почв дальневосточного региона [18]. В пахотном горизонте было установлено повышенное содержание мышьяка (до 10 мг/кг). С одной стороны, это могло быть обусловлено геохимическими особенностями глинистых пахотных почв региона, с другой – результатом длительного использования фосфорных удобрений.

В периоде между первым и вторым отбором отмечено статистически значимое снижение содержания большинства РЗЭ и микроэлементов в почве (табл. 4). Относительное уменьшение показателя находилось в диапазоне от 4 до 10,5% для РЗЭ. Снижение содержания РЗЭ в пахотном горизонте могло быть вызвано как аккумулярованием элементов в сое, так и их вымывани-

Табл. 3. Варьирование показателей пахотного горизонта почвы исследуемого поля (микроэлементный состав, август 2023 г.)

Элемент	X_{cp} , мг/кг	V , %
Li	31,8	1,5
B*	8,4	7,27–9,45
P*	802	691–921
V	81,5	2,5
Cr	102,3	13,3
Mn*	820,8	554–1070
Co	13,2	7,9
Ni	22	6,1
Cu*	23,2	18,3–26,8
Zn*	66,9	63,0–73,9
As*	9,2	8,9–9,6
Sr	143,6	3,1
Mo	1,4	7,8
Cd*	0,04	0,03–0,04
Sb*	0,9	0,89–0,97
Ba	529,9	1,6
Hg*	0,1	0,07–0,12
Pb	23,9	1,7
Sc	9,4	2,3
Y	13,9	4
La	28,1	2,3
Ce	59	2,5
Pr	6,5	2,2
Nd	23,3	2,2
Sm	4,5	1,9
Eu	0,9	2,1
Gd	4,6	2,6
Tb	0,6	2,4
Dy	3	3,4
Ho	0,6	3,6
Er	1,6	3,8
Tm	0,2	3,7
Yb	1,4	2,8
Lu	0,2	4,4

*значения показателя не соответствуют нормальному распределению ($p < 0,05$).

ем из пахотного слоя. При этом, по данным некоторых исследователей, РЗЭ оказывают определенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур [19].

Табл. 4. Оценка изменений микроэлементного состава* почвы в период с мая по август 2023 г.

Элемент	ΔX_{cp} , мг/кг	ΔX_{cp} , %
Li	-1,62	-4,9
B**	-1,18	-12,4
V	-3,55	-4,2
Cr	19,72	23,9
Zn**	-20,09	-23,1
Sr	-6,33	-4,2
Mo	0,18	15
Cd**	-0,02	-17,7
Sc	-0,4	-4,1
Y	-1,44	-9,4
La	-2,42	-7,9
Ce	-5,27	-8,2
Pr	-0,58	-8,2
Nd	-2,56	-9,9
Sm	-0,43	-8,6
Eu	-0,06	-6
Gd	-0,3	-6,1
Tb	-0,03	-4,5
Dy	-0,18	-5,8
Ho	-0,03	-5,3
Er	-0,16	-9,1
Tm	-0,02	-6,9
Yb	-0,16	-10,5
Lu	-0,02	-8,2

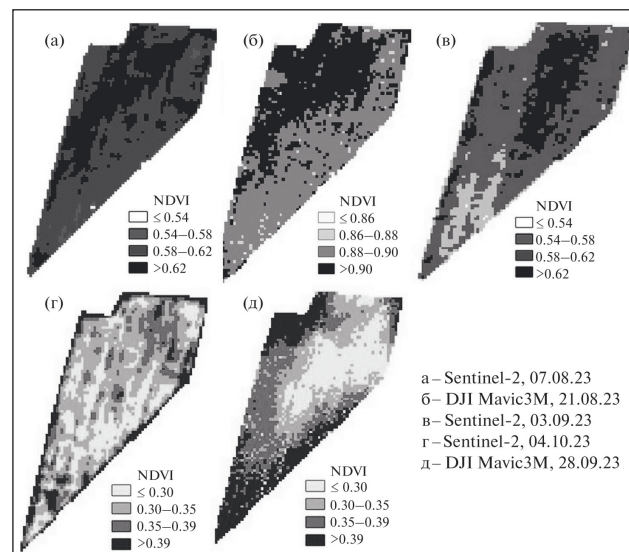
*представлены только статистически значимые изменения (для нормально распределенных величин с $t < t_{кр}$, для ненормально распределенных – с $U \leq U_{табл}$ при $p < 0,05$);

**значения показателя не соответствуют нормальному распределению ($p < 0,05$).

Однако в ходе наших исследований таких связей между величинами этих показателей не выявлено.

Пространственное распределение NDVI (включая зоны с высокими значениями индекса), смоделированное по данным Sentinel-2, в период налива семян (начало августа) соответствовало распределению NDVI, полученному по данным DJI Mavic3M (рис. 2). В то же время карта распределения NDVI, сформированная по данным аэрофотосъемки от 28.09.23, не полностью соответствовала карте, построенной по спутниковым данным за 04.10.23. Это объясняется тем, что, во-первых, пространственная изменчивость значений NDVI осенью значительно выше, чем в период максимума вегетации. Во-вторых, продолжительность временного интервала между датами аэро- и спутниковой съемки в осенний период также оказывает более значительное влияние на численные значения вегетационного индекса.

Установлена значимая корреляция между величинами NDVI, рассчитанными для пикселя 10 м (Sentinel-2, 07.08) и усредненными значениями NDVI в этом же пикселе (DJI Mavic3M, 21.08). Кроме того, необходимо отметить положительную корреляцию между соответствующими показателями, полученными по изображениям DJI Mavic3M от 21.08 и Sentinel-2 от 07.08 ($R = 0,41$), а также DJI Mavic3M от 28.09 и Sentinel-2 от 03.10 ($R = 0,61$), что свидетельствует о возможности использования спутниковых данных для оценки внутри-полевых неоднородностей.

**Рис. 2. Пространственное распределение значений NDVI для поля с соей по данным космо- и аэрофотосъемки.**

Достаточно широко известно о прямой корреляционной связи между показателями продуктивности сельскохозяйственных культур и значениями NDVI в период максимума вегетации [20]. В наших исследованиях 21.08 индекс NDVI имел достоверную корреляцию (табл. 6) с высотой растений сои (0,64) и числом бобов на растении (0,64). Связь с другими показателями продуктивности также была достаточно высокой. В работе [21] было установлено, что влажность почвы оказывает существенное влияние на урожайность яровой пшеницы. В нашем исследовании влажность почвы имела положительную корреляционную связь с NDVI (0,87), а также высотой сои (0,68) для всего периода вегетации культуры. Кроме того, выявлена положительная корреляция (0,79) NDVI с гидролитической кислотностью (H_T) и отрицательная (–0,79) – с pH почвы. Отрицательная

Табл. 5. Коэффициенты корреляции между значениями NDVI для разных видов и дат съемки

Наименование	NDVI 21.08 DJI	NDVI 07.08 Sent	NDVI 05.09 Sent	NDVI 28.09 DJI
NDVI 07.08 Sent	0,96	1,00		
NDVI 05.09 Sent	0,41	0,39	1,00	
NDVI 28.09 Sent	-0,70	-0,72	-0,57	1,00
NDVI 04.10 Sent	-0,55	-0,66	-0,35	0,61

*верхний индекс соответствует дате съемки, нижний индекс – тип съемки (спутник Sentinel или БПЛА DJI Mavic3M).

корреляция между NDVI и содержанием подвижного калия и подвижного фосфора, скорее всего, была обусловлена типом применявшегося удобрения. Обратная корреляция NDVI с подвижным фосфором была также подтверждена работами некоторых исследователей [22].

Анализ карт пространственного распределения показателей продуктивности, а также агрохимических и физико-химических свойств почвы свидетельствует о том, что зоны высокой продуктивности, повышенной влажности и сниженной кислотности находились в северной части поля (рис. 3). Наибольшее содержание подвижного фосфора и калия было, напротив, характерно для южной части поля. Распределение $N-NO_3$ имело менее вариативный характер, при этом максимальные значения соответствовали центральной части опытного поля, несколько меньшие – северной части. Сравнение карт с пространственным распределением NDVI также позволило выявить соответствие зон высокой продуктивности зонам высоких значений NDVI (в частности, северная часть поля).

Выводы. Содержание микро- и макроэлементов в почве опытного поля сои в целом соответствовало характерным показателям для лугово-бурых тяжелосуглинистых почв. Его вариабельность для $N-NO_3$ при первом отборе составляла 35,12 %, P_2O_5 – 33,13 %, K_2O – 20,07 %. После внесения удобрений она снизилась для $N-NO_3$ до 11,61 %, P_2O_5 – до 21,99 %. Между отборами проб не отмечены значимые изменения валового состава почвы. Варьирование содержания редкоземельных элементов по выделенным участкам не превышало 5 %, при этом установлено достоверное снижение содержания редкоземельных элементов в почве к периоду второго отбора образцов.

Построены карты пространственного распределения NDVI по данным Sentinel-2 и DJI Mavic3M. Установлено соответствие областей внутриполевых неоднородностей посевов сои по данным спутниковой и аэрофотосъемки. Зона высокой продуктивности сои находилась в северной части поля, что соответствует зонам повышенной влажности и сниженной кислотности, а также повышенным значениям NDVI, что дает

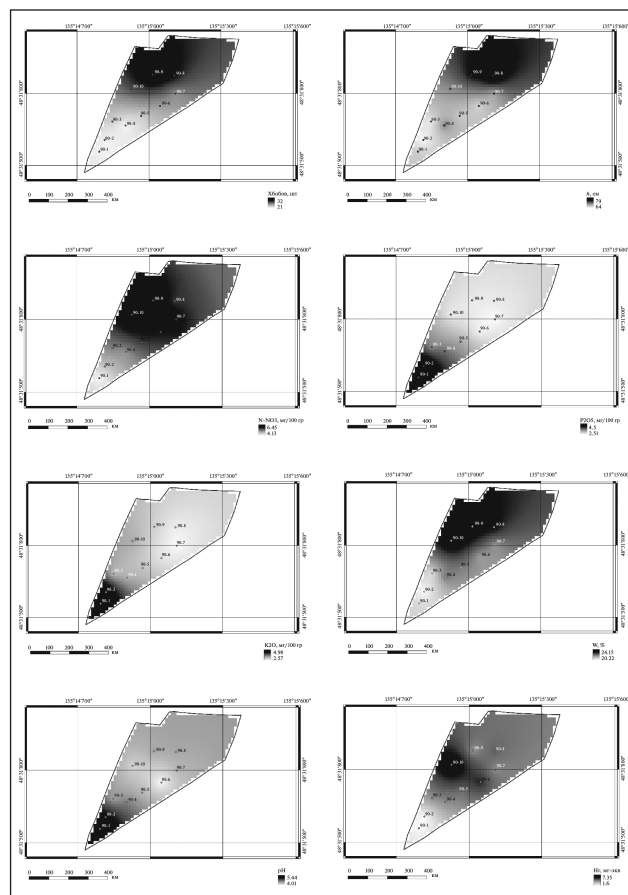


Рис. 3. Карты пространственного распределения агрохимических и физико-химических характеристик поля, а также показателей продуктивности сои.

возможность сделать заключение о необходимости дифференцированного внесения удобрений для повышения средней урожайности.

Установлена достоверная корреляция значений индекса NDVI в августе 2023 г. с высотой сои ($R = 0,64$) и числом бобов ($R = 0,64$), влажностью почвы с NDVI ($R = 0,87$) и высотой сои ($R = 0,68$) для всего периода вегетации культуры, NDVI с H_r ($R = 0,79$), а также отрицательная связь NDVI с величиной pH ($R = -0,79$). Таким образом, индекс NDVI, рассчитанный по данным космо- и аэрофотосъемки может использоваться для оценки неоднородностей развития посевов сои и, в конечном итоге, для корректировки прогноза урожайности, выявления проблемных участков поля и дифференцированного внесения удобрений в дальнейшем.

Табл. 6. Коэффициенты корреляции между значениями NDVI, характеристиками почвы и показателями продуктивности посевов сои

Наименование	NDVI 21.08 DJI	$N-NO_3$	P_2O_5	K_2O	h , см	$X_{узлов}$, шт.	$X_{бобов}$, шт.	$X_{семян}$, шт.	$m_{семян}$, г	W , %	pH
$N-NO_3$	0,61	1,00									
P_2O_5	-0,80**	-0,57	1,00								
K_2O	-0,69	-0,64	0,90	1,00							
h , см	0,64	0,71	0,11	-0,04	1,00						
$X_{узлов}$, шт.	0,53	0,04	-0,22	-0,04	0,22	1,00					
$X_{бобов}$, шт.	0,64	0,29	-0,33	-0,17	0,48	0,87	1,00				
$X_{семян}$, шт.	0,58	0,20	-0,23	-0,10	0,44	0,88	0,91	1,00			
$m_{семян}$, г	0,49	-0,17	-0,24	-0,08	0,34	0,78	0,84	0,96	1,00		
W , %	0,87	0,56	-0,62	-0,42	0,68	0,31	0,52	0,45	0,40	1,00	
pH	-0,79	-0,73	0,88	0,90	-0,33	-0,09	-0,27	-0,15	-0,13	-0,58	1,00
H_r , мг-экв/100 г	0,79	0,73	-0,85	0,84	0,28	0,14	0,27	0,13	0,08	0,59	-0,98

*для соответствующих показателей рассчитывались значения R_s для остальных – R ;

**жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты корреляции.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект 23–76–00007.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

Литература.

1. Теоретические основы дистанционной и наземной количественной оценки внутриполевой изменчивости для точного земледелия / В. П. Якушев, Ю. И. Блохин, С. Ю. Блохина и др. Санкт-Петербург: АФИ, 2023. 75 с.
2. Научно-обоснованный прогноз развития точного земледелия в России / Е. В. Рудой, М. С. Петухова, С. В. Рюмкин, Е. В. и др. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2021. 138 с.
3. Новые возможности автоматизации процесса обнаружения внутриполевой неоднородности по гиперспектральным снимкам и оптическим критериям / В. П. Якушев, Е. В. Канаиш, В. В. Якушев и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 24–32.
4. Якушев В. П., Канаиш Е. В., Русаков Д. В. Корреляционные зависимости между вегетационными индексами, урожаем зерна и оптическими характеристиками листьев пшеницы при разном содержании в почве азота и густоте посева // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57. № 1. С. 98–112.
5. Прудникова Е. Ю., Савин И. Ю., Грубина П. Г. Спутниковая оценка агрономически важных свойств пахотных почв с учетом состояния их поверхности // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2023. Вып. 115. С. 129–159.
6. Технологии составления и обновления почвенных карт / И. Ю. Савин, В. С. Столбовой, А. Л. Иванов и др. М.: Перо, 2019. 328 с.
7. Виндекер Г. В., Прудникова Е. Ю., Савин И. Ю. Трансформация открытой поверхности почв под воздействием осадков в модельном эксперименте // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2018. Вып. 95. С. 23–40.
8. Leroux C., Tisseyre B. How to measure and report within-field variability: a review of common indicators and their sensitivity // Precision Agriculture. 2019. Vol. 20. P. 562–590.
9. Comparison of PlanetScope, Sentinel-2, and Landsat 8 data in soybean yield estimation within-field variability with random forest regression / K. Amankulova, N. Farmonov, P. Akramova, et al. // Heliyon. 2023. Vol. 9. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023046406?via%3Dihub> (дата обращения: 12.03.2024).
10. Maes W. H., Steppe K. Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture Trends // Plant Science. 2019. Vol. 24. No. 2. P. 152–164.
11. The potential of UAV-borne spectral and textural information for predicting aboveground biomass and N fixation in legume-grass mixtures / E. Grüner, M. Wachendorf, T. Astor, et al. // PLoS One. 2020. Vol. 15. No. 6. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0234703> (дата обращения: 12.02.2024).
12. Nitrogen variability assessment of pasture fields under an integrated crop-livestock system using UAV, PlanetScope, and Sentinel-2 data / F. Pereira, J. P. de Lima, R. G. Freitas, et al. // Computers and Electronics in Agriculture. 2022. Vol. 193. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169921006621?via%3Dihub> (дата обращения: 15.03.2024).
13. An overview of crop nitrogen status assessment using hyperspectral remote sensing: current status and perspectives / Y. Fu, G. Yang, R. Pu, et al. // European Journal of Agronomy. 2021. Vol. 12. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030121000137> (дата обращения: 14.01.2024).
14. Наумченко Е. Т., Банецкая Е. В. Влияние длительного применения удобрений на плодородие луговой черноземовидной почвы и урожайность сои // Агрохимия. 2022. № 2. С. 28–33.
15. Изменение химических и микробиологических свойств почвы при антропогенном воздействии в полеводческом севообороте / Н. А. Селезнева, А. Г. Тишкова, Т. Н. Федорова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 5–10.
16. Шерстобитов С. В., Абрамов Н. В. Влияние почвенной неоднородности и внесения усредненной нормы азотных удобрений на урожайность яровой пшеницы // Вестник КрасГАУ. 2020. № 5. С. 93–99.
17. Тимофеева Я. О., Голов В. И. Железо-марганцевые конкреции как накопители тяжелых металлов в некоторых почвах Приморья / Я. О. Тимофеева, В. И. Голов // Почвоведение. 2007. № 12. С. 1463–1471.
18. Тимофеева Я. О. Микроэлементы в различных типах почв агрохимических стационаров // Вестник КрасГАУ. 2011. № 2. С. 37–41.
19. Review of Rare Earth Elements as Fertilizers and Feed Additives: A Knowledge Gap Analysis / F. Tommasi, P. J. Thomas, G. Pagano, et al. // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2021. Vol. 81. No. 4. P. 531–540.
20. Использование вегетативного индекса NDVI для прогноза урожайности зерновых культур / С. А. Родимцев, Н. Е. Павловская, С. В. Вершинин и др. // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2022. № 4(65). С. 56–67.
21. Гонн Н. В., Савенков О. А. Связь показателя NDVI и урожайности яровой пшеницы со свойствами пахотного горизонта черноземов лесисто-иллювиальных элювирированных и темно-серых почв // Почвоведение. 2019. № 3. С. 377–386.
22. Использование NDVI в цифровом картографировании содержания фосфора в почвах и оценка обеспеченности им растений / Н. В. Гонн, О. А. Савенков, Т. В. Нечаева и др. // Исследование Земли из космоса. 2019. № 2. С. 65–73.

Поступила в редакцию 24.05.2024
После доработки 19.06.2024
Принята к публикации 16.07.2024

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СОРТОВ СОИ В УСЛОВИЯХ ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024 г. **В. И. Зотиков**, член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук,
К. Ю. Зубарева, кандидат биологических наук

Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур,
302502, Орловская обл., Орловский р-н, пос. Стрелецкий, ул. Молодежная, 10, корп. 1
E-mail: zotikovzbbk@mail.ru

Изучали влияние микробиологических препаратов на повышение урожайности сои разных сортов. Работу выполняли в условиях Орловской области в 2019–2023 гг. Объекты исследований сорта сои Лидер 1, Мезенка, Орля, Осмонь, Зуша, препараты Биостим Старт, Ризоформ Соя, Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3, Biodux, которые применяли путем предпосевной обработки семян и листовых подкормок растений сои в фазы 1...3 тройчатых листьев и бутонизации. Наиболее высокую прибавку урожайности сои (6,0 %) по отношению к контролю обеспечивает инокуляция семян сорта Зуша препаратами Ризоформ Соя в совокупности с Биостим Старт. Предпосевная обработка семян в сочетании с листовыми подкормками препаратами Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3, Biodux при наличии в почве аборигенных рас ризобактерий способствовали интродукции микроорганизмов, входящих в их состав, в ризосферное сообщество растений с последующим участием в активизации процессов их азотного питания. В среднем по сортам число и масса клубеньков в варианте с предпосевной обработкой и двумя листовыми подкормками увеличились, в сравнении с контролем, соответственно на 57,6 и 65 %, нитрогеназная активность – на 67,3 %. Применение комбинации препаратов Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3 и Biodux путем предпосевной обработки семян и одной листовой подкормки в фазе 1...3 тройчатых листьев обеспечило наибольшую прибавку урожайности сорта Лидер 1 на 0,29 т/га, Зуша – на 0,35 т/га, Мезенка – на 0,40 т/га. Максимальное в опыте повышение содержания белка в зерне отмечено у сорта Мезенка в варианте с предпосевной обработкой семян и 1 или 2 листовыми подкормками – на 1,1 и 1,0 % соответственно.

USE OF MICROBIOLOGICAL PREPARATIONS IN THE CULTIVATION OF PROMISING SOYBEAN VARIETIES IN THE ORYOL REGION

V. I. Zotikov, K. Yu. Zubareva

Federal Scientific Center of Legumes and Groat Crops,
302502, Orlovskaya obl., Orlovskii r-n, pos. Streletskii, ul. Molodezhnaya, 10, korp. 1
E-mail: zotikovzbbk@mail.ru

We studied the effect of microbiological preparations on increasing the yield of soybeans of different varieties. The work was carried out in the conditions of the Oryol region in 2019–2023. Objects of research: soybean varieties Leader 1, Mezenka, Orleya, Osmon, Zusha, as well as Biostim Start preparations, Rizoform Soya, Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3, Biodux, used in pre-sowing seed treatment and foliar feeding of soybean plants in phases 1...3 of trifoliate leaves and budding. The highest increase in soybean yield (6.0 %) compared to the control is provided by inoculation of seeds of the Zusha variety with Rizoform Soya in combination with Biostim Start. Pre-sowing seed treatment in combination with foliar fertilizing with preparations Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3, Biodux in the presence of native races of rhizobacteria in the soil contributed to the introduction of microorganisms included in their composition into the rhizosphere community of plants with subsequent participation in the activation of nitrogen nutrition processes of the latter. On average, for varieties, the number and weight of nodules in the variant with pre-sowing treatment and 2 foliar applications increased by 57.6 and 65 %, respectively, compared to the control, nitrogenase activity – by 67.3 %. The use of a combination of the preparations Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3 and Biodux by pre-sowing seed treatment and one foliar feeding in the phase 1...3 of trifoliate leaves provided the greatest increase in the yield of the Leader 1 variety 0.29 t/ha, Zusha – 0.35, Mezenka – 0.40 t/ha. The maximum increase in protein content in grain was observed in the Mezenka variety in the variant with pre-sowing seed treatment and 1 or 2 foliar fertilizers – by 1.1 and 1.0 %, respectively.

Ключевые слова: соя, ризобактерии, агротехнологии, сорта, биологизация.

Keywords: soybeans, rhizobacteria, agrotechnologies, varieties, biologization.

Соя – уникальная культура, которую можно отнести к группе универсальных сельскохозяйственных растений, используемых как сырье с достаточным высоким выходом белка и жира с единицы площади за период вегетации для последующего производства пищевых продуктов [1], кормов [2] и биоудобрений (в том числе в виде пожнивных остатков) [3]. В то же время благодаря способности усваивать атмосферный азот, переводить его в доступную аммонийную форму и, таким образом, частично или полностью удовлетворять свои потребности в этом элементе, посевы сои в симбиозе с клубеньковыми ризобактериями служат одним из средообразующих компонентов агроэкосистем [4].

Азот – один из основных жизненно необходимых макроэлементов питания растений, от наличия которого зависят процессы роста и развития сельскохозяйственных растений. Так как его соединения очень лабильны и легко вымываются из почвенных горизонтов, доступных форм этого минерального элемента в почве, как правило, недостаточно. Современные сельхозтоваропроизводители для восполнения дисбаланса почвенного плодородия и удовлетворения возрастающих потребностей растений для формирования запланированной урожайности активно используют минеральные удобрения. Однако нельзя игнорировать воздействие отдельных аспектов такого рода антропогенных нагрузок на экологическое состояние агроэкосистем.

Один из методов снижения нагрузки на окружающую среду с точки зрения экологической оптимизации природопользования – введение в севообороты культур-азотфиксаторов с высокой симбиотрофностью [5]. Биологический азот не представляет опасности с точки зрения загрязнения производимой продукции и окружающей среды [6]. Процессы азотфиксации и работы фотосинтетического аппарата тесно сопряжены, и весь поглощенный из атмосферы азот расходуется в реакциях биосинтеза в растительном организме [7, 8].

Уровень и качество процессов минерализации-иммобилизации почвенного и симбиотического азота зависят от наличия в почве микробной биомассы с соответствующими функциями ферментативного аппарата, количество почвенных микроорганизмов напрямую связано с антропогенной нагрузкой [9]. Для увеличения урожайности и качества производимой продукции при сохранении биологического потенциала почвы целесообразно использование микробиологических препаратов. Повышение численности и разнообразия ризосферной микробиоты улучшает питание сельскохозяйственных культур благодаря увеличению подвижности почвенных соединений минеральных элементов, а также усилению усваивающей способности корневых систем растений [10, 11, 12]. Неоспоримую роль в вовлечении в систему питания растений дополнительного количества биологического азота играют микробиологические препараты, основой которых служат клубеньковые и ассоциативные микроорганизмы [13].

Оценка взаимодействия искусственно внесенных штаммов эндофитных ризобактерий с почвенными микроорганизмами и культурными растениями, направленная на изучение реакции новых и перспективных сортов на применение микробиологических препаратов нового поколения, соответствует одному из приоритетных направлений Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Цель исследований – определение эффективности применения микробиологических препаратов для улучшения симбиотической деятельности и повышения урожайности новых и перспективных сортов сои.

Методика. Работу выполняли на базе Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур в полевом севообороте в 2019–2023 гг. Рельеф местности слабо выражен, склон – северный. Почва опытного участка – темно-серая лесная среднесуглинистая, средне-

окультуренная, характеризуется следующими агрохимическими показателями: pH – 4,87 (ГОСТ 26423-85), содержание гумуса (ГОСТ 26213-2021) – 5,1 %, нитратного азота – 11,10 мг/кг почвы (ГОСТ 26951-86), аммонийного азота – 6,19 мг/кг почвы (ГОСТ 26489-85), подвижного калия и фосфора – соответственно 14,3 мг/100 кг почвы и 12,7 мг/100 кг почвы (ГОСТ 54650-2011).

Объектом полевых исследований были новые перспективные районированные отечественные сорта сои, различающиеся по архитектонике [14]: индетерминантного типа роста и развития – ранние сорта Осмонь (в Госреестре РФ с 2018 г.) и Мезенка (в Госреестре РФ с 2016 г.); полудетерминантного – среднеранний одностебельный сорт Зуша (в Госреестре РФ с 2015 г.); детерминантного – ранний, с тенденцией к среднераннему, сорт Лидер 1 (в Госреестре РФ с 2019 г.) и ранний Орлея (в Госреестре РФ с 2024 г.).

Используемые в исследованиях микробиологические препараты внесены в Перечень средств производства для применения в системе органического и биологизированного земледелия на основе ГОСТ 33080-2016 и международных стандартов органического сельского хозяйства и разрешены для применения на широком спектре сельскохозяйственных культур, в том числе и на сое.

Ризоформ Соя – жидкий на основе штамма специализированной соевой бактерии *Bradyrhizobium japonicum* ($2\text{--}3 \times 10^9$ КОЕ/мл), активизирующий почвенную микробиоту, положительно влияющий на размер и качество урожая, а также на последующие культуры в севообороте.

Статик – прилипатель-стабилизатор, обеспечивающий сохранность жизнеспособных бактерий на поверхности семян до 21 дня.

Биостим Старт – аминокислотный биостимулятор прорастания и развития корневой системы на начальном этапе онтогенеза.

Organit N – микробиологический препарат, содержащий клетки и биологически активные метаболиты штамма *Azospirillum zeae* OPN-14, 1×10^9 КОЕ/мл. Основные функции препарата – улучшение азотного питания сельскохозяйственных культур благодаря способности свободноживущих бактерий *Azospirillum zeae* самостоятельно фиксировать атмосферный азот и переводить его в аммонийные формы, более доступные для потребления растениями; стимулирование корнеобразования

Табл. 1. Схемы опытов

Вариант	Наименование биопрепарата, доза внесения	Срок применения
Опыт 1 (2019–2021 гг.)		
Контроль (без обработки)	–	–
Предпосевная обработка семян	аминокислотный биостимулятор Биостим Старт, 1,0 л/т Ризоформ Соя (<i>Bradyrhizobium japonicum</i> , $2\text{--}3 \times 10^9$ КОЕ/мл), 3,0 л/т + стабилизатор-прилипатель Статик, 0,85 л/т	за 14 дней до посева в день посева
Опыт 2 (2022–2023 гг.)		
Контроль (без обработки)	–	–
Предпосевная обработка семян	Organit P (<i>Bacillus megaterium</i> OPP-31, 1×10^9 КОЕ/мл), 3 л/т + Organit N (<i>Azospirillum zeae</i> OPN-14, 1×10^9 КОЕ/мл), 3 л/т + Pseudobacterin 3 (<i>Pseudomonas aureofaciens</i> 2391Д, 2×10^9 КОЕ/мл), 3 л/т + Biodux (<i>Montierella alpine</i> F-1134), 3 мл/т	за день до посева
Предпосевная обработка семян + листовая подкормка вегетирующих растений	Organit P (<i>Bacillus megaterium</i> OPP-31, 1×10^9 КОЕ/мл), 3 л/т + 2 л/га + Organit N (<i>Azospirillum zeae</i> OPN-14, 1×10^9 КОЕ/мл), 3 л/т + 2 л/га + Pseudobacterin 3 (<i>Pseudomonas aureofaciens</i> 2391Д, 2×10^9 КОЕ/мл), 3 л/т + 2 л/га + Biodux (<i>Montierella alpine</i> F-1134), 3 мл/т + 4 мл/га	за день до посева + в фазе 1...3 тройчатого листа
Предпосевная обработка семян + две листовые подкормки вегетирующих растений	Organit P (<i>Bacillus megaterium</i> OPP-31, 1×10^9 КОЕ/мл), 3 л/т + 2 л/га + 2 л/га + Organit N (<i>Azospirillum zeae</i> OPN-14, 1×10^9 КОЕ/мл), 3 л/т + 2 л/га + 2 л/га + Pseudobacterin 3 (<i>Pseudomonas aureofaciens</i> 2391Д, 2×10^9 КОЕ/мл), 3 л/т + 2 л/га + 2 л/га + Biodux (<i>Montierella alpine</i> F-1134), 3 мл/т + 4 мл/га + 4 мл/га	за день до посева + в фазе 1...3 тройчатого листа + в фазе бутонизации

и других ростовых процессов культурных растений путем синтеза ряда веществ фитогормональной природы (биологически активных веществ) [15].

Organit P – микробиологический препарат, содержащий споры штамма *Bacillus megaterium* OPP-31, 1×10^9 КОЕ/мл, улучшающий минеральное питание растений путем повышения биодоступности фосфора и калия, стимулирующий корнеобразование и рост растений благодаря продуцированию поли-бета-гидромасляной кислоты и других ростстимулирующих веществ.

Pseudobacterin 3 – микробиологический препарат (биофунгицид), содержащий живые клетки штамма *Pseudomonas aureofaciens* 2391Д, 2×10^9 КОЕ/мл. Основные функции препарата – защита растений от широкого спектра грибных и бактериальных фитопатогенов благодаря синтезу антибиотиков феназинового ряда, которые не вызывают резистентность у фитопатогенов; интенсификация роста корневой системы растений благодаря наличию бактериальных клеток, участвующих в синтезе индол-3-уксусной кислоты [15].

Biodux – биологический регулятор роста, содержащий биологически активный комплекс полиненасыщенных жирных кислот низшего почвенного гриба штамма *Montierella alpine* F-1134, стимулирующий развитие корневой системы и генеративных органов; повышающий устойчивость к абиотическим (пестицидным и погодным) стрессам; усиливающий усвоение элементов минерального питания [15].

Расход рабочей жидкости для предпосевной обработки семян (Биостим Старт – за 14 дней до посева, Ризоформ Соя + Статик – в день посева, смесью Organit P + Organit N + Pseudobacterin 3 + Biodux – за день до посева) – 10 л/т, для листовых подкормок – 100 л/га (утром или вечером в безветренную погоду). Листовые подкормки проводили путем обработки вегетирующих растений с использованием ручного аккумуляторного опрыскивателя Union OP-12AT баковой смесью препаратов согласно схемам опытов (табл. 1), в фазы 1...3-го тройчатого листа и бутонизации сои.

Закладку полевых опытов, учеты, анализы и статистическую обработку данных осуществляли в соответствии с действующей методикой [16]. Полевые опыты закладывали в четырехкратной повторности. Посевная площадь делянки – 11,25 м², учетная – 10 м². Расположение вариантов – рендомизированное. Норма высева всхожих семян – общепринятая для зоны районирования и в количественном выражении составляет 600 тыс. всхожих семян на 1 га. Посев проводили широкорядным способом с шириной междурядий 0,45 м сеялкой СКС-6–10. Химические препараты не применяли, так как плотность популяции вредителей и степень развития болезней не достигала порога экономической вредности. Борьбу с сорной растительностью осуществляли путем междурядных обработок культиватором в первой половине вегетации растений по мере необходимости. Перед уборкой с делянок отбирали сноповые образцы растений для определения структуры урожая. Показатели урожайности приводили к стандартной влажности и 100 %-ной чистоте. Уборку выполняли прямым комбайнированием в макрофазу развития сои – отмирание (код ВВСН 909) комбайном Zürn 150. Полевые исследования сопровождали фенологическими наблюдениями.

Нитрогеназную активность симбиотических азотфиксирующих бактерий определяли «ацетиленовым» методом, основанным на восстановлении ацетилена до этилена, на портативном хроматографе ФГХ-1 с пламенным ионизационным детектором по времени выхода каждого газа. В период цветения – образования

бобов (на нижних трех ярусах уже были сформированы бобы, а верхние ярусы – цвели) для оценки нитрогеназной (азотфиксирующей) активности у 5 растений с каждой делянки корни промывали водопроводной водой, подсчитывали число клубеньков, помещали корни в герметичные флаконы (250 мл). Количество образованного этилена измеряли после экспликации в течение 1 ч в атмосфере с 10 % ацетилена при 25 °С, с последующей остановкой химической реакции 6 мл раствором Несслера. После этого клубеньки отделяли от корней и взвешивали.

Количественное содержание фотосинтетических пигментов в листьях сои определяли спектрофотометрическим методом. Для проведения исследования в фазе цветения (критической для развития растений сои) в дневные часы в солнечную погоду отбирали развитые, функционально зрелые листья со второго верхнего яруса. Сверлом диаметром 10 мм делали высечки, которые использовали для приготовления спиртового экстракта, содержащего сумму зеленых и желтых пигментов. Оптическую плотность рабочего раствора этаноловых вытяжек определяли на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ при длинах

Табл. 2. Влияние микробиологических препаратов на содержание пигментов в листьях сои в фазе цветения (в среднем за 2 года), мг/г сухого вещества

Вариант	Количество			Сумма <i>Chl</i> <i>a+b</i>	Отношение <i>Chl</i> <i>a/b</i>
	<i>Chl a</i>	<i>Chl b</i>	каротиноиды (2023 г.)		
Лидер 1					
Контроль	5,12	1,53	1,11	6,65	3,35
Предпосевная обработка + листовая подкормка	5,98	1,68	1,25	7,66	3,56
Предпосевная обработка + две листовые подкормки	5,68	1,83	1,17	7,51	3,1
НСП ₀₅	0,02	0,01	0,01		
Мезенка					
Контроль	5,34	1,44	1,20	6,78	3,01
Предпосевная обработка + листовая подкормка	6,02	1,87	1,46	7,89	3,22
Предпосевная обработка + две листовые подкормки	5,88	1,47	1,18	7,35	4,0
НСП ₀₅	0,04	0,01	0,02		
Орля					
Контроль	5,33	1,56	1,28	6,89	3,42
Предпосевная обработка + листовая подкормка	6,29	2,07	1,08	8,36	3,04
Предпосевная обработка + две листовые подкормки	5,82	1,65	1,26	7,47	3,53
НСП ₀₅	0,01	0,06	0,01		
Зуша					
Контроль	5,93	1,65	0,62	7,58	3,59
Предпосевная обработка + листовая подкормка	6,13	2,29	1,11	8,42	2,68
Предпосевная обработка + две листовые подкормки	6,33	2,47	1,01	8,8	2,56
НСП ₀₅	0,12	0,08	0,02		
Осмонь					
Контроль	5,29	1,53	1,22	6,82	3,46
Предпосевная обработка + листовая подкормка	6,27	1,59	0,85	7,86	3,94
Предпосевная обработка + две листовые подкормки	6,0	1,68	1,35	7,68	3,57
НСП ₀₅	0,03	0,09	0,1		

волн 665, 649 и 440 нм с максимумами поглощения соответственно хлорофилла *a*, хлорофилла *b* и каротиноидов. Измерения проводили при комнатной температуре на рассеянном свете, так как при сильном освещении может произойти фотоокисление хлорофилла. Концентрацию хлорофиллов *a* и *b* рассчитывали по уравнениям Винтерманс и Де Мотс для этанола, каротиноидов – в суммарной вытяжке пигментов по уравнению Веттштейна.

Площадь ассимиляционной поверхности определяли планиметрическим методом, основанным на сканировании листовой поверхности с автоматическим подсчетом заданных параметров в режиме *Real time* (реального времени) на лабораторном измерителе площади листьев LI-3100C. Содержания белка и жира в семенах сои определяли методом спектроскопии в ближней инфракрасной области (ГОСТ 32749-2014) на анализаторе Infratec 1241 (FOSS, Denmark, программа SO 090711).

Метеоусловия вегетационных периодов 2019–2023 гг. характеризовались контрастностью по фенологическим фазам роста и развития растений сои. Нестабильность природно-климатических факторов и их значительные изменения по годам исследований позволили получить более точные результаты. В 2019 г. (ГТК = 0,4...2,1) с третьей декады мая по июнь имели место воздушная и почвенная засухи, с конца июня и весь июль наблюдался пониженный температурный режим с достаточно значительным перепадом дневных и ночных температур в 21,15 °С. В 2020 г. (ГТК = 0,31...2,08) отмечали неблагоприятную погоду в мае, что негативно повлияло на период посев-всходы; июнь характеризовался жаркой и сухой погодой, в июле отмечено максимальное количество осадков, а август был сухим. В 2021 г. (ГТК = 0,49...1,6) выдался холодный и дождливый май, в июне–августе наблюдали сухие периоды. В 2022 г. (ГТК = 0,48...1,67) из-за холодного с обильными осадками мая посев культуры был проведен в достаточно поздние сроки (24 мая). Однако последующий благоприятный температурный режим способствовал формированию дружных всходов. При этом сентябрь также оказался неблагоприятным для уборки. Во второй половине месяца отмечали переувлажнение почвы, что сдвинуло сроки ее проведение на конец первой декады октября. Условия 2023 г. (ГТК = 0...1,3) в целом оказались более засушливыми, чем в предыдущем году.

Результаты и обсуждение. Применяемые агроприемы оказывают влияние на состояние пигментного комплекса, более высокая физиологическая активность фотосинтетического аппарата наблюдается в вариантах с применением микробиологических препаратов (табл. 2). Так, сумма хлорофиллов *a* и *b* в листьях сорта Лидер 1 в фазе цветения в опыте с предпосевной обработкой и листовыми подкормками препаратами Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3 и Biodux в среднем была больше, чем в контроле, на 14,1 % (0,94 мг/г), Мезенка – на 12,4 % (0,85 мг/г), Орля – на 14,9 % (1,03 мг/г), Зуша – на 13,6 % (1,03 мг/г), Осмонь – на 13,9 % (0,95 мг/г).

В результате постоянного присутствия в севообороте опытного участка зернобобовых культур в почве сформировалась достаточно многочисленная устойчивая популяция азотфиксирующих бактерий, наличие которых подтверждает наличие клубеньков на корнях растений сои в контрольных вариантах опыта без предпосевной обработки семян. Тем не менее инокуляция Ризоформ Соя (опыт 1) повысила уровень образования азотфиксирующих клубеньков на корневой системе сои в среднем по сортам на 29,4...29,9 %. Отмечали значительное варьирование величины этого показателя по годам, что

было связано, в том числе с метеоусловиями, которые в 2019 и 2020 гг. оказались неблагоприятными для образования симбиотического аппарата. Клубеньки на главном (тип А) или боковых (тип Б) корнях сои образуются на самых ранних стадиях развития (фаза семядольных листьев – 1-го тройчатого листа) [17]. Дефицит влаги в этот период в годы исследований обусловил нехватку элементов питания, а именно углеводов, для ризобактерий [18], что привело к ухудшению их жизнедеятельности и даже к отмиранию сформировавшихся клубеньков, что было отмечено при визуальном осмотре верхней части пахотного слоя, когда отмершие клубеньки фиксировали непосредственно в почве.

Использование баковой смеси микробиологических препаратов Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3, Biodux (опыт 2) на разных этапах роста и развития растений активизировало почвенную микрофлору, в том числе аборигенную расу соецицифичных симбиотических азотфиксирующих бактерий. Комплекс «полезных» микроорганизмов (микробиологические препараты Organit P + Organit N + Pseudobacterin 3 + Biodux), применяемый путем предпосевной обработки семян и листовых подкормок положительно повлиял на азотфикси-

Табл. 3. Характеристика симбиотического аппарата растений сои при обработке микробиологическими препаратами в период взятия проб (среднее 2022–2023 гг.)

Вариант	Сорт				
	Лидер 1	Мезенка	Орля	Зуша	Осмонь
Количество клубеньков, шт./растение					
Контроль	40,4	31,8	40,7	45,7	46,2
Предпосевная обработка + листовая подкормка	65,3	56,4	65,6	65,6	60,0
Предпосевная обработка + две листовые подкормки НСР ₀₅	66,5	46,3	69,7	67,8	72,5
Масса клубеньков, г/растение					
Контроль	0,12	0,06	0,18	0,14	0,21
Предпосевная обработка + листовая подкормка	0,73	0,42	0,40	0,51	0,42
Предпосевная обработка + листовая подкормка	1,09	0,71	0,59	0,62	0,77
Предпосевная обработка + две листовые подкормки НСР ₀₅	1,19	0,64	0,69	0,75	0,87
Нитрогеназная активность, мкмоль C₂H₄/(раст. × ч)					
Контроль	0,06	0,11	0,02	0,01	0,07
Предпосевная обработка + листовая подкормка	3,84	3,58	3,19	3,21	4,23
Предпосевная обработка + листовая подкормка	5,47	4,60	4,8	4,84	5,59
Предпосевная обработка + две листовые подкормки НСР ₀₅	5,63	5,18	6,33	6,58	6,48
НСР ₀₅	0,1	0,13	0,25	0,17	0,31

рующую способность корневой системы растений сои. Симбиотические показатели растений сои в опытных вариантах в среднем по годам исследований и сортам возросли, в сравнении с контролем. Количество клубеньков на корнях растений увеличилось на 17,82 шт., или 30,3 %, их масса – на 0,29 г, или 36,7 %, нитрогеназная активность – на 1,95 мкмоль C₂H₄/(раст. × ч), или на 54 % (табл. 3).

Реакция растений сорта Зуша на предпосевную обработку Ризоформ Соя и Биостим Старт была выше, чем у сорта Осмонь, в 4,6 раза. Достоверная прибавка урожая семян сои сортов Зуша и Осмонь по отношению к контролю составила соответственно 6,0 и 1,3 %, или 0,19 т/га и 0,04 т/га (табл. 4).

Табл. 4. Влияние микробиологических препаратов на урожайность зерна сои различных сортов (2022–2023 гг.), т/га

Вариант опыта	2022 г.	2023 г.	Средняя	Прибавка, %
Лидер 1				
Контроль	2,11	2,52	2,30	–
Предпосевная обработка	2,20	2,73	2,47	7,4
Предпосевная обработка + листовая подкормка	2,36	2,82	2,59	12,6
Предпосевная обработка + две листовые подкормки	2,16	2,72	2,44	6,1
HCP ₀₅	0,21	0,22	–	–
Среднее по сорту	2,21	2,68	2,45	–
Мезенка				
Контроль	2,27	2,14	2,21	–
Предпосевная обработка	2,44	2,38	2,41	9,1
Предпосевная обработка + листовая подкормка	2,51	2,71	2,61	18,1
Предпосевная обработка + две листовые подкормки	2,48	2,61	2,55	15,4
HCP ₀₅	0,21	0,14	–	–
Среднее по сорту	2,43	2,46	2,45	–
Орлея				
Контроль	2,86	2,59	2,73	–
Предпосевная обработка	2,71	2,62	2,67	–2,2
Предпосевная обработка + листовая подкормка	2,24	2,59	2,37	–13,2
Предпосевная обработка + две листовые подкормки	1,78	2,62	2,20	–19,4
HCP ₀₅	0,25	0,10	–	–
Среднее по сорту	2,40	2,61	2,49	–
Зуша				
Контроль	1,73	2,19	1,96	–
Предпосевная обработка	1,94	2,57	2,26	15,3
Предпосевная обработка + листовая подкормка	2,00	2,61	2,31	17,9
Предпосевная обработка + две листовые подкормки	1,78	2,47	2,13	8,7
HCP ₀₅	0,18	0,18	–	–
Среднее по сорту	1,86	2,46	2,17	–
Осмонь				
Контроль	2,40	2,33	2,37	–
Предпосевная обработка	2,56	2,56	2,56	8,0
Предпосевная обработка + листовая подкормка	2,47	2,54	2,51	5,9
Предпосевная обработка + две листовые подкормки	2,23	2,45	2,34	–1,3
HCP ₀₅	0,20	0,21	–	–
Среднее по сорту	2,42	2,47	2,45	–

В опыте с комплексом препаратов (Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3, Biodux) средняя урожайность детерминантных сортов Лидер 1 и Орлея была выше, чем у индетерминантных, в среднем за 2022–2023 гг. на 0,8 %, причем в 2023 г. эта разница составила 6,8 %. В то же время у индетерминантных сортов Мезенка и Осмонь урожайность была стабильной по годам исследований, тогда как у детерминантных сортов Лидер 1 и Орлея, а также полудетерминантного сорта Зуша в более благоприятном 2023 г. она была выше, чем в 2022 г., – соответственно на 17,5; 8,0 и 24,4 %.

У сортов Лидер 1, Мезенка и Зуша наибольшие достоверные прибавки урожая, в сравнении с контролем, отмечены в варианте с предпосевной обработкой и 1 листовой подкормкой, в 2022 г. они составили соответственно 0,25; 0,24 и 0,28 т/га (11,8; 10,6 и 15,6 %), в 2023 г. – 0,3; 0,57 и 0,42 т/га (11,9; 26,6 и 19,2 %). У сорта Осмонь самую высокую прибавку урожая семян наблюдали в варианте с применением только предпосевной обработки, в 2022 г. она составила 0,16 т/га (6,7 %), в 2023 г. – 0,23 т/га (9,9 %).

Использование баковой смеси микробиологических препаратов Organit P, Organit N, Pseudobacterin 3, Biodux по-разному влияло на формирование качественных показателей семян. В среднем за 2 года наибольшая достоверная прибавка содержания белка, по сравнению

с контролем, зафиксирована у сорта Лидер 1 в варианте с двумя листовыми подкормками (на 0,6 %, при HCP₀₅ = 0,02); Осмонь – с 1 листовой подкормкой (0,9 %, HCP₀₅ = 0,01); Мезенка – с 1 и 2 листовыми подкормками (соответственно 1,1 и 1,0 %, HCP₀₅ = 0,04). У сортов Орлея и Зуша различия были незначительными.

Достоверное повышение содержания жира в зерне при использовании изучаемых агроприемов отмечали только у сорта Мезенка. Прибавка в варианте с одной листовой подкормкой составляла 0,4 %, с двумя – 0,5 % при HCP₀₅ = 0,02 %.

Выводы. Инокуляция семян сои Ризоформ Соя, содержащим азотфиксирующую ризобактерию *Bradyrhizobium japonicum*, в сочетании с предпосевной обработкой Биостим Старт положительно влияет на формирование симбиотического аппарата и урожайности. При этом прибавка урожая полудетерминантного сорта Зуша составила 6,0 % (0,19 т/га), индетерминантного сорта Осмонь – 1,3 % (0,04 т/га).

При наличии в почве аборигенных рас симбиотических азотфиксирующих бактерий при возделывании сои целесообразно использовать препараты, содержащие полезную почвенную микрофлору. Микроорганизмы (и/или их метаболиты) видов *Bacillus megaterium*, *Azospirillum zeae*, *Pseudomonas aureofaciens*, *Montierella alpine* способны активизировать бобово-ризобийный симбиоз (увеличивать количество и массу клубеньков на корневой системе растений сои в среднем на 57,6 и 65,0 % соответственно и повышать их нитрогеназную активность в среднем на 67,3 %). Это приводит к повышению продуктивности и улучшению качества семян сои. Наибольшую прибавку урожая зерна сои детерминантного сорта Лидер 1, индетерминантного сорта Мезенка и полудетерминантного сорта Зуша (соответственно 0,29; 0,35 и 0,4 т/га) в условиях Орловской области обеспечила предпосевная обработка семян в сочетании с листовой подкормкой в фазе 1...3 тройчатых листьев баковой смесью препаратов Organit P (3 л/т и 2 л/га), Organit N (3 л/т и 2 л/га) Pseudobacterin 3 (3 л/т и 2 л/га), Biodux (3 мл/т и 4 мл/га). При выращивании индетерминантного сорта Осмонь наилучшие результаты обеспечила предпосевная обработка указанной баковой смесью (прибавка 0,19 т/га).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств Министерства науки и высшего образования Российской Федерации при выполнении госзадания. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

Литература.

1. Васильчиков А. В., Гурьев Г. П. Изучение эффективности различных форм микробных препаратов для инокуляции сои // *Земледелие*. 2017. № 3. С. 3–4.
2. Рациональное использование соевой окары в рационах молодняка свиней / С. В. Дежаткина, Н. А. Любин, А. В. Дозоров и др. // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2017. № 5. С. 40–44.
3. Лукомец В. М., Тишков Н. М. Использование послеуборочных растительных остатков сои для компенсации расхода гумуса и выноса азота, фосфора и калия с урожаем семян // *Масличные культуры*.

- Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018. № 1(173). С. 47–54. doi: 10.25230/2412-608X-2018-1-173-47-54.
4. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Экология азотфиксации. М.: РАН, 2019. 252 с.
 5. Отзывчивость сои на использование биопрепарата АЦК-утилизирующих ризобактерий / Ю. В. Береговая, И. Л. Тычинская, Н. И. Ботуз и др. // Вестник аграрной науки. 2018. № 4(73). С. 3–12.
 6. Урожайность и качество сельскохозяйственной продукции при использовании биопрепаратов / Ю. В. Лактионов, А. П. Кожеев, В. В. Яхно и др. // Агромир Черноземья. 2013. № 1–2(103). С. 24–25.
 7. Тихонов И. А., Завалин А. А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. 2016. № 5. С. 28–32.
 8. Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С. Ассоциативная азот-фиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 2019. № 8. С. 83–96. doi: 10.1134/S0002188119080143.
 9. Сортовая специфичность эффектов ризобактерий в отношении азотфиксирующего симбиоза и минерального питания сои в условиях агроценоза / Ю. В. Береговая, И. Л. Тычинская, С. Н. Петрова и др. // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. С. 977–993. doi: 10.15389/agrobiology.2018.5.977rus.
 10. Лебедев В. Н., Воробейков Г. А., Ураев Г. А. Влияние инокуляции эндوفитными ризобактериями на морфофизиологические особенности луковичных культур // Успехи современного естествознания. 2023. № 3. С. 5–10. doi: 10.17513/use.38009.
 11. Species interactions improve aboveground biomass and land use efficiency in intercropped wheat and chickpea under low soil inputs / M. Latati, P. Dokukin, A. Aouiche, et al. // Agronomy. 2019. Vol. 9(11). P. 765. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/11/765> (дата обращения: 16.05.2024).
 12. Изменение структуры прокариотного сообщества в ризосфере рапса ярового (*brassica napus* L.) в зависимости от внесения бактерий, утилизирующих L-аминоциклопропан-1-карбоксилат / С. Н. Петрова, Е. Е. Андронов, А. А. Белимов и др. // Микробиология. 2020. Т. 89. № 1. С. 121–128. doi: 10.31857/S0026365620010115.
 13. Влияние микробиологических препаратов и предшественника на формирование симбиотического аппарата, урожайность и агрохимические показатели почвы при возделывании чечевицы, нута и чины / Г. П. Гурьев, М. В. Донская, М. М. Донской и др. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2024. № 1(49). С. 10–18. doi: 10.24412/2309-348X-2024-1-10-18.
 14. Зотиков В. И., Вилунов С. Д. Современная селекция зернобобовых и крупяных культур // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. № 25(4). С. 381–387. doi: 10.18699/VJ21/041.
 15. Каталог продуктов Bionovatic. URL: <https://bionovatic.ru/catalog> (дата обращения: 03.05.2024).
 16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований / 5-е изд., доп. и перераб.. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
 17. Лучинский А. С., Зеленцов С. В. Явление сверхглубокого образования клубеньков у сои // Масличные культуры. 2008. № 2(139). С. 59–61.
 18. Головина Е. В., Зотиков В. И. Влияние погодных условий на продукционный процесс у сортов сои северного экотипа // Сельскохозяйственная биология. 2013. № 6. С. 112–118.

Поступила в редакцию 31.05.2024
После доработки 22.06.2024
Принята к публикации 13.08.2024

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 631.527.8:633.31:632.4

DOI 10.31857/S2500262724040047 EDN FLLFDL

ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЛЕКЦИОННЫХ ПРИЗНАКОВ И СВОЙСТВ КОРМОВОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ У ГРУПП СОРТООБРАЗЦОВ ЛЮЦЕРНЫ С РАЗЛИЧНОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ВИРУСНО-ФИТОПЛАЗМЕННЫМ ИНФЕКЦИЯМ

© 2024 г. В. М. Косолапов, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, Л. Д. Сайфутдинова, В. И. Чернявских, доктор сельскохозяйственных наук, Е. В. Думачева, доктор биологических наук

Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса,
141055, Московская обл., Лобня, Научный городок, 1
E-mail: cherniavskih@mail.ru

Исследования проводили в 2019–2023 гг. в Белгородской области с целью селекционной оценки сортов люцерны, обладающих различной устойчивостью к «ведьминой метле» люцерны (ВМЛ). Изучено 52 селекционных образца, относящихся к видам *Medicago sativa* L., *M. varia* Mart., *M. falcata* L. Почва – чернозем типичный с содержанием гумуса (по Тюрину) 4,7...5,0 %. Посев проводили в 2019 г., учеты – в 2019–2023 гг. Стандарт – сорт Белгородская 86, высевали через 5 номеров. Норма высева 100 всхожих семян на 1 погонный метр. Группа сортов (n=10) с низкой устойчивостью к ВМЛ (с варьированием распространенности 24,3...34,9 %) отличается большим накоплением белка (на 44,6 г/кг, $t=8,0$, $p<0,05$), более высокой облиственностью (на 4,8 %, $t=3,7$, $p<0,05$) и высотой (на 25,3 см, $t=6,2$, $p<0,05$) по сравнению с группой сортов (n=12), устойчивых к ВМЛ (варьирование распространенности 4,6...9,1 %). Образцы с высокой устойчивостью к ВМЛ относятся к сортовым люцернам желтой и желтогибридной (Павловская 7, ПО-172, Марусинская 425, ПО-173, Сарга, ПО-174, Виктория, 20–89 Н, 193–95д, ПО-175, СГПР-8, Vela×Сарга), характеризуются повышенным долголетием и формируют стабильный урожай сена в течение пяти лет жизни травостоев. Образцы с низкой устойчивостью к ВМЛ относятся к сортовым люцернам синей и частично синегибридной (Краснояржская 2, СИ-139, СИ-138, Плато, Верко, Люзель, Сальса, Крено, Галакси, Планет). В первые три года жизни травостоев они отличаются более высокой продуктивностью кормовой массы, которая затем резко снижается.

MANIFESTATION OF SELECTION TRAITS AND PROPERTIES OF FORAGE PRODUCTIVITY IN GROUPS OF ALFALFA VARIETIES WITH DIFFERENT RESISTANCE TO VIRAL AND PHYTOPLASMA INFECTIONS

V. M. Kosolapov, L. D. Sajfutdinova, V. I. Cherniavskih, E. V. Dumacheva

Williams Federal Scientific Center of Forage Production and Agroecology,
141055, Moskovskaya obl., Lobnya, Nauchnyi gorodok, 1
E-mail: cherniavskih@mail.ru

The research was conducted in 2019–2023 in Belgorod region with the purpose of breeding evaluation of alfalfa cultivars with different resistance to «witches' broom alfalfa» (WBA). Fifty-two selection samples belonging to species *Medicago sativa* L., *M. varia* Mart., *M. falcata* L. The soil is typical chernozem, humus content (according to Tyurin) 4.7...5.0 %, The year of sowing – 2019. Predecessor – pure fallow. Plots – two-row long 3.5 m, row spacing width – 0.3 m. Repetition – five times. Standard – variety Belgorodskaya 86, sown through 5 numbers. Seeding rate of 100 germinated seeds per 1 linear meter. It was found that the group of varietal samples (n=10) with low resistance to WBA (variation of prevalence 24.3–34.9 %) is characterized by a greater accumulation of protein (by 44.6 g/kg, $t=8.0$, $p<0.05$), higher foliage (by 4.8 %, $t=3.7$, $p<0.05$) and height (by 25.3 cm, $t=6.2$, $p<0.05$), compared to the group of varieties resistant to WBA (n=12) (prevalence variation 4.6...9.1 %). Varieties with high resistance to WBA, belong to yellow and yellow-hybrid alfalfa varieties: Pavlovskaya 7, PO-172, Marusinskaya 425, PO-173, Sarga, PO-174, Victoria, 20–89 H, 193–95d, PO-175, SGPR-8, Vela×Sarga. Varieties with low resistance to WBA belong to blue alfalfa and partially – blue-hybrid varieties: Krasnoyarskaya 2, SI-139, SI-138, Plateau, Verko, Luzelle, Salsa, Kreno, Galaxi, Planet.

Ключевые слова: люцерна (*Medicago* L.), коллекционный питомник, урожайность кормовой массы, селекция, содержание белка, облиственность, вирусно-фитоплазменные инфекции, ведьмина метла люцерны.

Keywords: alfalfa (*Medicago* L.), collection nursery, forage yield, selection, protein content, foliage, viral-phytoplasma infections, witches' broom alfalfa.

В последние десятилетия наблюдается значительное увеличение числа инфекционных заболеваний растений, вызываемых бактериями, вирусами, грибами и другими возбудителями, а также рост их распространенности в посевах сельскохозяйственных культур [1, 2, 3].

Растущую угрозу во всем мире представляют фитоплазмы – плеоморфные бактерии без клеточной стенки [4]. Фитоплазменные инфекции могут снижать урожай различных культур на 40...100 % [5, 6, 7]. Значительную опасность фитоплазма представляет для вида *Medicago* L. Наиболее распространена комплексная вирусно-фитоплазменная инфекция, проявляющаяся форме «ведьминой метлы» люцерны (ВМЛ) [8], особенно на фоне изменяющихся условий среды [9].

В последние десятилетия в люцерносеющих регионах России, Средней Азии и других территориях комплексные вирусно-фитоплазменные инфекции люцерны, проявляющиеся форме ВМЛ, – значительная проблема, ограничивающая эффективность возделывания этой культуры, снижающая кормовую, семенную продуктивность и долголетие травостоев [10, 11].

Эффективным долгосрочным методом борьбы с фитоплазменной инфекцией считают формирование устойчивости у растений на основе идентификации и отбора устойчивых форм [4, 12]. Признаки, отрицательно связанные с ВМЛ (содержание фенольных соединений, антиоксидантная активность, уровень метаболитов, связанных со стрессом, эффективность фотосинтеза,

содержание белка и др.), обладают высокой степенью наследственности, в связи с чем возможен отбор линий люцерны, устойчивых к фитоплазме, и проведение селекций на устойчивость к этому заболеванию [13, 14].

Цель исследований – селекционная оценка сортов и селекционных образцов люцерны, обладающих различной устойчивостью к вирусно-фитоплазменной инфекции в форме «ведьминой метлы» люцерны (ВМЛ) по признакам и свойствам кормовой продуктивности для выделения лучших.

Методика. Работу проводили в 2019–2023 гг. в коллекционном питомнике, заложенном на селекционно-семеноводческом участке ИП «С. А. Мавродин» в Белгородском районе Белгородской области. Почва – чернозем типичный с содержанием гумуса (по Тюрину) 4,7...5,0 %, фосфора и калия (по Чирикову) 120...125 и 170...190 мг/кг соответственно, $pH_{\text{сол.}}$ – 6,5...6,8 ед. Предшественник – чистый пар. Посева осуществляли в 2019 г., оценку распространенности ВМЛ – в 2020–2023 гг., урожайности кормовой массы и элементов продуктивности – в 2019–2023 гг.

Метеоусловия в период с температурой выше 10 °С в годы исследований были различными. Сумму осадков ниже среднесуточной отмечали в 2019 г. (288,6 мм, ГТК=0,79), 2020 г. (302,4 мм, ГТК=0,99) и 2021 г. (273,2 мм, ГТК=0,98), когда она составляла соответственно 79,7 %, 75,4 % и 83,5 % нормы (362 мм и ГТК=1,12). Достаточно увлажненными были 2022 г. (399,6 мм, ГТК=1,38) и особенно 2023 г. (420,1 мм, ГТК=1,5) – соответственно 110,4 % и 116,0 % от нормы.

Изучали 52 сорта и созданных селекционных образца люцерны трех видов – *Medicago sativa* L. (*M. sativa*), *Medicago varia* Mart. (*M. varia*), *Medicago falcata* L. (*M. falcata*), происходящих из различных географических регионов России и мира: Центрально-Черноземного (*M. falcata* – Павловская 7, ПО-172, *M. varia* – Марусинская 425, ПО-173, ПО-179, Б 86–48 МФ, ПО-170 к, СГП-192, ПО-157 м, Воронежская 6, СГП-193, Красноярская 1, ПО-169 мк, ПО-154 м, Белгородская 86 (st), М-195 МФ, М-200, СИ-137, СГП-181, СГП-187, СИ-136, СГП-194, Белгородская 7, ПО-155 м, СИ-140, Глория, Алексеевская 1, Красноярская 2, СИ-139, СИ-138), Среднего Урала (*M. varia* – Сарга, Виктория, 20–89 Н, 193–95 д, ПО-174, ПО-175, Vela×Сарга, Сибири (*M. varia* – СГП-8), Московской области (*M. varia* – Вега 87, Находка, Таисия, Агния), Саратовской области (*M. sativa* – Артемида), Ростовской области (*M. varia* – Манычская), Франции (*M. sativa* – Люзелль, Галакси), Германии (*M. sativa* – Плато, Верко, Планет), Дании (*M. sativa* – Крено, Сальса), Канады (*M. sativa* – Дакота).

Исследования выполняли в двухрядных деланках длиной 3,5 м, шириной междурядья – 0,3 м. Расстояние между деланками – 0,5 м, повторность опыта – пятикратная. Стандарт – сорт люцерны изменчивой Белгородская 86, высевали через 5 номеров. Закладку опыта проводили ручной сеялкой с нормой высева 100 всхожих семян на 1 погонный метр [15, 16].

Учет кормовой массы осуществляли поделочно методом сплошной уборки вручную 2 раза за сезон, определяли содержание абсолютно-сухого вещества (СВ) и проводили пересчет зеленой массы на урожайность сена стандартной влажности (содержание СВ 830 г/кг, ГОСТ Р 55452-2021). Облиственность определяли путем разбора пробного снопа массой 1,0...1,2 кг с расчетом доли листьев в общей массе СВ (%), высоту травостоя – замером длины 30 стеблей в фазе начала цветения.

Со второго года жизни (2020 г.) ежегодно визуально оценивали распространение вирусно-фитоплазменных

инфекций в форме ВМЛ. Такие сроки начала учета связаны с тем, что в год посева поражение ВМЛ визуально не определяется. Пораженные растения орадиновали по морфологическим признакам – карликовость, редуцированность листьев, большое количество мелких побегов с недоразвитыми цветками. Распространенность ВМЛ рассчитывали как долю (%) визуально пораженных растений в общей выборке [12].

По итогам ранжирования распространенности ВМЛ в посевах в среднем за 2020–2023 гг. (травостой второго–пятого года жизни) сорта и сортообразцы были распределены на группы с низкой, средней и сильной распространенностью заболевания. Для дальнейшего сравнения селекционных признаков и показателей кормовой продуктивности расчеты проводили в пределах выделенных групп с различной распространенностью ВМЛ в посевах.

Групповые различия между сортообразцами по урожайности сена, облиственности, высоте растений и содержанию белка оценивали с использованием *t*-критерия, сравнивая попарно средние по группам. Для выявления силы связи между изучаемыми признаками и свойствами использовали метод корреляционного анализа рангов Спирмена (r_s) [17, 18].

Результаты и обсуждение. Внутригрупповое варьирование среди различных генотипов по признаку распространенности ВМЛ можно охарактеризовать как невысокое $C_v = 14,6...21,2$ % (табл. 1).

Табл. 1. Группировка селекционных образцов люцерны по устойчивости к ВМЛ (среднем за 2020–2023 гг.)

Распространенность ВМЛ	Селекционные образцы	Распространенность ВМЛ, %		
		$M \pm m$	lim	C_v , %
Низкая ($n = 12$)	Павловская 7, ПО-172, Марусинская 425, ПО-173, Сарга, ПО-174, Виктория, 20–89 Н, 193–95 д, ПО-175, СГП-8, Vela×Сарга	$7,9 \pm 1,4$	4,6...9,1	21,2
Средняя ($n = 30$)	ПО-179, Б 86–48 МФ, ПО-170 к, Манычская, Находка, СГП-192, Вега 87, ПО-157 м, Воронежская 6, СГП-193, Красноярская 1, ПО-169 мк, ПО-154 м, Белгородская 86 (st), М-195 МФ, М-200, Таисия, СИ-137, СГП-181, СГП-187, Артемида, СИ-136, СГП-194, Белгородская 7, Агния, ПО-155 м, СИ-140, Глория, Дакота, Алексеевская 1	$16,0 \pm 1,8$	10,9...21,7	14,6
Высокая ($n = 10$)	Красноярская 2, СИ-139, СИ-138, Плато, Верко, Люзелль, Сальса, Крено, Галакси, Планет	$29,2 \pm 3,9$	24,2...34,9	15,0

M – среднее значение; *m* – ошибка средней; *lim* – пределы варьирования; C_v – коэффициент вариации; *n* – количество сортов в группе (объем выборки).

В группу с низкой распространенностью ВМЛ на уровне $7,9 \pm 1,4$ % и пределами варьирования признака 4,6...9,1 % вошли образцы люцерны желтой (сорт Павловская 7, образец ПО-172), а также люцерны изменчивой желтогибридного (Марусинская 425, ПО-173, ПО-174, ПО-175, СГП-8) и пестрогогибридного (Виктория, 20–89 Н, 193–95 д, Сарга, Vela×Сарга) сортообразцы.

Селекционные образцы, входящие в группу со средней устойчивостью к ВМЛ (распространенность $16,0 \pm 1,8$ %, пределы варьирования 10,9...21,7 %) составляли большинство коллекции и относились

в основном к люцерне изменчивой синегибридного сорта (Б 86–48 МР, Манычская, Находка, СГП-192, ПО-157 м, Воронежская 6, СГП-193, Красноярская 1, ПО-169 мк, ПО-154 м, Белгородская 86 (st), М-195 МР, М-200, Таисия, СИ-137, СГП-181, СГП-187, СИ-136, СГП-194, Белгородская 7, Агния, ПО-155 м, СИ-140, Глория, Алексеевская 1). Кроме того, к ней отнесены три селекционных образца пестрогибридного сорта (ПО-179, ПО-170 к, Вега 87) и два сорта люцерны синей (Артемиды, Дакота).

Высокой распространенностью ВМЛ ($29,2 \pm 3,9$ % с пределами варьирования $24,3 \dots 34,9$ %) характеризовались в основном сорта люцерны синей (Плато, Верко, Люзель, Сальса, Крено, Галакси, Планет) и несколько номеров генотипов люцерны изменчивой (Красноярская 2, СИ-139, СИ-138).

Группа сортов с наибольшей распространенностью ВМЛ характеризовалась достоверно большей длиной стеблей, по сравнению с группой со слабой и средней распространенностью соответственно на $25,3$ см ($t = 6,2$, $p < 0,05$) и $8,3$ см ($t = 2,0$, $p < 0,05$). Высокорослые сорта люцерны в большей степени поражались ВМЛ, что подтверждено сильной корреляцией Спирмена ($r_s = 0,905$, $p < 0,05$) между этими признаками (табл. 2).

Накопление белка в СВ сортов с наибольшей распространенностью ВМЛ было на $44,6$ г/кг ($t = 8,0$, $p < 0,05$) больше, чем в группе со слабой распространенностью ВМЛ, и находилось на уровне группы со средней распространенностью ВМЛ. Сорта люцерны с большим содержанием белка сильнее поражались ВМЛ. Выявлена положительная зависимость между распространенностью ВМЛ в среднем за период исследований и содержанием белка в СВ ($r_s = 0,851$, $p < 0,05$).

Группа сортов с высокой распространенностью ВМЛ отличалась большей облиственностью (на $4,8$ %, $t = 3,7$, $p < 0,05$), по сравнению с группой со слабой распространенностью ВМЛ. Наиболее облиственные сорта люцерны сильнее поражались ВМЛ, что подтверждает положительная зависимость между этими признаками ($r_s = 0,691$, $p < 0,05$).

Сорта люцерны с низкой распространенностью ВМЛ формировали в год посева (2019 г.) достоверно меньший урожай сена ($p < 0,05$), чем в группе с сильным распространением заболевания, на $251,9$ г/м². На второй и тре-

тий год жизни величина этого показателя в группе с высокой устойчивостью к ВМЛ была достоверно выше, чем в группе с низким поражением, на $124,7$ г/м² ($p < 0,05$).

Сорта люцерны с низкой распространенностью ВМЛ отличались большим продуктивным долголетием и формировали урожайность на четвертый и пятый годы жизни травостоев достоверно ($p < 0,05$) больше, чем в группе со средней распространенностью, на $132,5$ г/м² (или на $28,5$ %), по сравнению с группой с высокой распространенностью болезни, на $244,6$ г/м² (или на $52,7$ %). У генотипов со средней распространенностью ВМЛ урожайность сена была больше ($p < 0,05$), чем в группе с высокой распространенностью заболевания, на $112,1$ г/м² (на $33,8$ %).

Сорта и селекционные образцы люцерны, способные формировать повышенные урожаи в год посева, а также в ранние годы жизни больше поражались ВМЛ. Это подтверждает сильная положительная корреляция Спирмена между урожайностью сена изучаемых образцов в год посева и распространенностью ВМЛ в посевах в среднем за период использования травостоев ($r_s = 0,777$, $p < 0,05$).

В среднем за пять лет жизни травостоев не установлено достоверных различий по урожайности сена между группами сортов с разной устойчивостью к ВМЛ. Она изменялась в пределах $456,4 \pm 11,0$ до $469,1 \pm 22,4$ г/м².

Полученные данные согласуются с результатами других исследований, в которых на ряде сельскохозяйственных культур показана взаимосвязь кормовой продуктивности и биохимических показателей с продолжительностью жизни травостоев и распространенностью инфекции [19, 20, 21].

Выводы. Селекционные образцы люцерны, обладающие различной устойчивостью к вирусно-фитоплазменной инфекции в форме «ведьминой метлы» люцерны (ВМЛ), обладают рядом общих признаков и свойств по показателям кормовой продуктивности (содержанию белка в СВ, облиственности травостоев, длине стеблей, урожайности кормовой массы в различные годы использования травостоев), что необходимо учитывать в селекционной работе с люцерной.

Группа сортов с низкой устойчивостью к ВМЛ отличается достоверно большим накоплением в своей биомассе белка (на $44,6$ г/кг, $t = 8,0$, $p < 0,05$), повышенной облиственностью (на $4,8$ %, $t = 3,7$, $p < 0,05$), большей высокорослостью ($25,3$ см, $t = 6,2$, $p < 0,05$), а также кормовой продуктивностью в первые три года жизни травостоев (в первый год – на $58,7$ %, в среднем на второй и третий год – на $17,8$ %), по сравнению с группой сортов, устойчивых к ВМЛ. На 4...5 годы жизни сорта люцерны, входящие в группу с высокой распространенностью ВМЛ резко снижают кормовую продуктивность и уступают группе сортов с высокой устойчивостью к ВМЛ по урожайности сена в среднем на $52,7$ %.

Сорта люцерны в группе с низкой устойчивостью в первые три года жизни травостоев обладают более высокой продуктивностью кормовой массы, а затем она резко снижается. Генотипы с высокой устойчивостью к ВМЛ характеризуются повышенным долголетием и формируют стабильный урожай сена в течение пяти лет жизни травостоев.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ.

Работа выполнена при поддержке проекта № 075-15-2021-541 (внутренний номер № 09. ССЦ.21.0008) по теме: Реализация направлений, соответствующих программе создания и развития «Центра по кормовым культурам для создания и внедрения

Табл. 2. Морфо-биологические признаки и свойства сортов люцерны с различной устойчивостью к ВМЛ (2019–2023 гг.)

Показатель	Распространенность ВМЛ ($M \pm m$)			t-критерий		
	низкая (a)	средняя (b)	высокая (c)	t_{ab}	t_{ac}	t_{bc}
Содержание белка в СВ, г/кг	$183,9 \pm 3,8$	$203,3 \pm 13,1$	$228,5 \pm 4,1$	1,4	8,0	1,8
Облиственность, %	$51,3 \pm 0,8$	$52,8 \pm 1,7$	$56,1 \pm 1,0$	0,8	3,7	1,7
Длина стебля, см	$74,9 \pm 3,2$	$92,0 \pm 3,7$	$100,3 \pm 2,5$	3,5	6,2	2,0
Урожайность сена, г/м ² :	$176,8 \pm 42,6$	$360,3 \pm 56,0$	$428,7 \pm 21,7$	2,6	5,3	1,1
в год посева (2019 г.)						
в среднем за 2...3	$588,9 \pm 24,1$	$661,5 \pm 63,2$	$713,6 \pm 32,5$	1,1	3,1	0,7
год жизни травостоев (2020–2021 гг.)						
в среднем за 4...5	$463,7 \pm 15,4$	$331,2 \pm 49,9$	$219,1 \pm 20,9$	2,5	9,4	2,1
год жизни травостоев (2022–2023 гг.)						
в среднем за 1...5	$456,4 \pm 11,0$	$469,1 \pm 22,4$	$458,8 \pm 16,2$	0,5	0,1	0,4
год жизни травостоев (2019–2023 гг.)						
$t_{табл}$	–	–	–	2,0	2,1	2,0

*различия достоверны при $p < 0,05$; M – среднее значение; m – ошибка средней.

в агропромышленный комплекс современных технологий на основе собственных разработок Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса» («ФНЦ ВИК им. В. Р. Вильямса»).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ.

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Инфекционные болезни растений: этиология, современное состояние, проблемы и перспективы защиты растений / П. А. Назаров, Д. Н. Балеев, М. И. Иванова и др. // *Acta Naturae*. 2020. Т. 12. № 3(46). С. 46–59. doi: 10.32607/actanaturae.11026.
2. Чернявских В. И., Бородаева Ж. А., Думачева Е. В. Устойчивость сортопопуляций *Medicago varia* Mart. к листовым пятнистостям в экотопах юга среднерусской возвышенности // *Аграрная наука*. 2019. № 51. С. 109–112. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-109-112.
3. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Современное состояние и вызовы для отрасли кормопроизводства в России // *Кормопроизводство*. 2022. № 10. С. 3–8. doi: 10.25685/KRM.2022.10.2022.010.
4. Кастальева Т. Б., Богоутдинов Д. З., Гирсова Н. В. Опасность фитоплазменных болезней для сельскохозяйственных культур, определяющих продовольственную независимость страны // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36, № 2. С. 14–19. doi: 10.53859/02352451_2022_36_2_14.
5. Global Status of Phytoplasma Diseases in Vegetable Crops / S. Kumari, K. Nagendran, A. B. Rai et al. // *Frontiers in Microbiology*. 2019. Vol. 10. Article 1349. <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.01349/full> (дата обращения: 04.05.2024). doi: 10.3389/fmicb.2019.01349.
6. О разнообразии фитоплазмозов сельскохозяйственных культур в России: патогены и их переносчики / Т. Б. Кастальева, Д. З. Богоутдинов, К. Д. Боттнерпаркер и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 3. С. 367–375. doi: 10.15389/agrobiology.2016.3.367rus.
7. Богоутдинов Д. З., Кастальева Т. Б., Гирсова Н. В. Фитоплазменные болезни – серьезная опасность для растениеводства России. Обзор // *Таврический вестник аграрной науки*. 2018. № 2(14). С. 15–34. doi: 10.25637/TVAN.2018.02.02.
8. Expanding and exploring the diversity of phytoplasmas from lucerne (*Medicago sativa*) / D. Gopurenko, M. Fletcher, J. Liu, et al. // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. Article 37746. URL: <https://www.nature.com/articles/srep37746>. (дата обращения: 04.05.2024). doi: 10.1038/srep37746.
9. Al Ruheili A. M., Boluwade A., Al Subhi A. M. Assessing the Impact of Climate Change on the Distribution of Lime (16srii-B) and Alfalfa (16srii-D) Phytoplasma Disease Using MaxEnt // *Plants*. 2021. Vol. 10. Article 460. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/3/460> (дата обращения: 04.04.2024). doi: 10.3390/plants10030460.
10. Фитоплазменные болезни: исторический обзор к 50-летию открытия фитоплазмозов / Д. З. Богоутдинов, Т. Б. Кастальева, Н. В. Гирсова и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54. № 1. С. 3–18. doi: 10.15389/agrobiology.2019.1.3rus.
11. Богоутдинов Д. З., Гирсова Н. В., Кастальева Т. Б. Оценка разнообразия видов растений, поражаемых фитоплазмой группы х-болезни (16Sr-III) в России // *Таврический вестник аграрной науки*. 2021. № 4(28). С. 22–39. doi: 10.33952/2542-0720-2021-4-28-22-39.
12. Экологическое изучение сортообразцов люцерны различного географического происхождения в условиях юга Среднерусской возвышенности / М. А. Тормозин, В. И. Чернявских, Л. Д. Сайфутдинова и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2023. № 1. С. 20–24. doi: 10.31857/S2500262723010040.
13. Ayvaci H., Güldür M. E., Dikilitas M. Physiological and Biochemical Changes in Lucerne (*Medicago sativa*) Plants Infected with 'Candidatus Phytoplasma australasia'-Related Strain (16SrII-D Subgroup) // *The Plant Pathology Journal*. 2022. Vol. 38. (2). P. 146–158. doi: 10.5423/PPJ.OA.12.2021.0189.
14. Соложенцева Л. Ф. Выявление и создание устойчивого к наиболее вредоносным грибным болезням перспективного материала // *Адаптивное кормопроизводство*. 2021. № 4. С. 57–66. doi: 10.33814/AFP-2222-5366-2021-4-57-66.
15. Методические указания по изучению коллекции многолетних кормовых трав / сост.: П. А. Лубенец, А. И. Иванов, Ю. И. Кириллов и др. Л.: ВИР, 1979. 42 с.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.
17. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высш. школа, 1990. 352 с.
18. Борвина А. П., Борисов И. Б. Современные правила применения корреляционного анализа // *Медицинский альманах*. 2021. № 3 (68). С. 70–71.
19. Biochemical changes in the leaves of mungbean (*Vigna radiata*) plants infected by phytoplasma / S. Hameed, K. P. Akhtar, A. Hameed et al. // *Turkish Journal of Biochemistry*. 2017. Vol. 42. P. 591–599. <https://doi.org/10.1515/tjb-2016-0304>
20. Соложенцева Л. Ф. Селекция люцерны на повышение продуктивности и устойчивости к грибным болезням // *Многофункциональное адаптивное кормопроизводство*. 2022. Вып. 27 (75). С. 38–43. doi: 10.33814/МАК-2022-27-75-38-43.
21. Biochemical Changes in Leaves of Vitis vinifera cv. Sangiovese Infected by Bois Noir Phytoplasma / C. Negro, E. Sabella, F. Nicolì, et al. // *Pathogens*. 2020. Vol. 9 (4). Article 269. <https://www.mdpi.com/2076-0817/9/4/269> (дата обращения: 05.05.2024). doi: 10.3390/pathogens9040269.

Поступила в редакцию 01.07.2024

После доработки 22.07.2024

Принята к публикации 06.08.2024

ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ ПО СКОРОСПЕЛОСТИ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ ПО КОРМОВОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОЛУГОВОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕГО УРАЛА© 2024 г. Н. Н. Зезин¹, доктор сельскохозяйственных наук, П. Ю. Овчинников²¹Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук,
620142, Екатеринбург, ул. Белинского, 112-а²Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы
357528, Ставропольский край, Пятигорск, ул. Ермолова, 14б
E-mail: ovchinnikov-paha@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки кормовой продуктивности различных по скороспелости гибридов кукурузы, созданных во Всероссийском научно-исследовательском институте кукурузы, в условиях Свердловской области. Работу выполняли в 2019–2023 гг. Всего было изучено 12 гибридов кукурузы с ФАО 140–180. Почва опытного участка – темно-серая лесная слабоподзоленная тяжелосуглинистая. В среднем за 5 лет наибольшее содержание сухого вещества в зеленой массе (32,4...36,1 %) отмечали у гибридов с ФАО 140–150, среди которых выделились К 140 (35,0 %) и Машук 140 (36,1 %). У генотипов из группы ФАО 140 (К 140, Нур) содержание крахмала в сухой массе достигало 31,1...30,4 %, в то время как в группе ФАО 180 (Шихан) оно составляло всего 24,7 %. Максимальная в среднем за годы исследований продуктивность отмечена у гибридов ФАО 170–180 Машук 172 и Шихан (34,8 т/га), минимальная – у гибридов ФАО 140 К 140 (26,3 т/га) и Машук 140 (26,5 т/га). На фоне дефицита тепла (2019 г.) наибольшей продуктивностью отличались гибриды группы ФАО 140–150: К 140 (3,88 т/га), Нур (4,03 т/га), Машук 140 (3,99 т/га), К 150 (4,11 т/га). Наибольшим сбором целевого компонента – крахмала в среднем за 5 лет характеризовались гибриды группы ФАО 140–150: Нур (2,93 т/га), К 150 (2,81 т/га) и Машук 140 (2,68 т/га). В условиях Среднего Урала из набора изученных гибридов наибольшей кормовой продуктивностью обладали К 140, Нур, Машук 140, К 150.

ESTIMATION OF CORN HYBRIDS OF DIFFERENT EARLY MATURITY BY FODDER PRODUCTIVITY IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-MEADOW ZONE OF THE MIDDLE URALSN. N. Zezin¹, P. Yu. Ovchinnikov²¹Ural Federal Agricultural Scientific Center, Ural branch, Russian Academy of Sciences,
620142, Ekaterinburg, ul. Belinskogo, 112 A
E-mail: ovchinnikov-paha@mail.ru²All-Russian Research Institute of Corn,
357528, Stavropol'skii krai, Pyatigorsk, ul. Ermolova, 14-B

The paper presents the results of assessing the feed productivity of various ultra-early and early-maturing corn hybrids created by the All-Russian Research Institute of Corn. In the Sverdlovsk region, 12 corn hybrids with FAO 140–180 were studied in 2019–2023. The soil of the research site is dark gray, forest, slightly podzolized, heavy loamy. On average, over 5 years, the highest dry matter content is 32.4... 36.1 % were recorded in the FAO 140–150 group, among which hybrids K 140 (35.0 %) and Mashuk 140 (36.1 %) stand out. In the FAO 140 group (K 140, Nur), the starch content in dry matter reached a maximum of 31.1... 30.4 per cent, while for FAO 180 (Sheehan) it was only 24.7 per cent. The maximum productivity on average over the years of research was observed in hybrids FAO 170–180 Mashuk 172 and Shihan (34.8 t/ha). The minimum for hybrids FAO 140 K 140 (26.3 t/ha) and Mashuk 140 (26.5 t/ha). Against the background of heat deficit (2019), the maximum productivity was in the FAO 140–150 groups: K 140 (3.88 t/ha), Nur (4.03 t/ha), Mashuk 140 (3.99 t/ha), K 150 (4.11 t/ha). In terms of the collection of the target component – starch, the highest productivity on average for 5 years was shown by hybrids of the FAO 140–150 group: Nur (2.93 t/ha), K 150 (2.81 t/ha) and Mashuk 140 (2.68 t/ha). It has been established that that in the conditions of the Middle Urals, from the set of hybrids bred by the All-Russian Research Institute of Corn, the highest fodder productivity is – K 140, Nur, Mashuk 140, K 150.

Ключевые слова: гибриды кукурузы, скороспелость, урожайность, Средний Урал, зеленая масса, сухое вещество, доля зерна, крахмал.

Keywords: corn hybrids, early maturity, yield, Middle Urals, green mass dry matter, grain fraction, starch.

Кукуруза выступает основным источником крахмала в составе силоса, качество которого во многом определяет эффективность производства [1, 2, 3]. Согласно результатам ряда исследований, содержание крахмала в зерне кукурузы (основной источник энергии) превышает 70 % [4, 5, 6], в то время как в листостебельной массе оно составляет около 3 % [7, 8, 9]. Причем крахмал кукурузы более чем наполовину состоит из амилопектина или «транзитного крахмала» [10, 11], который переваривается энзиматически в тонком кишечнике животных, а не в рубце под воздействием микрофлоры. Это обеспечивает более эффективное использование

энергии, что благоприятно влияет на продуктивность и здоровье животных, снижая риск возникновения ацидоза [12]. Содержание крахмала в сухой массе зерна во многом зависит от его влажности [13]. Формирование амилопектиновой фракции крахмала, как правило, завершается после достижения зерном физиологической спелости, которая соответствует его влажности от 40 % до 35 % [14]. Минимальное содержание сухого вещества, для заготовки силосной массы, составляет 25 %, что, как правило, соответствует фазе молочно-восковой спелости. При снижении величины этого показателя процесс силосования сопровождается увеличением кислотности

силоса, изменением соотношения органических кислот в сторону уксусной и масляной, последующим переходом к спиртовому брожению и превращением сахаров в газообразные продукты, а также химическим взаимодействием углеводов и аминокислот с образованием полимеров, которые не усваиваются животными [15].

Основные факторы, которые ограничивают созревание зерна до хозяйственно значимой фазы, – ресурсы тепла, а не дефицит среднесуточных температур [19]. Поэтому главный способ достижения хозяйственно значимых фаз развития кукурузы в условиях короткого периода вегетации Уральского региона – селекция на скороспелость [17]. Важность скороспелости гибридов для Уральского региона заключается еще и в том, что, если до перехода среднесуточной температуры воздуха через значение, соответствующее биологическому минимуму культуры, зерно не достигло физиологической спелости, дальнейшее развитие его, в том числе процессы потери влаги и накопления крахмала, прекращается [18]. Полигенный характер скороспелости, способствующий адаптации кукурузы к условиям Среднего Урала, в сочетании со сложностью взаимодействия генотипа с окружающей средой, создает препятствия для прогнозирования реакции генотипов на ключевые абиотические факторы [19]. В этом контексте отбор гибридов для определения самых продуктивных образцов в регионе предполагаемого выращивания приобретает большее значение.

Цель исследований – оценить ультраанние и скороспелые гибриды селекции ВНИИ кукурузы по параметрам кормовой продуктивности в условиях Среднего Урала.

Условия, материалы и методы. Исследования проводили в 2019–2023 гг. в лесолуговой зоне Свердловской области (56°45'36.0" с. ш. 60°51'36.0" в. д.). Было изучено 12 гибридов кукурузы с ФАО 140–180 селекции ФГБНУ ВНИИ кукурузы. Наблюдения и учеты проводили в соответствии с методикой ВНИИ кукурузы [20] в трехкратной повторности. Учетная площадь 9,8 м². Почва опытного участка – темно-серая лесная слабооподзоленная тяжелосуглинистая. Сумма поглощенных оснований в пахотном слое 22,5 мг-моль/100 г почвы (ГОСТ 27821-2020), рН солевой вытяжки – 5,3 (ГОСТ 26213-2021). Содержание гумуса в среднем составляло 3,74 % (ГОСТ 26212-2021), легкогидролизуемого азота – 122 мг/кг почвы, фосфора и калия – соответственно 175,3 и 91,3 мг/кг (ГОСТ 54650-2011). Химический состав общей массы растений кукурузы определяли в аналитической лаборатории Уральского НИИСХ (влажность – гравиметрическим методом по ГОСТ 15113.4-2021, содержание крахмала – поляриметрическим методом по ГОСТ 10845-98).

Предшественник культуры – горох; осеннюю вспашку осуществляли на глубину 20...22 см. Удобрения вносили в дозе N60P60K60 под предпосевную обработку почвы. Посев проводили во второй половине мая вручную на глубину 5...7 см с шириной междурядий 70 см и нормой высева 70 тыс. семян на 1 га. При уходе за посевами в фазе 4...6 листьев применяли гербицид кросс-спектра МайсТер Пауэр, МД в норме 1,5 л/га с расходом рабочей жидкости 200 л/га, обработку осуществляли ранцевым опрыскивателем SP-12/8AC Huter. Уборку проводили вручную в третьей декаде сентября.

Статистическую обработку экспериментальных данных выполняли методами дисперсионного и корреляционного анализа с использованием электронных таблиц MS Excel.

Для характеристики условий вегетации использовали показатели суммы температур выше 10 °С и суммы осадков за период с мая по сентябрь. В 2019 г. в зоне

Табл. 1. Содержание сухого вещества в зеленой массе различных по скороспелости гибридов кукурузы (2019–2023 гг.), %

Гибрид	ФАО	Год					Среднее за 2019–2023 гг.
		2019	2020	2021	2022	2023	
К 140	140	30,1	29,6	44,6	33,7	37,1	35,0
Нур		27,4	30,4	39,4	30,3	40,2	33,5
Машук 140		29,3	30,9	44,4	34,9	40,8	36,1
К 150	150	26,2	30,0	39,3	30,2	38,3	32,8
Машук 150 МВ		24,7	28,0	40,6	28,9	40,1	32,4
Уральский 150		25,3	28,8	39,7	30,4	41,6	33,1
К 165	160	23,6	24,9	26,9	28,2	31,4	27,0
Байкал	170	22,9	25,7	35,8	25,4	35,3	29,0
Катерина СВ		24,2	25,9	36,2	27,3	32,5	29,2
Машук 170 МВ		25,2	24,7	36,6	26,3	34,8	29,5
Машук 172		23,8	27,5	34,3	24,3	31,6	28,3
Шихан	180	23,0	25,2	37,4	25,7	32,6	28,8
Среднее по гибридам		25,5	27,6	37,9	28,8	36,4	31,2
НСР ₀₅		3,6	3,4	5,6	3,4	4,9	5,1
Корреляция с числом ФАО (r)		–0,84	–0,88	–0,61	–0,91	–0,77	–0,80
Критерий Стьюдента (t, t ₀₅ = 2,23)		5,0	5,8	2,4	6,6	3,8	4,2

проведения исследований сумма температур выше 10 °С (1963 °С), приближалась к норме (выше на 105 °С), однако распределение этих ресурсов по периодам роста и развития кукурузы отличалось неравномерностью. Так, с середины мая и практически до конца июня наблюдали дефицит тепла, что привело к задержке развития кукурузы. Увлажнение года было достаточным – 391 мм, что на 82 мм больше нормы. В 2020 г. отмечали общий дефицит влаги (282 мм) на повышенном температурном фоне (2164 °С), при этом засушливые явления июня – начала июля сменились обильными осадками во второй половине июля, что обеспечило удовлетворительное увлажнение в критический период водопотребления кукурузы. Для 2021 г. была характерна длительная засуха (131 мм) и высокий температурный фон (2362 °С), однако влияние засухи на рост и развитие растений смягчалось периодическим выпадением осадков во второй половине лета. В период вегетации 2022 г. наблюдали неравномерное распределение ресурсов тепла и влаги. В начале периода отмечали избыточное увлажнение и недостаток тепла, а в конце, напротив, дефицит влаги и высокую теплообеспеченность. В целом год был удовлетворительным по ресурсам влаги (209 мм) и тепла (2058 °С). В 2023 г. метеорологические условия характеризовались как умеренно теплые (2212 °С) и умеренно засушливые (204 мм). Значительное разнообразие (до контрастности) погодных условий периода исследований позволяет сделать заключение о типичности гидротермического фона исследований для климата региона.

Результаты и обсуждение. Одна из ключевых проблем, связанных с производством кукурузного силоса в условиях нестабильной обеспеченности теплом, – необходимость снижения влажности силосуемой массы. В ходе проведенных исследований выявлена зависимость содержания сухого вещества в зеленой массе от условий вегетации. Наименьшую величину этого показателя в среднем по гибридам (25,5 %) отмечали на минимальном температурном фоне в 2019 г. При удовлетворительных ресурсах тепла в 2020 г. и 2022 г. она варьировала от 27,6 до 28,8 %. При высокой обеспеченности теплом в 2021 г. и 2023 г. содержания сухого вещества в зеленой массе составляло соответственно 36,4 и 37,9 % (табл. 1).

Увеличение числа ФАО гибридов сопровождалось статистически значимым снижением содержания сухого вещества в зеленой массе во все годы исследования. Сле-

Табл. 2. Доля зерна в сухой массе различных по скороспелости гибридов кукурузы (2019–2023 гг.), %

Гибрид	ФАО	Год					Средняя за 2019–2023 гг.
		2019	2020	2021	2022	2023	
К 140	140	18,1	30,6	42,1	58,3	53,6	40,5
Нур		21,7	27,7	42,9	60,7	40,5	38,7
Машук 140		20,9	28,2	40,2	58,7	49,9	39,6
К 150	150	18,9	26,7	38,2	54,9	41,9	36,1
Машук 150 МВ		13,9	25,4	38,3	54,2	44,6	35,3
Уральский 150		17,1	23,4	39,2	53,2	41,1	34,8
К 165	160	13,2	29,1	54,2	58,0	54,1	41,7
Байкал	170	10,8	28,5	38,6	55,9	41,9	35,1
Катерина		12,2	25,8	36,1	51,6	42,8	33,7
Машук 170 МВ		15,1	33,4	37,6	55,2	53,9	39,0
Машук 172		10,9	22,7	36,1	54,6	52,4	35,3
Шихан	180	9,3	23,4	32,0	54,7	38,7	31,6
Среднее		15,2	27,1	39,6	55,8	46,3	36,8
по гибридам							
НСР ₀₅		1,2	2,5	3,1	4,15	3,3	3,0
Корреляция		–0,86	–0,20	–0,41	–0,58	–0,09	–0,57
с числом ФАО (<i>r</i>)							
Критерий Стьюдента		5,44	0,66	1,44	2,27	0,29	2,17
(<i>t</i> ₅ , <i>t</i> ₀₅ = 2,23)							

дует отметить, что при удовлетворительной и высокой обеспеченности теплом (2020–2023 гг.) величина этого показателя была больше необходимого для силосования минимального уровня (25 %) у всех гибридов, а на фоне дефицита тепла 2019 г. его превышение отмечали только у гибридов с ФАО 140–150 (табл. 1).

Таким образом, гарантировать получение качественного силоса в условиях дефицита тепла могут гибриды с ФАО от 150 и ниже. Кроме того, следует отметить, что относительно высокий уровень сухого вещества (25,2 %) в год с дефицитом тепла отмечен у гибрида Машук 170 МВ. Это позволяет оценить реакцию генотипа на дефицитный по ресурсам тепла фон как положительную.

Для получения зеленой массы с целью заготовки высокоэнергетических кормов из кукурузы требуется высокая доля зерна в растении кукурузы. В нашем исследовании она варьировала в широком диапазоне: в среднем по гибридам от 15 % в 2019 г. до 56 % в 2022 г. В группе ФАО 140–150 величина этого показателя изменялась соответственно от 17...22 % до 53...61 %, в группе ФАО 160–180 – от 9...15 % до 52...58 %. В условиях дефицита тепла в 2019 г. ни у одного из изучаемых гибридов доля зерна не достигала 30 %. Наилучшие результаты на удовлетворительном и высоком по теплообеспеченности фоне показали гибриды К 140 и Машук 170 МВ в четыре года из пяти лет (2020–2023 гг.). В целом за период исследований статистически значимая зависимость между продолжительностью вегетационного периода и долей зерна отмечена только в 2019 г. с дефицитом тепла (*r* = –0,86). Таким образом, в холодные годы гибриды с более коротким вегетационным периодом имеют преимущество по величине этого показателя (табл. 2).

Основной тренд, связанный с изменением содержания крахмала в сухой массе и увеличением числа ФАО, проявляется в уменьшении величины этого показателя (табл. 3). В сухой массе гибридов группы ФАО 140 (К 140, Нур), она достигает максимума и варьирует от 31,1 до 30,4 %, в то время как для растений группы ФАО 180 (Шихан) оно составляет всего 24,7 %. Наиболее выраженная корреляция между числом ФАО гибридов и содержанием крахмала в сухой массе отмечена в 2019 г. (*r* = –0,86). Величина критерия Стьюдента превышала критическое значение *t*₀₅ = 2,23 во все годы за исключением 2021 г. Учитывая, что крахмал – наиболее ценный с энергетической точки зрения компонент, такую тенденцию следует рассматривать как негативную.

Табл. 3. Содержание крахмала в сухой массе различных по скороспелости гибридов кукурузы (2019–2023 гг.), %

Гибрид	ФАО	Год					Среднее за 2019–2023 гг.
		2019	2020	2021	2022	2023	
К 140	140	14,1	25,0	33,1	43,1	36,7	30,4
Нур		17,1	23,7	33,2	44,5	36,8	31,1
Машук 140		16,2	23,7	31,8	43,7	36,9	30,5
К 150	150	14,3	22,6	29,9	40,3	36,6	28,7
Машук 150 МВ		11,3	22,2	30,1	40,2	36,8	28,1
Уральский 150		12,7	21,3	30,6	39,4	36,7	28,1
К 165	160	9,9	22,5	41,0	42,9	34,9	30,2
Байкал	170	8,0	22,1	29,6	40,1	35,7	27,1
Катерина СВ		9,2	21,2	28,1	37,7	35,0	26,2
Машук 170 МВ		10,6	24,0	28,8	40,2	35,6	27,8
Машук 172		8,1	19,0	27,9	39,3	35,0	25,9
Шихан	180	6,5	18,6	24,8	39,2	34,3	24,7
Среднее		11,5	22,2	30,7	40,9	35,9	28,2
по гибридам							
НСР ₀₅		0,8	1,7	2,4	3,2	1,8	1,8
Корреляция		–0,94	–0,69	–0,49	–0,73	–0,91	–0,87
с числом ФАО (<i>r</i>)							
Критерий Стьюдента		8,3	3,0	1,8	3,3	6,8	5,57
(<i>t</i> ₅ , <i>t</i> ₀₅ = 2,23)							

Урожайность зеленой массы гибридов варьировала в зависимости от условий вегетации. Наименьший её уровень (21,1 т/га) отмечен в 2021 г. на засушливом фоне (табл. 4), а пика она достигала на увлажненном фоне 2019 г. (44,6 т/га). Максимальная в опыте продуктивность в среднем за годы исследований отмечена у гибридов ФАО 170–180 Машук 172 и Шихан (34,8 т/га), минимальная – у гибридов К 140 (26,3 т/га) и Машук 140 (26,5 т/га). Следует отметить статистически значимую положительную корреляцию между числом ФАО гибридов и урожайностью зеленой массы (*r* = 0,89). Это указывает на преимущество по величине этого показателя у гибридов с более продолжительным периодом вегетации.

Влияние группы ФАО на кормовую продуктивность кукурузы было неоднозначным и зависит от критерия оценки. В отношении урожайности зерна отмечено сильное ослабление зависимости от чисел ФАО. Статистически значимая корреляция урожайности зерна с числом ФАО (*r* = –0,84) выявлена только на дефицитном по теплообеспеченности фоне (2019 г.). Кроме того, для большей группы одновременно созревающих гибридов (К 140, Нур, Машук 140, К 150, Машук 150 МВ, Байкал, Машук 172, Шихан) в среднем за 5 лет различия по урожайности статистически не доказаны, а высоко-

Табл. 4. Урожайность зеленой массы различных по скороспелости гибридов кукурузы (2019–2023 гг.), т/га

Гибрид	ФАО	Год					Средняя за 2019–2023 гг.
		2019	2020	2021	2022	2023	
К 140	140	43,4	22,9	15,8	21,7	27,7	26,3
Нур		42,3	26,1	19,5	19,5	37,7	29,0
Машук 140		43,4	25,6	18,8	17,1	27,7	26,5
К 150	150	47,6	26,8	22,3	20,9	37,7	31,1
Машук 150 МВ		41,8	25,6	21,7	22,0	32,2	28,6
Уральский 150		37,8	26,3	17,8	18,4	35,3	27,1
К 165	160	43,9	35,8	22,3	24,6	41,0	33,5
Байкал	170	48,4	34,8	20,2	23,4	46,6	34,7
Катерина СВ		44,9	30,5	25,3	24,9	32,6	31,6
Машук 170 МВ		49,6	40,2	23,2	25,6	38,9	35,5
Машук 172		46,3	33,2	22,6	27,2	44,5	34,8
Шихан	180	45,8	33,9	24,1	26,1	44,1	34,8
Среднее		44,6	30,1	21,1	22,6	37,2	31,1
по гибридам							
НСР ₀₅		5,2	3,9	3,1	3,7	6,5	2,4
Корреляция		0,58	0,83	0,76	0,86	0,72	0,89
с числом ФАО (<i>r</i>)							
Критерий Стьюдента		2,23	4,62	3,74	5,32	3,27	6,28
(<i>t</i> ₅ , <i>t</i> ₀₅ = 2,23)							

Табл. 5. Урожайность зерна 14 %-ной влажности различных по скороспелости гибридов кукурузы (2019–2023 гг.), т/га

Гибрид	ФАО	Год					Средняя за 2019–2023 гг.
		2019	2020	2021	2022	2023	
К 140	140	2,75	2,65	3,46	4,90	5,64	3,88
Нур		2,93	2,92	3,85	4,33	6,14	4,03
Машук 140		3,09	2,90	3,91	4,25	5,80	3,99
К 150	150	2,74	2,86	3,89	4,84	6,26	4,11
Машук 150		1,66	2,47	3,91	5,33	6,02	3,88
МВ							
Уральский 150		1,90	2,49	3,23	3,52	6,26	3,48
К 165	160	1,59	3,27	3,77	5,71	6,55	4,18
Байкал	170	1,39	3,18	3,24	5,05	6,83	3,94
Катерина СВ		1,54	2,64	3,84	4,31	5,03	3,47
Машук 170		2,19	3,91	3,71	5,32	7,12	4,45
МВ							
Машук 172		1,40	2,84	3,25	5,38	7,17	4,01
Шихан	180	1,13	2,64	3,36	5,04	6,08	3,65
Среднее по гибридам		2,03	2,90	3,62	4,83	6,24	3,92
НСР ₀₅		0,25	0,37	0,90	0,34	0,54	0,27
Корреляция с числами ФАО (r)		–0,84	0,28	–0,41	0,41	0,35	–0,08
Критерий Стьюдента (t _r , t ₀₅ = 2,23)		4,84	0,92	1,42	1,42	1,17	0,24

продуктивные гибриды распределены по всем группам ФАО (табл. 5). Наибольшая урожайность отмечена у гибрида Машук 170 МВ (ФАО 170) – 4,45 т/га, близкий результат продемонстрировал гибрид К 165 (160) – 4,18 т/га. Вместе с тем, на фоне дефицита тепла (2019 г.) максимум продуктивности смещался в группу ФАО 140–150 (К 140, Нур, Машук 140, К 150).

Крахмал – целевой компонент производства кукурузы на корм. Поэтому его сбор с единицы площади может выступать как интегрированный показатель кормовой продуктивности культуры. Величина этого показателя в зависимости от года и гибрида в целом изменялась аналогично урожайности зерна. По годам не выявлено достоверного преимущества гибридов с большим числом ФАО, напротив, в холодном 2019 г. гибриды с ФАО 140–150 были продуктивнее генотипов с ФАО 160–180 (табл. 6).

Высокий потенциал продуктивности более позднеспелых форм проявлялся в росте урожайности зеленой массы по мере увеличения числа ФАО, однако его реализация в виде высокого сбора крахмала более вероятна у гибридов с коротким периодом развития. Оценка по этому показателю нивелирует превосходство гибри-

Табл. 6. Сбор крахмала с урожаем, различных по короспелости гибридов кукурузы (2019–2023 гг.), т/га

Гибрид	ФАО	Год					Среднее за 2019–2023 гг.
		2019	2020	2021	2022	2023	
К 140	140	1,84	1,69	2,33	3,15	3,77	2,56
Нур		1,98	1,88	2,56	2,63	5,58	2,93
Машук 140		2,06	1,88	2,66	2,61	4,18	2,68
К 150	150	1,78	1,82	2,62	2,54	5,28	2,81
Машук 150 МВ		1,16	1,59	2,65	2,55	4,74	2,54
Уральский 150		1,21	1,61	2,17	2,20	5,39	2,52
К 165	160	1,02	2,01	2,45	2,97	4,49	2,59
Байкал	170	0,89	1,98	2,14	2,37	5,88	2,65
Катерина		0,99	1,67	2,57	2,56	3,71	2,30
Машук 170 МВ		1,32	2,38	2,45	2,70	4,83	2,74
Машук 172		0,89	1,73	2,16	2,60	4,92	2,46
Шихан	180	0,68	1,59	2,24	2,63	4,93	2,41
Среднее по гибридам		1,32	1,82	2,42	2,63	4,81	2,60
НСР ₀₅		0,17	0,23	0,33	0,41	0,86	0,20
Корреляция с числами ФАО (r)		–0,83	0,16	–0,42	–0,20	0,05	–0,52
Критерий Стьюдента (t _r , t ₀₅ = 2,23)		4,62	0,61	1,47	0,65	0,16	1,94

дов с более продолжительным периодом вегетации, а в холодные годы дает преимущество гибридам группы ФАО 140 – 150, в частности, в этой группе по сбору крахмала можно выделить гибриды Нур – 2,93 т/га, К 150 – 2,81 т/га и Машук 140 – 2,68 т/га

Выводы. Гарантировать получение качественного силоса в условиях дефицита тепла могут гибриды с ФАО от 150 и ниже. В холодные годы они имеют преимущество по доле зерна и содержанию крахмала в сухой массе. В качестве лидеров по этим показателям можно выделить гибриды К 140, Нур и Машук 140.

Оценка по кормовой продуктивности зависит от её критерия. Высокий потенциал продуктивности сравнительно позднеспелых форм проявляется в росте урожайности зеленой массы по мере увеличения числа ФАО. Однако его реализация в виде высоких урожайности зерна или сбора крахмала более вероятна у гибридов с коротким периодом развития. Наиболее продуктивными по выходу целевого компонента – крахмала были гибриды группы ФАО 140–150 Нур – 2,93 т/га, К 150 – 2,81 т/га и Машук 140 – 2,68 т/га.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета института (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы»). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

Литература.

1. Зезин Н. Н., Намятов М. А., Севостьянов М. Ю. Оптимизация структуры посевов кормовых культур и особенности технологий их возделывания на Среднем Урале // *Кормопроизводство*. 2020. № 4. С. 25–29. doi: 10.25685/KRM.2020.2020.63666.
2. Zurak D., Kljak K., Grbeša D. The composition of floury and vitreous endosperm affects starch digestibility kinetics of the whole maize kernel // *Journal of cereal science*. 2020. Vol. 95. P. 103079. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521020305336?via%3Dihub> (дата обращения: 14.04.2024). doi: 10.1016/j.jcs.2020.103079.
3. Усанова З. И., Мигулев П. И. Продуктивность гибридов кукурузы при программировании урожайности в условиях Верхневолжья // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 3. С. 29–32. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10307.
4. Effects of exogenous salicylic acid on starch physicochemical properties and in vitro digestion under heat stress during the grain-filling stage in waxy maize / Z. Wang, L. Qu, J. Li, et al. // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 254. P. 127765. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813023046640?via%3Dihub> (дата обращения: 12.04.2024). doi: 10.1016/j.ijbmac.2023.127765.2024.
5. Physicochemical properties of starches from vitreous and floury endosperms from the same maize kernels. / A. Xu, L. Lin, K. Guo, et al. // *Food Chemistry*. 2019, Vol. 291. P. 149–156. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.04.024.
6. Structural properties of starch from single kernel of high-amylose maize / L. Lin, S. Zhao, E. Li, et al. //

- Food Hydrocolloids*. 2022. Vol. 124. P. 107349. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X21007657?via%3Dihub> (дата обращения: 18.04.2024). doi: 10.1016/j.foodhyd.2021.107349.
7. Ning P., Peng Y., Fritschi F. B. Carbohydrate dynamics in maize leaves and developing ears in response to nitrogen application // *Agronomy*. 2018. Vol. 8. No. 12. P. 302. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/8/12/302> (дата обращения: 14.04.2024). doi: 10.3390/agronomy8120302.
8. Molecular structural differences between maize leaf and endosperm starches. / S. Yu, F. Zhang, C. Li, et al. // *Carbohydrate polymers*. 2017. Vol. 161. P. 10–15. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.12.064.
9. Seasonal and diurnal patterns of non-structural carbohydrates in source and sink tissues in field maize / X. G. Liang, Z. Gao, L. Zhang, et al. // *BMC plant biology*. 2019. Vol. 19. P. 1–11. URL: <https://bmcpplantbiol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12870-019-2068-4> (дата обращения: 12.04.2024). doi: 10.1186/s12870-019-2068-4.
10. SSR-локусы, потенциально ассоциированные с высоким содержанием амилопектина в эндосперме зерна кукурузы / С. И. Вакула, О. А. Орловская, Л. В. Хотылева и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018. Т. 22. № 6. С. 640–647. doi: 10.18699/VJ18.405.
11. Structure, properties, and potential applications of waxy tapioca starches—A review / C. F. Hsieh, W. Liu, J. K. Whaley, et al. // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 83. P. 225–234. doi: 10.1016/j.tifs.2018.11.022.
12. Зезин Н. Н., Гридин В. Ф., Салтанова Р. Д. Корма из кукурузы на Среднем Урале // *Кормопроизводство*. 2017. № 5. С. 24.
13. Оценка гибридов кукурузы по хозяйственно-ценным признакам в южной лесостепной зоне Республики Башкортостан / И. Ю. Кузнецов, Б. Г. Ахияров, И. Г. Асылбаев и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. № 11. С. 38–42. doi: 10.53859/02352451_2023_37_11_38.
14. Postharvest ripening of newly harvested corn: Structural, rheological, and digestive characteristics of starch / N. Hu, C. Zhao, S. Li, et al. // *LWT*. 2023. Vol. 180. P. 114728. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643823003079?via%3Dihub> (дата обращения: 18.04.2024). doi: 10.1016/j.lwt.2023.114728.
15. Разумовский Н. Заготовка и использование кукурузного силоса // *Животноводство России*. 2019. № 9. С. 51–54.
16. Зезин Н. Н., Намятов М. А. Результаты внедрения зерновой технологии возделывания кукурузы на Среднем Урале // *Кормопроизводство*. 2018. № 3. С. 11–15.
17. Скорость потери влаги зерном кукурузы в период созревания в зависимости от генотипа и условий среды / В. С. Сотченко, А. Э. Панфилов, А. Г. Горбачева и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2021. Т. 56. № 1. С. 54–65.
18. Иванова Е. С., Панфилов А. Э. Динамика влажности зерна кукурузы как функция погодных условий // *Кукуруза и сорго*. 2013. № 3. С. 7–11.
19. Панфилов А. Э. Продуктивный потенциал кукурузы и факторы его реализации в лесостепи Южного Зауралья: дис. на соискание ученой степени доктора с-х. наук. Новосибирск, 2005. 352 с.
20. Методические рекомендации по проведению полевых опытов с кукурузой / сост. Д. С. Филев, В. С. Циков, В. И. Золотов и др. Днепрпетровск: ВНИИ кукурузы ВАСХНИЛ, 1980. 54 с.

Поступила в редакцию 10.07.2024

После доработки 29.07.2024

Принята к публикации 13.08.2024

ОЦЕНКА АДАПТАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ РЕГЕНЕРАНТНЫХ И ИСХОДНЫХ ГЕНОТИПОВ ОВСА К ПОЧВЕННЫМ СТРЕССОРАМ

© 2024 г. **О. Н. Шуплецова**, доктор биологических наук, **Г. А. Баталова**, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, **Е. В. Товстик**, **Д. В. Попыванов**, кандидаты биологических наук, **Ю. А. Злобина**, **О. Е. Кононова**, **О. А. Жуикова**, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина, 166а
E-mail: olga.shuplecova@mail.ru

Исследования проводили с целью сравнительного анализа ответной реакции на почвенные стрессоры исходных генотипов (линия 2h15) и регенерантных форм (RA , RA_{Al} , RA_{Mn} , RA_{Cd}) овса в рамках оценки эффективности применяемых схем клеточной селекции. В вегетационном опыте изучали влияние на растения следующих почвенных стрессоров: повышенной кислотности ($pH = 4,3$), токсичности ионов марганца ($65,2 \text{ мг/кг}$, $pH = 5,2$) и кадмия ($2,87 \text{ мг/кг}$, $pH = 5,2$). В качестве стандарта использовали сорт Архан. Контролем служила почва с нейтральным pH (7,2). Регенеранты были предварительно получены *in vitro* на искусственных средах без стресса (RA) и с селективными агентами: алюмокислотность (RA_{Al}), повышенное содержание Mn^{2+} (RA_{Mn}) и Cd^{2+} (RA_{Cd}). На почве со стрессорами содержание пигментов в листьях регенерантов возрастало, по сравнению с исходной линией, в 1,4...1,6 раз. В контроле различия между RA и исходной линией были не достоверны. Все регенерантные линии независимо от условий выращивания характеризовались достоверно более низким уровнем полифенолов в зерне ($11,2...12,4 \text{ мг/г}$ сухой массы), по сравнению с исходной линией и стандартом – в 1,2...1,3 раза. На фонах с искусственным внесением металлов отмечены превышения, по сравнению с исходной линией, содержания в зерне марганца у RA_{Mn} ($256,1 \text{ мг/кг}$) в 1,7 раз и отсутствие различий по количеству кадмия с RA_{Cd} ($1,82...1,67 \text{ мг/кг}$). На контрольном фоне RA и исходная линия достоверно уступали стандарту по массе зерна с растения: регенеранты – 1,29 г; исходная линия – 1,38 г; стандарт – 1,65 г. При повышении кислотности и содержания кадмия все генотипы снижали продуктивность относительно контроля: меньше всего регенеранты – соответственно в 1,6 и 1,4 раза. У исходной линии она снижалась в 2,8 и 2 раза, у стандарта – в 2,4 и 1,9 раза.

ASSESSMENT OF THE ADAPTIVE ABILITY OF REGENERANT AND ORIGINAL OAT GENOTYPES TO SOIL STRESSORS

O. N. Shupletsova, G. A. Batalova, E. V. Tovstik, D. V. Popyvanov,
Yu. A. Zlobina, O. E. Kononova, O. A. Zhuikova

Federal Agrarian Scientific Center of the North-East of N. V. Rudnitsky,
610007, Kirov, ul. Lenina, 166a
E-mail: olga.shuplecova@mail.ru

The aim of the research is a comparative analysis of the response to soil stressors according to the biochemical and productive characteristics of the initial genotypes of oats (line 2h15) and regenerative forms (RA , RA_{Al} , RA_{Mn} , RA_{Cd}) in the framework of evaluating the effectiveness of applied cell selection schemes. In the vegetation experiment, the effect of soil stressors on plants was studied – increased acidity ($pH = 4.3$), toxicity of manganese ions (65.2 mg/kg , $pH = 5.2$) and cadmium (2.87 mg/kg , $pH = 5.2$). The Arkhan variety was used as a standard. The control was soil with a neutral pH (7.2). Regenerants were previously obtained *in vitro* on artificial media without stress (RA) and with selective agents: alumina acid (RA_{Al}), increased Mn^{2+} (RA_{Mn}) and Cd^{2+} (RA_{Cd}). On soil with stressors, the pigment content in regenerative leaves exceeded the baseline values by 1.4...1.6 times. In control, the differences between RA and the baseline are unreliable. All regenerative lines, regardless of growing conditions, were characterized by significantly lower levels of polyphenols in grain ($11.2...12.4 \text{ mg/g}$ dry weight), compared with the baseline and the standard by 1.2...1.3 times. On backgrounds with artificial addition of metals, an excess of the manganese level in the grain was noted: 1.7 times in RA_{Mn} (256.1 mg/kg), compared with the baseline, and there were no differences between them in the cadmium content in RA_{Cd} ($1.82...1.67 \text{ mg/kg}$). On the control background, RA and the baseline significantly lagged behind the standard in terms of grain weight from the plant: on regenerants – 1.29 g; baseline – 1.38 g; standard – 1.65 g. With increased acidity and cadmium, all genotypes decreased productivity relative to the control, but to a lesser extent regenerants (1.6 and 1.4 times, respectively), the baseline – 2.8 and 2 times, the standard – 2.4 and 1.9 times.

Ключевые слова: овес, отбор *in vitro*, почвенный фон, кислотность, кадмий, марганец, полифенолы, пигменты, аккумуляция металлов, продуктивные признаки.

Keywords: oats, *in vitro* selection, soil background, acidity, cadmium, manganese, polyphenols, pigments, metal accumulation, productive traits.

Одним из способов расширения генетического разнообразия растений и создания источников устойчивости к почвенным стрессорам выступает отбор клеток в селективных условиях *in vitro* на основе соматоклональной изменчивости [1]. Клеточная селекция растений, сочетаемая с созданием соматоклонов, позволяет выделить регенерантные формы с ценными признаками для дальнейшей селекции стрессоустойчивых генотипов [2]. Растения, регенерированные из тканевой культуры, не идентичны родительскому типу [3]. Однако генетиче-

ские изменения *in vitro* не всегда стабильны и положительны [4]. Сегодня эффективность клеточной селекции в качестве одного из этапов создания адаптивных сортов подтверждена, прежде всего, на примере зерновых культур [5, 6, 7].

Особое внимание при селекции перспективных сортов сельскохозяйственных растений в условиях Нечерноземной зоны РФ уделяют устойчивости к таким неблагоприятным природно-климатическим факторам, как почвенный стресс, вызванный ионной токсичностью

почвенной среды с кислой реакцией [8]. Границами таких стрессовых условий считают выход за диапазон от слабокислой до слабощелочной реакции солевой вытяжки из почв (6,5...7,5 ед.) [9]. При более высокой кислотности в почве теряется часть гуминовых веществ и угнетается полезная микрофлора, в более щелочной среде часть фосфора переходит в недоступные для растений формы [10]. Кроме того, pH почвенного раствора определяет подвижность ионов алюминия и тяжелых металлов, в том числе особо токсичных (например, кадмий) и металлов-биофилов (например, марганец) [11].

Основной источник тяжелых металлов, в том числе кадмия, в почве – антропогенная деятельность. Кадмий поступает в пахотные почвы преимущественно с атмосферными выбросами; при внесении удобрений, с отвалами золы, шлака, руд, шламов, осадками сточных вод [12]. В почвах с кислой реакцией среды (4,5...5,5 ед. pH) подвижность его ионов наибольшая, с увеличением значений pH она значительно снижается [13]. Однако даже в условиях нейтральной и слабощелочной реакции до 70% кадмия от его общей концентрации в почвах подвижно [14]. В подзолистых и дерново-подзолистых почвах, характерных для Нечерноземной зоны РФ, содержание кадмия варьирует в пределах 0,7...1,3 мг/кг [15]. На территории Кировской области содержание валовых форм кадмия в почве составляет 0,7...1,1 мг/кг; подвижных – 0,01...0,3 мг/кг [16]. В отличие от кадмия, марганец относят к биофильным элементам, однако при превышении допустимых концентраций, он становится токсичным. Увеличение содержания подвижных соединений этого минерального элемента в почве возможно при использовании комплексных минеральных удобрений [17]. Почвы Кировской области характеризуются распространенностью и высоким содержанием марганца (от 221 до 1428 мг/кг) [18]. Для производства экологически безопасной зерновой продукции необходимо создавать генетически адаптированные культуры, способные выживать на почвах с повышенным содержанием тяжелых металлов без значительной потери урожая и низким уровнем аккумуляции токсикантов.

Стрессоры различной природы могут отрицательно влиять на процесс фотосинтеза, вызывая функциональные и структурные нарушения в фотосинтетическом аппарате, что приводит к ограничению роста биомассы растений [19]. Уровень фотосинтетических пигментов, прежде всего, хлорофилла, в листьях растений может служить важным параметром для оценки устойчивости генотипов к неблагоприятным факторам окружающей среды [20].

В условиях почвенного стресса, например, при засухе и повышенном содержании кадмия отмечают значительную корреляцию между антиоксидантной активностью растений и концентрацией фенольных компонентов в растительной ткани [21]. Известно, что наряду с другими физиологическими функциями, полифенолы способны удалять вредные для растительных клеток активные формы кислорода. В связи с этим активизация их биосинтеза помогает растениям справляться с абиотическими и биотическими стрессорами (засоленность, тяжелые металлы, засуха, температура, ультрафиолетовое излучение, болезни). Кроме того, активность метаболизма соединений фенольной природы усиливается в растениях в неблагоприятных условиях [22]. Фенольные соединения часто рассматривают как биохимические маркеры стрессового состояния зерновых культур, имеющих широкую распространенность [23].

Овес – одна из наиболее экономически значимых сельскохозяйственных культур, выращиваемых на зерно

и кормовую массу. В ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудниченко» (ФАНЦ Северо-Востока) его селекция направлена на создание перспективных линий с улучшенными признаками по урожайности и качеству зерна, а также кормовой продуктивности в условиях нестабильности агроклиматических условий [24]. В центре разработана технология создания регенерантных генотипов зерновых культур, устойчивых к ионной токсичности кислых почв, актуальных для Кировской области [8, 25]. Растения-регенеранты индуцируются в процессе клеточной селекции в каллусной культуре на кислых селективных средах с токсичными концентрациями ионов алюминия, кадмия, марганца.

Успешное использование растений-регенерантов в дальнейшей селекции невозможно без комплексного изучения их биохимических, физиологических и продуктивных признаков на стрессовых почвенных фонах. Исследования необходимы для корректировки применяемых схем клеточной селекции в ходе отбора устойчивых генотипов в культуре *in vitro* с последующей регенерацией растений. Объективная оценка адаптивного потенциала регенерантов предполагает их сравнительный анализ с исходным генотипом в условиях *in vivo*.

Цель исследований – сравнительный анализ ответной реакции на почвенные стрессоры повышенной кислотности, избыточного содержания кадмия и марганца по биохимическим и продуктивным признакам регенерантных и исходных генотипов овса в рамках оценки эффективности применяемых схем клеточной селекции.

Методика. Эксперимент проводили летом 2023 г. в ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров, Кировская область). Объектами исследования служили генотипы ярового овса (*Avena sativa* L.): исходная линия 2h15, характеризующаяся низкой полевой устойчивостью к кислым почвам; и ее регенерантные формы во втором поколении, индуцированные в каллусной культуре по разработанной ранее методике [26] на средах без стресса (линия RA) и с селективными агентами: линия RA_{Al} – 40 мг/л Al³⁺ (pH 3,8); линия RA_{Cd} – 15 мг/л Cd²⁺ (pH 4,5); линия RA_{Mn} – 150 мг/л Mn²⁺ (pH 4,5). Для сравнения использовали сорт-стандарт Архан.

Регенерантные формы, проведенные через каллусную культуру на искусственных питательных средах с селективными агентами, сравнивали со стандартом; с исходной линией, размноженной обычным способом; с регенерантом, проведенным через каллусную культуру на искусственных питательных средах без селективных агентов.

Регенерантные генотипы изучали на почвенном фоне с тем стрессором, к которому они прошли отбор в процессе целевой клеточной селекции: RA_{Al} оценивали на почве с повышенной кислотностью, RA_{Mn} – с токсичностью марганца, RA_{Cd} – с токсичностью кадмия; линия RA – на контрольном почвенном фоне. Исходную линию и стандарт оценивали на всех почвенных фонах.

Семена овса высевали в вегетационные сосуды (3 растения на сосуд объемом 5 л, по 3 сосуда в каждом варианте), наполненные суглинистой дерново-подзолистой почвой (содержание органического вещества по ГОСТ 26213-91 – 1,47%). Схема опыта включала четыре почвенных фона: контрольный – оптимальный по кислотности (pH = 7,2; концентрация марганца – 10,4 мг/кг, кадмия – 0,04 мг/кг); кислый (pH = 4,3); с избытком марганца – 65,2 мг/кг (pH = 5,2) и с избытком кадмия – 2,87 мг/кг (pH = 5,2). Повторность опыта *n* = 9.

Контрольный (нейтральный) почвенный фон создавали путем внесения в природную сильнокислую почву

Табл. 1. Физико-химические показатели почвы¹

Показатель	Почвенный фон			
	контроль	кислый	с марганцем	с кадмием
pH _{ксл} (ГОСТ 26483-85)	7,2±0,1	4,3±0,1	5,2±0,1	5,2±0,1
Кадмий*, мг/кг		0,04±0,00		2,87±0,23
Марганец*, мг/кг	10,4±0,5	10,4±0,8	65,2±4,0	10,4±0,8

¹NO₃⁻ – 12,6±1,3 мг/кг (по ГОСТ 26488-85), P₂O₅ – 29,4±1,5 мг/кг (по ГОСТ Р 54650-2011); * – подвижная форма.

(pH = 4,3) доломита из расчета 550 г/м². Кислым фоном служила почва с природным уровнем кислотности (pH = 4,3). Фон с марганцем и кадмием создавали путем внесения в природную кислую почву соответственно водорастворимых солей марганца (MnSO₄·5H₂O) и кадмия (Cd(CH₃COO)₂·2H₂O), а также доломита из расчета 170 г/м² для обеспечения оптимальных условий подвижности ионов металлов (pH = 5,2) (табл. 1). Использование на порядок более высокой концентрации марганца в рамках модельного эксперимента было обусловлено более низким классом опасности (3 класс), чем кадмия (1 класс) [27].

Выращивание растений осуществляли на открытом воздухе, при естественном световом и температурном режимах до полного созревания. Уровень влажности в сосудах поддерживали на уровне 80% полевой влагоемкости.

Оценивали следующие физиолого-биохимические показатели растений: содержание пигментов в листьях и полифенолов в зерне, накопление кадмия и марганца в зерне, зольность зерна. Содержание пигментов измеря-

ли на стадии выметывания метелки. Свежесобранный растительный материал массой 250...350 мг заливали 100%-ным уксусом и фиксировали на кипящей водяной бане. До начала экстракции и анализа пигментов образцы хранили в холодильнике при +5 °С. Содержание пигментов (каротиноиды, хлорофилл *a* и *b*) определяли на спектрофотометре марки ПЭ-5300ВИ (Россия, «Экрос») при длинах волн 470, 662 и 644 нм соответственно. Величины показателей оптической плотности использовали для расчета содержания пигментов (в мг/г сырой массы листьев) по методике, изложенной в [28].

Количество полифенолов в зерне определяли спектрофотометрическим методом [29]. В качестве стандарта использовали галловую кислоту. Свободные полифенолы экстрагировали 70%-ным этиловым спиртом при температуре 5 °С в течение 16 ч, общие полифенолы, в том числе связанные – раствором гидроксида натрия (2н). Соотношение субстрат: экстрагент составляло 1:100.

Продуктивность овса оценивали по массе зерна с одного растения. Зерно после учета измельчали, пропускали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Содержание кадмия и марганца в зерне определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «СПЕКТР-5-4» (Россия, «СоюзЦМА»). Предварительная подготовка проб зерна для исследования на тяжелые металлы заключалась в сухой минерализации и последующем переводе золы в раствор соляной кислотой. Для каждой пробы по результатам сухой минерализации рассчитывали зольность [30, 31]. Все измерения проводили в трех аналитических повторностях.

Полученные экспериментальные данные представлены в виде средних арифметических значений и их стандартных отклонений. Разные буквы на графиках (согласно критерию Дункана) указывают на значимую разницу ($p < 0,05$) между опытными вариантами.

Результаты и обсуждение. Реакция регенерантных и исходных генотипов овса на почвенные стрессоры носила неоднозначный характер. В результате определения накопления фотосинтетических пигментов в листьях растений выявлено, что содержание каротиноидов варьировало от 0,3 до 0,7 мг/г сырой массы; хлорофилла *a* – от 0,9 до 2,3 мг/г сырой массы, *b* – от 0,4 до 0,9 мг/г сырой массы (рис. 1).

Повышенная кислотность почвы приводила к достоверному снижению уровня пигментов, по сравнению с контролем: у исходной линии каротиноидов (на 14,6%) и хлорофилла *a* (на 20,2%); у стандарта – каротиноидов (на 13,1%), хлорофилла *a* (на 22,4%) и *b* (на 26,4%). Показатели регенеранта RA_{Al} в этих условиях существенно не отличались от контроля.

На фоне кадмиевой нагрузки накопление всех исследуемых пигментов у стандарта также существенно снижалось (на 22,0...25,6%), а у исходной линии и RA_{Cd} отмечено достоверное снижение только содержания хлорофилла *b* (на 53,6 и 13,4% соответственно).

На почве с марганцем, напротив, количество пигментов (каротиноиды, хлорофилл *a* и *b*, %) относительно контрольного варианта повышалось: исходная линия – на 12,5; 25,5 и 37,6% соответственно, стандарт – на 20,2; 18,2 и 31,1%, регенерант RA_{Mn} – на 32,2; 23,7 и 23,1%. Значительный рост уровня пигментов в листьях всех генотипов овса на почвенном фоне с марганцем, вероятно, связан с его биофильной природой.

Регенеранты на стрессовых фонах достоверно превосходили исходную линию по содержанию ос-

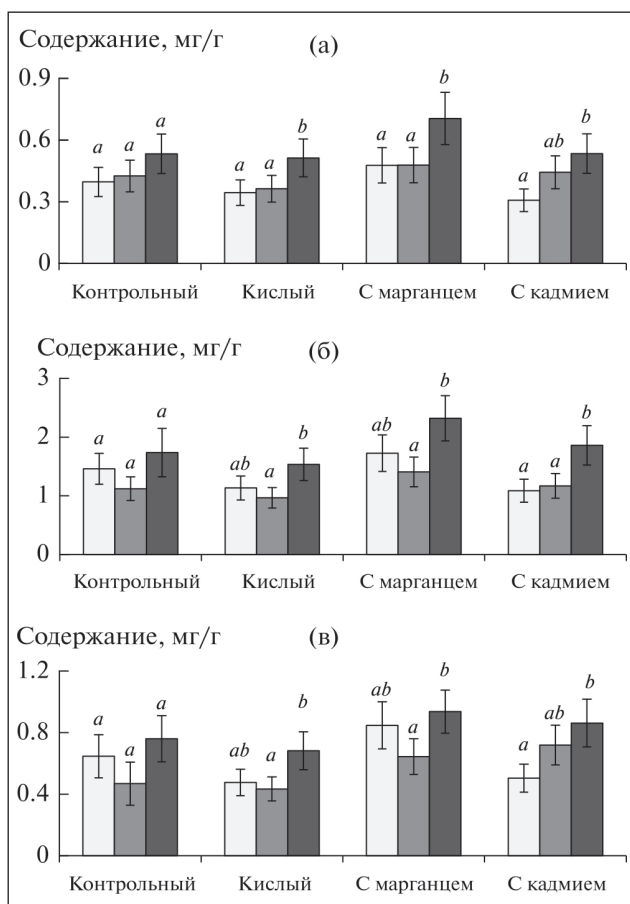


Рис. 1. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях овса различных генотипов: *a* – каротиноидов, *b* – хлорофилла *a*, *в* – хлорофилла *b*; □ – стандарт, ■ – исходная линия, ■ – регенерант.

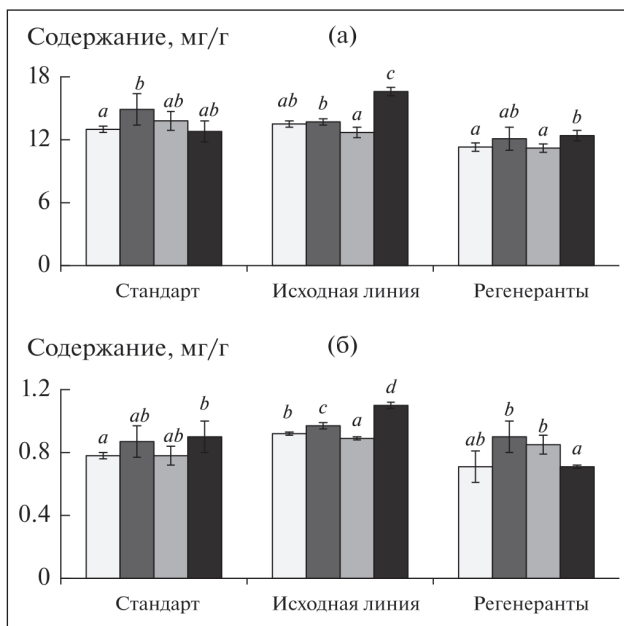


Рис. 2. Общее содержание (а) и содержание свободной фракции (б) полифенолов в зерне овса при выращивании растений на различных почвенных фонах: □ – контрольный, ■ – кислый, ■ – с марганцем, ■ – с кадмием.

новых пигментов в листьях: каротиноиды – RA_{Al} в 1,4 раза ($0,51 \pm 0,09$ мг/г сырой массы) и RA_{Mn} в 1,5 раз ($0,71 \pm 0,09$ мг/г); хлорофилл a – RA_{Al} в 1,6 раз ($1,54 \pm 0,28$ мг/г), RA_{Mn} в 1,6 раз ($2,32 \pm 0,36$ мг/г), RA_{Cd} в 1,6 раз ($1,86 \pm 0,34$ мг/г); хлорофилл b – RA_{Al} в 1,6 раз ($0,68 \pm 0,12$ мг/г), RA_{Mn} в 1,5 раз ($0,94 \pm 0,14$ мг/г). В контрольных условиях различия между RA и исходной линией были недостоверны.

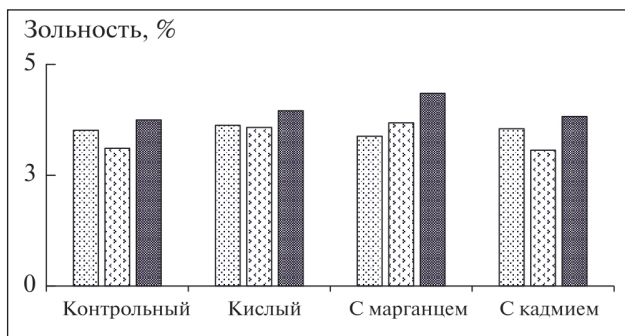


Рис. 3. Зольность зерна генотипов овса на различных почвенных фонах: □ – стандарт, ■ – исходная линия, ■ – регенерат.

Фенольные соединения присутствовали в зерне как в свободном, так и в связанном состоянии. Отмечены незначительные колебания баланса фракций «свободная / связанная форма» в зависимости от генотипа и условий выращивания. Большая часть полифенолов в зерне находилась в связанном состоянии – 92,5...94,3% от общего количества.

Общее содержание полифенолов в зерне исследуемых регенерантных линий варьировалось в пределах $11,2 \pm 0,4$... $12,4 \pm 1,0$ мг/г сухой массы (в среднем 11,8 мг/г) и было достоверно ниже, чем у исходной линии (в среднем 14,1 мг/г) и стандарта (в среднем 13,6 мг/г) на соответствующих почвенных фонах (рис. 2а). Кроме того, растения-регенеранты были в менее чувствительны по величине этого показателя к стрессовым условиям

(отсутствовали достоверные отличия с контрольным фоном), тогда как у исходной линии общее содержание полифенольных соединений достоверно превышало контроль на фоне с кадмием (на 23,2%), а у стандарта на кислом фоне (на 15,2%).

По количеству свободных полифенолов в зерне отмечены существенные различия на фоне с кадмием (рис. 2б) между RA_{Cd} ($0,71 \pm 0,10$ мг/г) и исходной линией ($1,10 \pm 0,02$ мг/г, выше контроля на 19,6%), а также стандартом ($0,90 \pm 0,01$ мг/г, выше контроля на 11,5%).

Зольность зерна исследованных генотипов на различных почвенных фонах варьировала от 3,2 до 4,3% (рис. 3). Известно, что величина этого показателя отражает суммарное содержание минеральных внутризерновых включений, а также может указывать на загрязненность поверхности зерна минеральными веществами [32]. Повышение зольности свидетельствует об уменьшении органического вещества в зерне, что приводит, в свою очередь, к снижению его кормовой и пищевой ценности. Независимо от почвенного фона наибольшую зольность зерна отмечали у растений-регенерантов. Существенная разница (0,8%) между исходным генотипом (3,16...3,73%) и регенерантом RA_{Cd} (3,91...4,32%) отмечена на почвенном фоне с кадмием. Относительную стабильность уровня зольности зерна на всех почвенных фонах наблюдали у стандарта (3,60...3,83%).

Значительное накопление аккумуляции марганца и кадмия в зерне овса отмечали только в вариантах с искусственным внесением этих элементов в почву. Так, наибольшее накопление марганца (от 145,2 до 256,4 мг/кг) зафиксировано на почвенном фоне с его избытком (рис. 4). На остальных фонах уровень марганца в зерне варьировал в пределах 30,5...61,2 мг/кг.

В стрессовых условиях выращивания содержание марганца в зерне растений-регенерантов овса было выше, чем у исходного генотипа и стандарта (имели близкие значения). В контрольных условиях, где почва характеризовалась нейтральной реакцией среды, достоверных различий между исследуемыми генотипами не выявлено. По содержанию марганца в зерне регенерантов варианты опыта можно расположить в следующий ряд: контрольный < кислый $\approx$ с кадмием < с марганцем. При этом разница с исходным генотипом у регенеранта RA_{Al} на кислом фоне составляла 1,6 раза; RA_{Mn} на фоне с марганцем – 1,7; RA_{Cd} на фоне с кадмием – 1,8 раза.

Присутствие токсичного металла – кадмия в зерне отмечали только на почвенном фоне с его избыточным содержанием в почве. В этом случае концентрация кадмия в продукции стандарта достигала $0,61 \pm 0,06$ мг/кг, что превышало ПДК (0,1 мг/кг). Тогда как регенеранты и исходный генотип накапливали токсикант в 2,9 и 2,7 раза активнее ($1,82 \pm 0,16$ и $1,67 \pm 0,16$ мг/кг соответственно) при отсутствии значимых различий между собой.

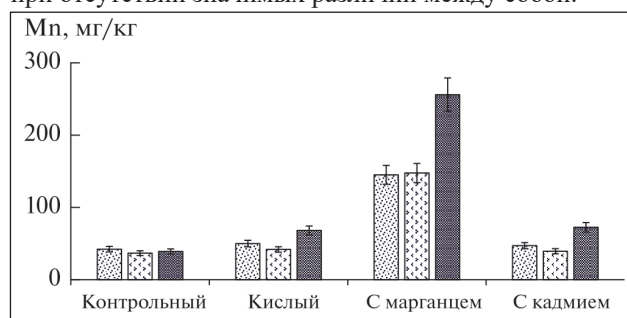


Рис. 4. Содержание марганца в зерне на разных фонах: □ – стандарт, ■ – исходная линия, ■ – регенерат.

Табл. 2. Продуктивные признаки растений овса исходных и регенерантных форм в различных условиях выращивания

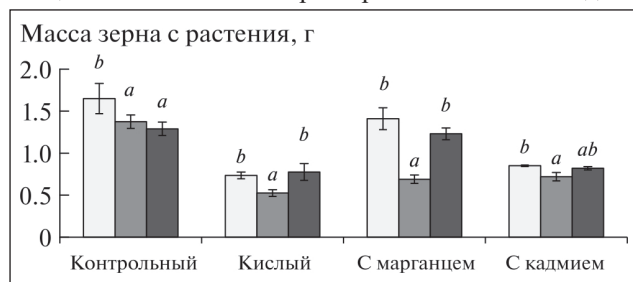
Почвенный фон	Высота растений, см	Количество зерен в метелке, шт.	Масса зерен в метелке, г
Регенеранты			
Контроль	65,06±11,15	30,77±5,04	0,74±0,19
Кислый	67,43±5,30	19,80±6,25*	0,61±0,06
С марганцем	65,96±6,71	27,12±9,34	0,72±0,15
С кадмием	63,84±8,53	22,22±4,8	0,64±0,12
Исходная линия (2h15)			
Контроль	68,82±4,27	41,25±10,59	1,07±0,30
Кислый	59,02±2,19*	18,55±5,88*	0,54±0,21*
С марганцем	63,16±5,04	25,00±7,86	0,63±0,21*
С кадмием	61,53±1,48*	17,44±3,35*	0,58±0,19
Стандарт			
Контроль	64,05±1,26	35,11±9,79	0,97±0,23
Кислый	55,91±1,21*	21,11±4,68*	0,57±0,15*
С марганцем	68,72±2,03*	30,75±6,52	0,85±0,23
С кадмием	60,5±5,92	18,44±1,98*	0,61±0,23*

*различия с контролем достоверны при $p > 0,95$.

Оценка стрессоустойчивости чаще всего опирается на анализ видимых изменений морфологии растений при воздействии критических доз токсикантов. Исходя из этого, проводили сопоставление продуктивных признаков при выращивании овса в контрольных и стрессовых условиях. На контрольном фоне различия между генотипами были статистически недостоверны (табл. 2).

Наличие почвенного стресса в большинстве случаев негативно влияло на продуктивные показатели овса. По сравнению с контролем снижалась высота растений у исходной линии (на кислом фоне – на 14,4%, с кадмием – на 10,8%) и стандарта (на кислом фоне – 12,7%), однако высота регенерантов практически не изменялась. На фоне этих же стрессоров у всех генотипов снижалась продуктивность метелки: регенеранты (RA_{Al} , RA_{Cd}) – на 26,0...36,2%; исходный генотип – на 42,1...57,7%; сорт-стандарт – на 37,2...47,4%.

Продуктивность, определяемая по показателю массы зерна с 1 растения, на контрольном фоне варьировала от 1,3 до 1,7 г; на кислом – от 0,5 до 0,8 г; с избытком марганца – от 0,7 до 1,4 г; с избытком кадмия – от 0,7 до 0,9 г (рис. 5). Если в благоприятных (контрольных) условиях величина этого показателя у регенерантов ($1,29 \pm 0,08$ г) и исходной линии ($1,38 \pm 0,08$ г) была существенно ниже, чем у стандарта ($1,65 \pm 0,18$ г), то на жестких стрессовых фонах у всех генотипов она достоверно снижалась относительно контроля: при повышенной кислотности и избытке кадмия – у стандарта в 2,3 и 1,9 раза соответственно, исходной линии – в 2,6 и 1,9 раза, регенерантов (RA_{Al} и RA_{Cd}) – в 1,7 и 1,6 раза. Следует отметить, что в этих же условиях масса зерна с растений у стандарта, RA_{Al} и RA_{Cd} достоверно не различалась и была выше, чем у исходной линии в 1,5 и 1,2 раза соответственно. На присутствие избыточного марганца в почве негативно реагировала только исходная

**Рис. 5. Продуктивность растений овса:**

□ – стандарт, ■ – исходная линия, ■ – регенерат.

линия – наблюдали снижение продуктивности в 2 раза, по сравнению с контролем; а также в 2,1 и 1,8 раза, по сравнению со стандартом и регенерантом (RA_{Mn}) соответственно.

Результаты анализа продуктивных признаков овса свидетельствуют, что из всех исследуемых генотипов регенеранты в меньшей степени реагировали на почвенные стрессоры, однако на контрольном фоне они характеризовались более низкими показателями, по сравнению со стандартом и исходной линией.

Выводы. Токсичность ионов кадмия и, в большей степени, высокая кислотность почвы негативно влияли на биохимические и продуктивные признаки исследуемых генотипов. В условиях повышенной кислотности, избыточного содержания марганца и кадмия растения-регенеранты (RA_{Al} , RA_{Mn} , RA_{Cd}) превосходили исходную линию и стандарт по содержанию в листьях каротиноидов (соответственно на 29 и 33%; 32 и 32%; 17 и 43%) и хлорофилла *a* (на 37 и 26%; 34 и 19%; 37 и 42%), но менее активно накапливали в зерне полифенолы (в среднем на 16 и 13%). Если считать фенольные соединения маркерами стрессового состояния, то можно предположить, что регенеранты менее стрессированы в рассматриваемых условиях. На фонах с искусственным внесением металлов у регенерантов отмечено превышение уровня марганца в зерне, по сравнению с исходной линией, в 1,7 раз ($256,1 \pm 22,7$ мг/кг) и отсутствие различий между ними по содержанию кадмия ($1,82 \dots 1,67 \pm 0,16$ мг/кг). То есть клеточная селекция привела к повышению активности накопления в зерне марганца у RA_{Mn} , по сравнению с исходным генотипом.

Биохимическое состояние отразилось на развитии продуктивных признаков растений овса. На стрессовых фонах с повышенной кислотностью и содержанием кадмия регенеранты в меньшей степени снижали продуктивные показатели относительно контроля: стандарт – соответственно в 2,3 и 1,9 раза, исходный генотип – в 2,6 и 1,9 раза, регенеранты (RA_{Al} и RA_{Cd}) – в 1,7 и 1,6 раза. Вероятно, предварительный отбор устойчивых форм овса на селективных средах в культуре *in vitro* ослабил реакцию регенерантных линий на ингибирующее действие аналогичных стрессоров в почве. Такие проявления не были связаны со снижением аккумуляции металлов, кроме того, сопровождалась повышением минерализации зерна и, как следствие, сокращением содержания органического вещества.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального аграрного научного центра Северо-Востока им. Н. В. Рудникова. Никаких дополнительных грантов на проведение или руково-д данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

Литература.

1. Шуплецова О. Н., Огородникова С. Ю., Назарова Я. И. Эффекты неспецифической устойчивости генотипов ячменя, полученных путем клеточной селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 4. С. 192–199. doi: 10.30901/2227-8834-2020-4-192-199.

2. Шуплецова О. Н., Товстик Е. В. Аккумуляция кадмия и цинка регенерантами ячменя на провокационном почвенном фоне с кадмием // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 4. С. 117–125. doi: 10.30901/2227-8834-2021-4-117-125.
3. Tissue Culture-Induced Heritable Genomic Variation in Rice, and Their Phenotypic Implications / D. Zhang, Z. Wang, N. Wang, et al. // PLoS ONE. 2014. Vol. 9. No. 5. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0096879> (дата обращения: 04.07.2024). doi: 10.1371/journal.pone.0096879.
4. Applications of In Vitro Tissue Culture Technologies in Breeding and Genetic Improvement of Wheat / A. Wijerathna-Yapa, V. Ramtekey, B. Ranawaka, et al. // Plants. 2022. No. 11. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/17/2273> (дата обращения: 04.07.2024). doi: 10.3390/plants11172273.
5. Шуплецова О. Н., Шенникова И. Н. Форвард–сорт ярового ячменя регенерантного происхождения // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 3. С. 4–8.
6. Никитина Е. Д., Хлебцова Л. П., Ереценко О. В. Разработка отдельных элементов технологии клеточной селекции яровой пшеницы на устойчивость к абиотическим стрессам // Известия Алтайского государственного университета. 2014. Т. 2. № 3. С. 50–54.
7. Клеточная селекция зерновых растений на устойчивость к микотоксинам грибов рода *Fusarium* / А. Г. Савицкая, Ю. А. Литовка, Т. В. Рязанова и др. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. № 6. С. 87–91.
8. Некоторые результаты и вопросы методологии селекции овса на устойчивость к эдафическому стрессу / Г. А. Баталова, И. Г. Широких, М. В. Тулякова и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. № 4. С. 9–15.
9. Msimbira L. A., Smith D. L. The Roles of Plant Growth Promoting Microbes in Enhancing Plant Tolerance to Acidity and Alkalinity Stresses // Frontiers in Sustainable Food Systems. Sec. Crop Biology and Sustainability. 2020. Vol. 4. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-food-systems/articles/10.3389/fsufs.2020.00106/full> (дата обращения: 04.07.2024). doi: 10.3389/fsufs.2020.00106.
10. Курейчева Л. В., Шевченко В. А. Состояние пахотных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 2. С. 12–16. doi: 10.24411/2587-6740-2020-12021.
11. Агроэкологическая оценка взаимосвязей свойств почв во времени и в пространстве / В. И. Савич, В. В. Гукалов, А. Е. Сорокин и др. // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2021. № 106. С. 163–175. doi: 10.19047/0136-1694-2021-106-163-175.
12. Селюкова С. В. Тяжелые металлы в агроценозах // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 8. С. 85–93. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10815.
13. Soil cadmium mobilisation by dissolved organic matter from soil amendments / D. Welikala, B. H. Robinson, E. Moltchanova, et al. // Chemosphere. 2021. Vol. 271. P. 1–10. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129536.
14. Kicinska A., Potykal R., Izquierdo M. Changes in soil pH and mobility of heavy metals in contaminated soils // European Journal of Soil Science. 2022. V. 73. No. 1. URL: <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ejss.13203> (дата обращения: 04.07.2024). doi: 10.1111/ejss.13203.
15. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / под ред. А. В. Гордеева, Г. А. Романенко. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. 68 с.
16. Шихова Л. Н., Егоришина Т. Л. Тяжелые металлы в почвах и растениях таежной зоны северо-востока европейской России. Киров: Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого, 2004. 264 с.
17. Симонова О. А., Лисицын Е. М., Товстик Е. В. Сравнительное содержание марганца в верхних горизонтах почв Кировской области // Естественные и технические науки. 2019. № 10. С. 127–131. doi: 10.25633/ETN.2019.10.23.
18. Симонова О. А., Лисицын Е. М., Товстик Е. В. Сравнительное содержание марганца в верхних горизонтах почв Кировской области // Естественные и технические науки. 2019. № 10. С. 127–131.
19. Photosynthetic Response of Plants Under Different Abiotic Stresses: A Review / A. Sharma, V. Kumar, B. Shahzad, et al. // Journal of Plant Growth Regulation. 2020. Vol. 39. P. 509–531. doi: 10.1007/s00344-019-10018-x.
20. Амунова О. А., Лисицын Е. М. Влияние различных условий увлажнения на пигментный комплекс листьев сортов мягкой яровой пшеницы разных групп спелости // Самарский научный вестник. 2019. Т. 8. № 3. С. 19–25. doi: 10.17816/snv201983102.
21. Investigation of phenolic compounds with antioxidant activity in barley and oats affected by variation in growing location / S. Rao, A. B. Santhakumar, K. A. Chinkwo, et al. // Cereal Chemistry. 2020. Vol. 97. No. 4. P. 772–782.
22. Tuladhar P., Sasidharan S., Saudagar P. Role of phenols and polyphenols in plant defense response to biotic and abiotic stresses // Biocontrol Agents and Secondary Metabolites. 2021. P. 419–441. doi: 10.1016/B978-0-12-822919-4.00017-X.
23. Effect of Heavy Metal Stress on Phenolic Compounds Accumulation in Winter Wheat Plants / M. Janczak-Pieniazek, J. Cichonski, P. Michalik, et al. // Molecules. 2023. Vol. 28. No. 1. Article 241. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/1/241> (дата обращения: 04.07.2024). doi: 10.3390/molecules28010241.
24. Селекция овса пленчатого в условиях нестабильности агроклиматических ресурсов / Г. А. Баталова, С. Н. Шевченко, О. А. Жуйкова и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 3. С. 11–15. doi: 10.31857/S2500262721030030.
25. Шуплецова О. Н., Шенникова И. Н. Биотехнологические методы создания исходного материала ячменя для селекции на устойчивость к абиотическим стрессорам. Научно-практические рекомендации. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока., 2022. 92 с.
26. Шуплецова О. Н., Широких И. Г. Повышение устойчивости ячменя к токсичности металлов и осмотическому стрессу путем клеточной селекции // Зерновое хозяйство России. 2015. № 1. С. 57–62.
27. Охрана окружающей среды, классификация химических веществ для борьбы с загрязнением. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012797> (дата обращения 01.04.2022).
28. Lichtenthaler H. K., Bushmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV–VIS spectroscopy // Current Protocols in Food Analytical Chemistry. 2001. URL: <https://currentprotocols.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0471142913.faf0403s01>. (дата обращения 01.04.2022).
29. Шеромов А. М., Товстик Е. В., Шуплецова О. Н. Валидация методики определения полифенолов в зерне ячменя // В книге: X Съезд общества физиологов растений России «Биология растений в эпоху глобаль-

- ных изменений климата». Всероссийская научная конференция с международным участием: тезисы докладов. Уфа: Уфимский Федеральный исследовательский центр РАН, 2023. С. 395.
30. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов URL: <https://gostassistant.ru/doc/40580390-64a5-4099-aa26-19bc22533f32> (дата обращения 01.04.2022).
31. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов URL: <https://gostassistant.ru/doc/7c428919-2ebb-405e-9f8d-88c69dd6f34d> (дата обращения 01.04.2022).
32. Микроаналитический метод исследования загрязненности зерна / Ф. Я. Рудик, А. А. Морозов, М. С. Марадудин и др. // Аграрный научный журнал. 2016. № 1. С. 59–61.

Поступила в редакцию 25.05.2024

После доработки 21.06.2024

Принята к публикации 23.07.2024

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДАПТАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ, ФОРМ И СОРТОВ ЯБЛОНИ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНДОФИТНОЙ И ЭПИФИТНОЙ МИКРОБИОТЫ

©2024 г. Н. Н. Савельева, доктор биологических наук, М. И. Козаева, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина,
393774, Тамбовская обл., Мичуринск, ул. Мичурина, 30
E-mail: saveleva_natalya_nic@mail.ru

Исследования проводили с целью выявления наиболее адаптивных видов, форм и сортов яблони на основе особенностей развития различного типа микробиоты. Работу выполняли в 2014–2023 гг. в Тамбовской области. Схема посадки 6×3 м, закладка проведена в 2009 г., подвой 54–118. Объекты исследований – вид яблони *Malus robusta*; формы – 25–8; 64–143; 54–118; сорта – Коричное полосатое, Орловим, Июльское Черненко, Слава Мичуринска. Тип почвы – выщелоченный чернозем среднесиловый суглинистого механического состава. В эндофитной микробиоте адаптивных растений преобладали бактерии *Pseudomonas syringae*: у гибридной яблони *Malus robusta* их доля составляла 96,6 %, у сорта Коричное полосатое – 89,3 %, у формы 25–8 – 88,7 %, что соответственно на 9,7 %, 2,4 % и 1,8 % выше среднего значения по выборке. У формы 64–143 и сорта Слава Мичуринска величины этого показателя были ниже среднегрупповой на 5,5 % и 4,2 % соответственно. Смешанной микробиоты у *Malus robusta* не наблюдали (0,0 %). У сорта Коричное полосатое величина этого показателя была ниже среднего по выборке на 0,7 %, у формы 25–8 – на 1,3 %; у формы 64–143, напротив, выше на 4,5 %. Величину отрицательных тестов ниже среднегрупповой отмечали у образцов *Malus robusta* (3,4 %), Орловим (4,2 %), Коричное полосатое (4,5 %), Июльское Черненко (6,2 %). У образцов 64–143, 54–118 и Слава Мичуринска она была выше среднегрупповой на 1,0 %, 2,0 % и 4,0 % соответственно. По комплексу показателей выхода микробиоты и процента отрицательных тестов лучшими оказались вид яблони *Malus robusta*, сорт Коричное полосатое и форма 25–8, которые целесообразно использовать в дальнейшей селекции на устойчивость к различного типа микробиоте.

DETERMINATION OF ADAPTIVE CAPABILITIES OF VARIOUS TYPES, FORMS AND VARIETIES OF APPLE TREES BASED ON ENDOPHYTIC AND EPIPHYTIC MICROBIOTA INDICATORS

N. N. Saveleva, M. I. Kozayeva

Michurin Federal Scientific Center,
393774, Tambovskaya obl., Michurinsk, ul. Michurina, 30
E-mail: saveleva_natalya_nic@mail.ru

The aim of the research was to identify the most resistant species, forms and varieties of apple trees based on the developmental specifics of the various types of microbiota. The research was conducted in 2014–2023 at the I. V. Michurin Federal Scientific Center, Michurinsk, Tambov region. The year of planting was 2009 with the planning scheme 6×3 m., the rootstock 54–118. The objects of the research are: *Malus robusta* species; forms 25–8, 64–143, and 54–118; varieties Korichnoe polosatoe, Orlovim, Iyulskoe Chernenko, and Slava Michurinska. The soil type was leached medium-power black soil with a loamy mechanical composition. *Pseudomonas syringae* bacteria prevailed in resistant plants: 96.6 % in *Malus robusta* hybrid apple, 89.3 % in Korichnoe polosatoe variety, and 88.7 % in 25–8 form, which is 9.7 %, 2.4 % and 1.8 % respectively, higher than the average value among the test subjects. In 64–143 form and Slava Michurinska variety, the indicators are lower than the average by 5.5 % and 4.2 % respectively. The yield of mixed microbiota in *Malus robusta* was not observed (0.0 %). Korichnoe polosatoe variety had an indicator below the average value by 0.7 %, in the form 25–8 by 1.3 %, and in the form 64–143 by 11.4 %, which is 4.5 % higher than the average. The magnitude of negative tests ranged from 3.4 % (*Malus robusta*) to 6.2 % (Iyulskoe Chernenko), which did not exceed the average value. Samples 64–143, 54–118 and Slava Michurinska had above-average values of 1.0 %, 2.0 % and 4.0 %, respectively. According to the complex of indicators of microbiota yield and the percentage of negative tests, *Malus robusta*, Korichnoe polosatoe variety and 25–8 form had a high potential for environmental resistance. They were recommended for further breeding for resistance to adverse environmental factors.

Ключевые слова: яблоня, эндофитная и эпифитная микробиота, адаптационная способность.

Keywords: apple tree, endophytic and epiphytic microbiota, adaptive capacity.

На всем протяжении онтогенетического развития микробиота находится в тесной связи с растением. Ее видовой состав оказывает непосредственное влияние на иммунитет растения-хозяина в ответ на деятельность фитопатогенов. Микроорганизмы вырабатывают фитогормоны, которые воздействуют на экологическую пластичность растений в неблагоприятных условиях окружающей среды [1].

Изучение и понимание сложного взаимодействия растения и микробиоты сегодня находится под пристальным вниманием ученых. Влияние на этот процесс, а также управление им, рассматривают как один из способов повышения урожайности сельскохозяйственных культур [2, 3, 4].

Из многих плодовых культур, выращиваемых в мире, яблоня занимает одну из лидирующих позиций. Она широко распространена во многих странах, так как обладает экологической адаптацией и пластичностью. Плоды можно хранить практически круглый год, использовать в свежем виде и как сырье для переработки, это помогает сократить их потери и порчу, а также обеспечить широкую доступность такой продукции для потребителя [5].

Товарные плоды должны удовлетворять требованиям торговых сетей, иметь высокие вкусовые качества, необходимый биохимический состав [6]. Для достижения этой цели требуются высокопродуктивные сорта, устойчивые к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам.

тическим факторам среды. Особенно ценны генотипы, обладающие иммунитетом к парше, как наиболее опасному заболеванию. Существующий сортовой состав яблони не отвечает всем требованиям современного промышленного садоводства. В этой связи сохраняет свою актуальность изучение потенциала устойчивости к дестабилизирующему воздействию неблагоприятных абиотических факторов и выделение для производства и селекционного использования новых сортов и форм с максимальной выраженностью этих признаков, а также поиск наиболее адаптированных к условиям произрастания генотипов, обладающих более мощным механизмом защиты от неблагоприятных факторов окружающей среды и повышенной регенерационной способностью после негативного воздействия внешних условий [5, 7, 8].

Потенциал экологической устойчивости растений в значительной степени определяет комплекс их взаимодействий с микробными эндоситами. Колонизация эндоситами часто играет важную роль в увеличении жизнестойкости растений [9].

Эндоситные бактерии и грибы способны выделять физиологически активные вещества, которые положительно воздействуют на рост, развитие и иммунитет растений. Определенные виды эндоситных бактерий запускают защитные механизмы растений, известные как индуцированная системная устойчивость (ISR), которая схожа с приобретенной системной устойчивостью (SAR) [10, 11, 12].

Существуют штаммы бактерий, которые повышают доступность микроэлементов почвы растениям. Известны 118 штаммов, связывающих катионы калия и обеспечивающих его эффективное усвоение. Это особенно важно при возделывании плодовых насаждений, которые в силу своей биологии произрастают на одних участках десятки лет. В результате развивается почвенное утомление, при котором снижается усвоение растениями необходимых минеральных элементов. Выделение калий-сольбилизующих бактерий может служить основой для создания новых эффективных видов удобрений для плодовых культур [13].

Эндоситные бактерии играют ключевую роль в биоконтроле фитопатогенных микроорганизмов [14]. Они способны ингибировать развитие болезней путем синтеза биологически активных соединений, обладающих «антипатогенным» действием [15].

Цель исследования – выявление наиболее адаптивных видов, форм и сортов яблони на основе особенностей развития микробиоты.

Для ее достижения решали следующие задачи: изучить состав и биологические особенности выделенной микробиоты, оценить токсическое воздействие бактерий на фитопатогенные грибы.

Методика. В качестве объектов исследований использованы растения вида *Malus robusta*, который представляет собой гибрид между *Malus baccata* (L.) Borkh и *Malus prunifolia* (Willd.) Borkh.; форм 25–8 (Прима × Бессемянка мичуринская), 64–143 (Свежесть × Ваяк), 54–118 (среднерослый подвой яблони, парадизка Будаговского (ПБ9) × гибрид 13–14); сортов Коричное полосатое (народной селекции); Орловим (Антоновка обыкновенная × сеянец SR0523), Июльское Черненко (Анис алый × Папировка), Слава Мичуринска (выделен из семян мичуринских сортов яблони, полученных от свободного опыления).

Эксперименты проводили в 2014–2023 гг. в г. Мичуринске Тамбовской обл. Работу выполняли в селекционном саду № 7 Селекционно-генетического центра

Табл. 1. Метеорологические условия лет исследований

Год	Температура воздуха (t, °C)	Сумма осадков, мм	Гидротермический коэффициент (ГТК)
Среднегодовое	7,2	583,1	0,91
2014	7,1	347,4	0,71
2015	7,5	511,1	0,88
2016	6,9	812,3	1,10
2017	6,9	606,7	0,92
2018	6,7	494,7	0,87
2019	7,8	445,0	0,85
2020	8,2	512,0	0,89
2021	7,2	570,0	0,94
2022	7,3	722,4	0,98
2023	7,7	611,9	0,91

им. И. В. Мичурина. Схема посадки – 6×3 м, насаждения были заложены в 2009 г. на подвое 54–118. Для проведения детальных учетов отбирали по 4 типичных дерева каждого образца одного возраста и нормального развития. Система содержания междурядий – залужение, в рядах – механизированная обработка. Деревья выращивали без орошения и удобрений, обработку фунгицидами не проводили, осуществляли защитные мероприятия от вредителей.

Почва сада – выщелоченный чернозем среднесуглинистого механического состава со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса (ГОСТ 26213-91) – 4,8...5,7 %, кислотность (ГОСТ 26212-2021) – 5,3...5,6 ед. pH, содержанием азота (по Тюрину и Кононовой) – 8,0 мг/100 г, подвижного фосфора и калия (ГОСТ 26204-91) – соответственно 13,0...14,0 мг/100 г и 13,0...15,0 мг/100 г, обменного кальция (ГОСТ 26487-85) – 22,3 мг-экв./100 г, сумма обменных оснований (по Каппену – Гильковицу) – 26,7 мг-экв./100 г.

Метеорологические условия региона в основном благоприятны для выращивания яблони. За время проведения исследований наблюдали отклонение среднегодовой температуры воздуха от среднегодовой, от –0,1 в 2014 г. до +1,0 °C в 2020 г. (табл. 1). Осадки характеризовались неравномерным распределением по годам. В 2014 г. их выпало наименьшее количество – 347,4 мм, что на 235,7 мм ниже среднегодового. В 2016 г. сумма осадков составляла 812,3 мм, что превысило норму на 229,2 мм. Место проведения исследований находится в зоне недостаточного увлажнения – ГТК варьировал от 0,71 до 0,98. Исключение составил 2016 г. (ГТК – 1,10, или на 0,19 выше среднего), когда отмечали высокое увлажнение, но с неравномерным распределением осадков по месяцам.

Тестирование однолетних побегов различных видов, форм и сортов яблони на наличие эндоситной микробиоты проводили согласно действующей методике [16]. Изучение состава, а также биологических особенностей выделенной микробиоты и токсического действия бактерий на фитопатогенные грибы выполняли с использованием существующих руководств [17, 18]. Для изучения эпифитной микробиоты яблони осуществляли смывы с листьев стерильной водой, после чего их рассевали на питательную среду в чашки Петри.

Ранжирование показателей выполняли по процентному выходу бактерии *Pseudomonas syringae*. В таблицах представлены показатели средней (M) и ошибки средней величины или ошибки репрезентативности ($\pm m$), коэффициента вариации (C_v , %).

Результаты и обсуждение. В эндоситной микробиоте более адаптивных форм преобладали бактерии, относящиеся к сборному виду *Pseudomonas syringae*. Самый высокий выход этих бактерий – 96,6 % отмечен

Табл. 2. Выход эндофитной микробиоты при тестировании побегов яблони

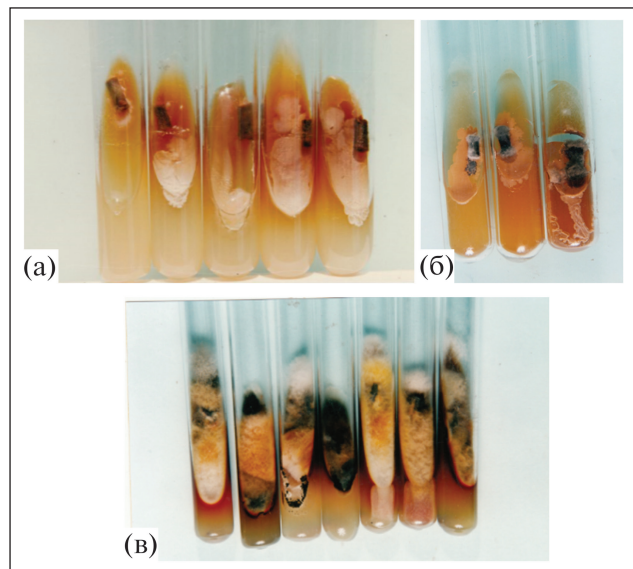
Вид, сорт, форма	Выход бактерий <i>Pseudomonas syringae</i> , %	Выход смешанной эндофитной микробиоты, %	Показатель отрицательных тестов, %
<i>Malus robusta</i>	96,6	0,0	3,4
Коричное	89,3	6,2	4,5
полосатое			
25-8	88,7	5,6	5,7
Орловим	87,7	8,1	4,2
Июльское	85,6	8,2	6,2
Черненко			
54-118	83,7	8,1	8,2
Слава	82,7	7,1	10,2
Мичуринска			
64-143	81,4	11,4	7,2
$M \pm m$	86,9 $\pm$ 1,7	6,9 $\pm$ 1,1	6,2 $\pm$ 0,8
C_v , %	5,5	47,2	36,6

у вида *Malus robusta* (табл. 2). У сорта Коричное полосатое и формы 25–8 величины этого показателя были меньше, чем у *M. robusta*, соответственно на 7,3 % и 7,9 % и больше среднegrupповой – на 2,4 % и 1,8 %.

Среднее положение в выборке по выходу бактерий *Pseudomonas syringae* занимали сорта Орловим и Июльское Черненко, а также форма 54–118. По сравнению с видом *Malus robusta*, величины этого показателя были ниже на 8,9 %, 11,0 % и 12,9 % соответственно. У формы 64–143 и сорта Слава Мичуринска уровень выхода бактерии *Pseudomonas syringae* был ниже, чем у гибридной яблони, соответственно на 15,2 % и 13,9 %, а по сравнению со средней величиной этого показателя по изучаемой выборке, – на 5,5 % и 4,2 %. Эти образцы характеризовались меньшей приспособленностью к негативным условиям внешней среды.

Токсины *Pseudomonas syringae*, как правило, или убивают фитопатогенные грибы, или угнетают их рост и развитие. Выделившиеся бактерии были однотипными, матовой консистенции, бежевого цвета, с гладкой поверхностью колонии и древовидным краем (см. рисунок, а).

В составе эндофитной микробиоты так же тестировали микробиоту смешанного типа. Ассоциация оказалась мицелиально-прокариотным организмом, включающим,



Микробиота, выделенная при тестировании различных сортов: а – бактериальная микробиота, сорт Коричное полосатое; б – смешанная микробиота, сорт Орловим; в – грибная микробиота, сорт Слава Мичуринска.

помимо бактерии, грибы с темной окраской, которые хорошо заметны на питательной среде (см. рисунок, б). Поскольку микробиота также претерпевает стресс, адаптируясь к неблагоприятным условиям среды, она, объединяясь в ассоциации, образует ассоциативные комплексы микроорганизмов, обладающих большой быстротой и силой поражения [19, 20].

Наименьшую токсическую нагрузку испытывал вид гибридной яблони *Malus robusta* (0 %). У формы 25–8 выход смешанной микробиоты был больше на 5,6 %, у формы 54–118 – на 8,1 %. У сортов Коричное полосатое, Орловим, Июльское Черненко и Слава Мичуринска стрессорная нагрузка превышала величину этого показателя у *Malus robusta* соответственно на 6,2 %, 8,1 %, 8,2 %, и 7,1 %. Форма 64–143 характеризовалась самым высоким показателем токсического давления – 11,4 %, что на 4,5 % больше среднegrupпового. Выход смешанной микробиоты ниже среднего по выборке отмечали у сорта Коричное полосатое (на 0,7 %) и формы 25–8 (на 1,3 %), что свидетельствует об их высокой сопротивляемости токсическому действию комплекса микроорганизмов.

Исключительно важным для определения запасов адаптации, а также жизнеспособности растений, считают показатель отрицательных тестов. Известно, что некрозы ослабляют и убивают микробиоту, в результате чего при тестировании она не выходит на питательные среды. Следовательно, чем выше отрицательный тест, тем меньше микробиоты выделяется на питательный субстрат. Однако состояние паранекроза (окислительного стресса) – результат как абиотического, так и биотического стрессоров – ослабляет не только микробиоту, но и само растение. Это отражается на репродуктивных органах, что приводит к снижению продуктивности яблони [21, 22]. Поэтому высокий процент отрицательных тестов свидетельствует о повышении уровня окислительного стресса и снижении адаптационной способности.

Наиболее адаптированным к неблагоприятным условиям внешней среды оказался вид яблони *Malus robusta* с показателем отрицательных тестов 3,4 %, что на 2,8 % ниже среднegrupпового значения. У сортов Орловим, Коричное полосатое и формы 25–8 величина этого показателя была выше, чем у *Malus robusta*, соответственно на 0,8 %, 1,1 % и 2,3 %, но ниже среднего по выборке на 2,0 %, 1,7 % и 0,5 %. Сорт Июльское Черненко по показателю отрицательных тестов занимал среднее положение в выборке. Перечисленные образцы характеризовались более высокой экологической адаптацией, чем формы 64–143, 54–118 и сорта Слава Мичуринска, процент отрицательных тестов у которых превышал средний по изучаемой выборке на 1,0 %, 2,0 % и 4,0 % соответственно.

Коэффициент вариации (C_v) показателей выхода эндофитной микробиоты по изучаемым генотипам варьировал от 5,5 % для бактерии *Pseudomonas syringae* до 47,2 % для смешанной микробиоты. Коэффициент вариации отрицательных тестов достигал 36,6 %. Это указывает на различия в реакции организма растений на влияние микробиоты, что важно учитывать при вовлечении их в селекционный процесс.

Определение состава эпифитной микробиоты в микробиоте растений, а также характера взаимодействия участвующих в нем агентов позволило оценить инфекционный фон и активность патогенов. У более адаптивных форм в 86,7 % случаев наблюдали выход бактерий, обладающих выраженным фунгицидным и фунгистатическим действием. В 8,3 % случаев определяли грибную микробиоту, имевшую под влиянием бактериальных

токсикозов сильную степень деградации, что проявилось в потере выраженных видовых признаков, вследствие чего их идентификация не представлялась возможной. В 5 % случаев отмечено проявление белого стерильного мицелия. При этом наиболее жизнеспособными оказались грибные патогены, относящиеся к группе темнопигментных, наделенные рядом защитных свойств, которые смогли приспособиться к действию бактериальных токсинов и проявиться на питательной среде (см. рисунок, в).

Выводы. Показатели как внутренней (эндофитной), так и внешней (эпифитной) микробиоты в значительной степени отражают адаптационные возможности различных видов, форм и сортов яблони. В микробиоте более адаптивных форм преобладали бактерии, относящиеся к сборному виду *Pseudomonas syringae*. Самый высокий их выход наблюдали у гибридной яблони *Malus robusta* – 96,6 %, у сорта Коричное полосатое – 89,3 % и формы 25–8 – 88,7 %, что соответственно на 9,7 %, 2,4 % и 1,8 % выше среднего по выборке. Наименьшую токсическую нагрузку испытывали эти образцы и при тестировании смешанной микробиоты, выход которой у *Malus robusta* не наблюдали (0,0 %), а у формы 25–8 и сорта Коричное полосатое он достигал 5,6 % и 6,2 %, что меньше среднегрупповой на 1,3 % и 0,7 % соответственно.

Показатель отрицательных тестов у образца *Malus robusta* был ниже среднего по всей выборке на 2,8 %, сорта Коричное полосатое – на 1,7 % и формы 25–8 – на 0,5 %. Эти генотипы характеризуются более высокой адаптацией к негативным факторам окружающей среды в отличие от форм 64–143, 54–118 и сорта Слава Мичуринска, у которых процент отрицательных тестов превышал среднегрупповую величину этого показателя соответственно на 1,0 %, 2,0 % и 4,0 %, что свидетельствует об их низкой сопротивляемости токсическому давлению микробиоты.

Проведенные исследования выявили высокий потенциал экологической адаптации у гибридной яблони *Malus robusta*, сорта Коричное полосатое и формы 25–8, которые целесообразно использовать в дальнейшей селекции на устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр им. И. В. Мичурина». Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

Литература.

1. Галиева Г. Ш., Галицкая П. Ю., Селивановская С. Ю. Растительный микробиом: происхождение, состав и функции // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки 2023. Т. 165. С. 231–262.
2. Hassani M. A., Duran P., Hacquard S. Microbial interactions within the plant holobiont // Microbiome. 2018. Vol. 6. No 1. Article 58. URL: <https://microbiomejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40168-018-0445-0> (дата обращения: 09.06.2024). doi: 10.1186/s40168-018-0445-0.

3. Plant–microbiome interactions under a changing world: responses, consequences and perspectives / P. Trivedi, B. D. Batista, K. E. Bazany, et al. // New Phytologist. 2022. Vol. 234. No. 6. P. 1951–1959. doi: 10.1111/nph.18016.
4. Endophytic fungi as direct plant growth promoters for sustainable agricultural production / J. Poveda, D. Eugui, P. Abril-Urias, et al. // Symbiosis. 2021. V. 85. No. 1. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-021-00789-x> (дата обращения: 09.06.2024). doi: 10.1007/s13199-021-00789-x.
5. Innovative technologies of increasing the efficiency of the breeding process of fruit crops / A. N. Yushkov, N. N. Saveleva, V. V. Chivilev, et al. // Achievements of Science and Technology of AICis. 2019. Vol. 33. No. 2. P. 27–30. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10207.
6. Endophytes Increase Fruit Quality with Higher Soluble Sugar production in Honeycrisp Apple (*Malus pumila*) / H. Rho, V. Van Epps, S.-H. Kim, et al. // Microorganisms. 2020. Vol. 8. No. 699. <https://www.mdpi.com/2076-2607/8/5/699> (дата обращения: 09.06.2024). doi: 10.3390/microorganisms8050699.
7. Лыжин А. С., Савельева Н. Н. Полиморфизм сортов яблони по локусам моногенной устойчивости к парше // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020. Т. 181. № 1. С. 64–72. doi: 10.3090/17227-8834-2020-1-64-72.
8. Обеспечение стабильности устойчивости генотипов яблони к грибу *VenturiaInaequalis* (Cooke) Wint. / Н. Н. Савельева, А. Н. Юшков, А. С. Земисов и др. // Биосфера. 2022. № 4. С. 384–386. doi: 10.24855/biosfera.v14i4.696.
9. Induction of abiotic stress tolerance in plants by endophytic microbes / R. Lata, S. Chowdhury, S. K. Gond, et al. // Letters in Applied Microbiology. 2018. Vol. 66. No. 4. P. 268–276. doi: 10.1111/lam.12855.
10. Evaluation of antagonistic activity and mechanisms of endophytic yeasts against pathogenic fungi causing economic crop diseases / P. Khunnamwong, N. Lertwattanasakul, S. Jindamorakot, et al. // Folia Microbiol (Praha). 2020. Vol. 65. No. 3. P. 573–590. doi: 10.1007/s12223-019-00764-6.
11. Endophytic *Bacillus* and *Pseudomonas* spp. Modulate Apple Shoot Growth, Cellular Redox Balance, and Protein Expression Under in Vitro Conditions / I. Tamosiune, G. Staniene, P. Haimi, et al. // Frontiers in Plant Science. 2018. Vol. 9. Article 889. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/plantscience/articles/10.3389/fpls.2018.00889/full> (дата обращения: 09.06.2024). doi: 10.3389/fpls.2018.00889.
12. Самарина Л. С., Маляровская В. И., Рогожина Е. В. и др. Эндофитные микроорганизмы как промоторы роста растений в культуре *in vitro* // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 5. С. 917–927. doi: 10.15389/agrobiology.2017.5.917rus.
13. Lacava P. T., Azevedo J. L. Endophytic Bacteria: A Biotechnological Potential in Agrobiological System // Maheshwari D., Saraf M., Aeron A. (eds) Bacteria in Agrobiological: Crop Productivity. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-37241-4_1 (дата обращения: 09.06.2024). doi: 10.1007/978-3-642-37241-4_1.
14. Endophytic Bacteria Isolated from Common Bean (*Phaseolus vulgaris*) Exhibiting High Variability Showed Antimicrobial Activity and Quorum Sensing Inhibition / R. B. Lopes, L. E. Costa, M. C. Vanetti, et al. // Current Microbiology. 2015. Vol. 71. No. 4. P. 509–516. doi: 10.1007/s00284-015-0879-6.

15. *Natural products from endophytic microorganisms* / G. Strobel, B. Daisy, U. Castillo, et al. // *Journal of Natural Products*. 2004. Vol. 67. P. 257–268. doi: 10.1021/np030397v.
16. Билай В. И. Методы экспериментальной микологии. К.: Наукова думка, 1982. 552 с.
17. Билай В. И. Основы общей микологии. К.: Вища школа, 1989. 392 с.
18. Билай В. И. Микроорганизмы – возбудители болезней растений. К.: Наукова думка, 1988. 550 с.
19. Harrison J. G., Griffin E. A. The diversity and distribution of endophytes across biomes, plant phylogeny and host tissues: how far have we come and where do we go from here? // *Environmental Microbiology*. 2020. Vol. 22. No. 6. P. 2107–2123. doi: 10.1111/1462-2920.14968.
20. Miliute I., Buzaitė O., Gelvonauskienė D. Plant growth promoting and antagonistic properties of endophytic bacteria isolated from domestic apple // *Zemdirbyste-Agriculture*. 2016. Vol. 103. No. 1. P. 77–82. doi: 10.13080/z-a.2016.103.010.
21. Steven B., Huntley R. B., Zeng Q. The influence of flower anatomy and apple cultivar on the apple flower phytobiome // *Phytobiomes Journal*. 2018. Vol. 2. No. 3. P. 171–179. doi: 10.1094/PBIOMES-03-18-0015-R.
22. Isolation and Identification of Potassium-Solubilizing Bacteria from Rhizosphere Soil of Apple Tree / J. Jiang, X. Peng, Z. Yan, et al. // *Chinese Journal of Agrometeorology*. 2017. Vol. 38. No. 11. P. 738–748. doi: 10.3969/j.issn.1000-6362.2017.11.006.

Поступила в редакцию 10.06.2024

После доработки 26.06.2024

Принята к публикации 23.07.2024

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФОМЕСАФЕНА И КЛОМАЗОНА ДЛЯ БОРЬБЫ С СОРНЫМИ РАСТЕНИЯМИ В ПОСАДКАХ КАРТОФЕЛЯ

© 2024 г. А. С. Ткач, А. С. Голубев, кандидат биологических наук,
В. И. Долженко, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
196608, Санкт-Петербург–Пушкин, ш. Подбельского, 3
E-mail: andrew_tka4@mail.ru

Исследования проводили с целью оценки возможности совместного использования в виде баковой смеси гербицидов Нексус, ВР (240 г/л фомесафена) и Трейсер, КЭ (480 г/л кломазона) на картофеле. Работу выполняли в 2022–2023 гг. в условиях Ленинградской области. Схема опыта предусматривала применение препаратов Нексус, ВР и Трейсер, КЭ в следующих регламентах: 1,0 л/га + 0,25 л/га; 1,0 л/га + 0,5 л/га; 1,25 л/га + 0,25 л/га и 1,25 л/га + 0,5 л/га. В качестве эталонов использовали варианты с самостоятельным применением названных гербицидов. Применение баковой смеси гербицидов Нексус, ВР + Трейсер, КЭ устраняет пробелы в спектре применения препаратов по отдельности и позволяет наиболее полно контролировать смешанный тип засоренности, характерный для Северо-Западного региона. При использовании баковой смеси в регламентах 1,0...1,25 л/га + 0,5 л/га масса однолетних двудольных сорных растений снижалась более чем на 75,0%; однолетних злаковых сорных растений – на 88,3%. Использование гербицида Нексус, ВР в чистом виде заметно уступало внесению баковых смесей Нексус, ВР + Трейсер, КЭ (1,0...1,25 л/га + 0,5 л/га) по действию на растения ежовника обыкновенного и мари белой. Основное преимущество баковой смеси перед гербицидом Трейсер, КЭ реализовывалось в отношении действия на растения горца щавелелистного. Снижение конкуренции со стороны сорных растений способствовало сохранению урожая картофеля. В условиях нормального увлажнения сбор клубней после использования баковой смеси гербицидов Нексус, ВР и Трейсер, КЭ (31,0...35,8 т/га) достоверно ($HCP_{05} = 5,2$ т/га) превосходил величину этого показателя в вариантах с применением препаратов в чистом виде на 7,7...18,3 т/га.

EFFICACY MIXTURE OF FOMESAFEN AND CLOMAZONE FOR WEED CONTROL IN POTATO

A. S. Tkach, A. S. Golubev, V. I. Dolzhenko

All-Russian Institute of Plant Protection,
196608, Sankt-Peterburg–Pushkin, sh. Podbel'skogo, 3
E-mail: andrew_tka4@mail.ru

In 2022–2023 in Leningrad region at potato Liga variety trials were conducted to evaluate mixture of herbicides Nexus (240 g/l of fomesafen) and Traser (480 g/l of clomazone) in the following schedules: 1.0 l/ha + 0.25 l/ha; 1.0 l/ha + 0.5 l/ha; 1.25 l/ha + 0.25 l/ha and 1.25 l/ha + 0.5 l/ha. The use of herbicides in their pure form acted as standard. The experiments were carried out in accordance with the methods of herbicide registration trials (2013; 2020). The use of tank-mix of herbicides Nexus + Traser made it possible to most fully control of mixed type of weediness, typical for the North-Western region. When applying a tank-mix herbicides in the regulations of 1.0...1.25 l/ha + 0.5 l/ha, the decrease in the weight of annual dicotyledonous weeds was at a level exceeding 75.0%; the decrease in the weight of annual cereal weeds reached 88.3%. The use of the herbicide Nexus in its pure form was most noticeably inferior to the application of tank-mix of herbicides Nexus + Traser (1.0...1.25 l/ha + 0.5 l/ha) in terms of effect on plants of barnyard grass (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv.) and baconweed (*Chenopodium album* L.). The main advantage of a tank-mix of herbicides over the herbicide Traser in its pure form was realized in relation to the effect on pale persicaria (*Polygonum lapathifolium* L.). Reduced competition from weeds contributed to the preservation of potato yields of Liga variety cultivated in the North-Western region. Under normal moisture conditions, the potato yield after using a tank-mix of herbicides Nexus and Traser (31.0...35.8 t/ha) significantly exceeded the crop yield after using these herbicides in their pure form (17.5...23.3 t/ha).

Ключевые слова: гербициды, кломазон, фомесафен, картофель, сорные растения, урожайность.

Keywords: herbicides, clomazone, fomesafen, potato, weeds, yield.

Картофель – крупнейшая по потреблению продовольственная культура в мире после риса, пшеницы и кукурузы [1, 2, 3]. По данным Росстата, посевные площади картофеля в хозяйствах всех категорий в 2023 году составляли около 1,07 млн га [4].

В течение периода вегетации картофель подвергается влиянию большого количества различных биотических и абиотических факторов, которое может приводить к серьезным потерям урожая [5, 6, 7]. Среди биотических факторов, оказывающих отрицательное воздействие на растения картофеля, ведущую роль играют сорные растения [8, 9]. Без своевременной борьбы с ними снижение урожайности культуры может превышать 50% [10]. Картофель, как и многие другие культуры, очень восприимчив к засоренности на ранних стадиях

развития. По результатам исследований многих авторов критический период для реализации мероприятий по защите от сорных растений не превышает 1,5 месяцев после появления всходов [11, 12, 13]. Применение гербицидов до появления всходов культуры позволяет значительно снизить конкуренцию со стороны сорных растений и наиболее эффективно и предпочтительно с этой группой вредных организмов [14, 15, 16].

На сегодняшний день на посадках картофеля разрешено использование около ста наименований гербицидов. В их состав входит много разнообразных действующих веществ для различных способов применения: до посадки – глифосат (общестребительный препарат); до всходов культуры – прометрин, метрибузин, флуфенацет + метрибузин, дикват, просульфокارب (против

однолетних двудольных и однолетних злаковых сорных растений); до всходов культуры по вегетирующим сорнякам или в период вегетации культуры – МЦПА (против однолетних двудольных сорных растений); в период вегетации – клетодим, клетодим + галоксифоп-Р-метил, квизалофоп-П-тефурил, флуазифоп-П-бутил, хизалофоп-П-этил, циклоксимид (против однолетних и многолетних злаковых сорняков) и римсульфурон (против многолетних злаковых, однолетних злаковых и некоторых двудольных сорных растений) [17]. При этом, несмотря на достаточно обширный ассортимент препаратов, производители растениеводческой продукции во всем мире столкнулись с рядом проблем, приводящих к снижению эффективности защитных мероприятий. Во-первых, в последние годы выявляются все больше резистентных к использованию гербицидов видов сорных растений (например, биотипы мари белой и паслена черного, устойчивые к применению метрибузина и др.) [18]; во-вторых, распространение отдельных видов сорных растений на новые территории, в особенности продвижение южных видов в северные регионы [19].

Важное направление совершенствования ассортимента гербицидов для решения указанных проблем – расширение спектра защищаемых культур известными и хорошо зарекомендовавшими себя в производстве препаратами.

Цель исследования – оценка возможности совместного использования баковой смеси гербицидов Трейсер, КЭ (480 г/л кломазона) и Нексус, ВР (240 г/л фомесафена) для защиты посадок картофеля от сорных растений в условиях Ленинградской области.

Методика. Кломазон (класс изоксазолидиноны) – ингибитор биосинтеза хлорофилла и каротиноидов в растениях, который используется для борьбы с однолетними двудольными и злаковыми сорными растениями [20]. Препараты на его основе широко применяют для защиты обширного спектра сельскохозяйственных культур, но до недавнего времени не были разрешены для использования на посадках картофеля в Российской Федерации.

Фомесафен (класс дифениловые эфиры) – ингибитор фермента протопорфириногенаоксидазы, участвующего в биосинтезе хлорофилла в растениях [21]. Гербициды на его основе были разрешены для применения в нашей стране на посадках сои, но никогда ранее не использовались для защиты картофеля.

На предварительном этапе при изучении эффективности и безопасности названных препаратов по отдельности было выявлено, что использование кломазона не всегда оказывает существенное влияние на некоторые двудольные сорняки (в частности, горец щавелелистный). Применение фомесафена, в свою очередь, неэффективно в отношении ежовника обыкновенного [22, 23]. Следовательно, объединив гербициды на основе этих действующих веществ в составе баковой смеси, можно проверить рабочую гипотезу о том, что они компенсируют недостатки самостоятельного применения.

Исследования выполняли в соответствии с общепринятой методикой по изучению гербицидов в сельском хозяйстве [24] в 2022–2023 гг. на опытном поле ФГБНУ ВИЗР. Почва опытного участка – дерново-подзолистая, суглинистая по механическому составу с содержанием гумуса 3...4%, кислотность (рН) составляла 6,5; содержание подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) составляло соответственно 19,8 мг/100 г почвы и 20 мг/100 г почвы. Размер опытных делянок составлял 12,5 м², размещали их рендомизированно в четырех повторностях.

Эксперименты проводили на посадках картофеля сорта Лига. Предшественником в 2022 г. был картофель, в 2023 г. – пшеница яровая. Подготовка почвы предусматривала дискование, вспашку, культивацию и нарезку борозд. Перед высадкой клубней в почву вносили 200 кг/га азотоски. Норма посадки картофеля составляла 30 ц/га, ширина междурядий – 70 см.

Гербициды вносили с использованием ручного ранцевого опрыскивателя «Резистент 3610» по схеме, включающей в себя использование баковой смеси гербицидов Нексус, ВР + Трейсер, КЭ в следующих нормах применения: 1,0 л/га + 0,25 л/га; 1,0 л/га + 0,5 л/га; 1,25 л/га + 0,25 л/га и 1,25 л/га + 0,5 л/га. В качестве эталонов использовали отдельные применения гербицидов: Нексус, ВР (1,0 и 1,25 л/га) и Трейсер, КЭ (0,25 и 0,5 л/га). Расход рабочей жидкости составлял 200 л/га.

Во время проведения опытов в посадках картофеля встречались сорные растения, широко распространенные на территории Ленинградской области: из группы однолетних злаковых сорняков – *Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv. (ежовник обыкновенный); из группы малолетних двудольных сорняков – *Fallopia convolvulus* (L.) A. Love (гречишка вьюнковая), *Stellaria media* (L.) Vill. (звездчатка средняя) *Chenopodium album* L. (марь белая), *Polygonum lapathifolium* L. (горец развесистый), *Spergula arvensis* L. (торица полевая), *Galinsoga parviflora* Cav. (галинсога мелкоцветная) и *Erysimum cheiranthoides* L. (желтушник левкойный).

Учеты сорных растений проводили на скользящих учетных площадках с использованием 4 рамок площадью 0,25 м² в три срока: через 1 месяц после обработки; через 1,5 месяца после обработки и перед уборкой урожая культуры. При выполнении первых двух учетов определяли количество сорных растений и их массу, а при последнем – только количество сорняков.

Вегетационный период 2022 г. характеризовался нетипичными погодными условиями – температура воздуха была незначительно выше среднемесячной, но при этом отмечали выпадение большого количества осадков (на 40 % выше, по сравнению со среднемесячным). Метеоусловия 2023 г. в целом не отличались от среднемесячных, однако в начале летнего периода температура воздуха была пониженной (рис. 1).

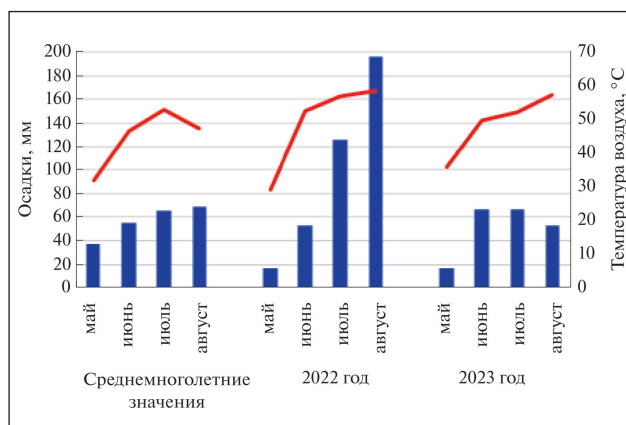


Рис. 1. Метеорологические условия в период вегетационных сезонов 2022–2023 гг.: — сумма осадков, мм; — температура воздуха, °C.

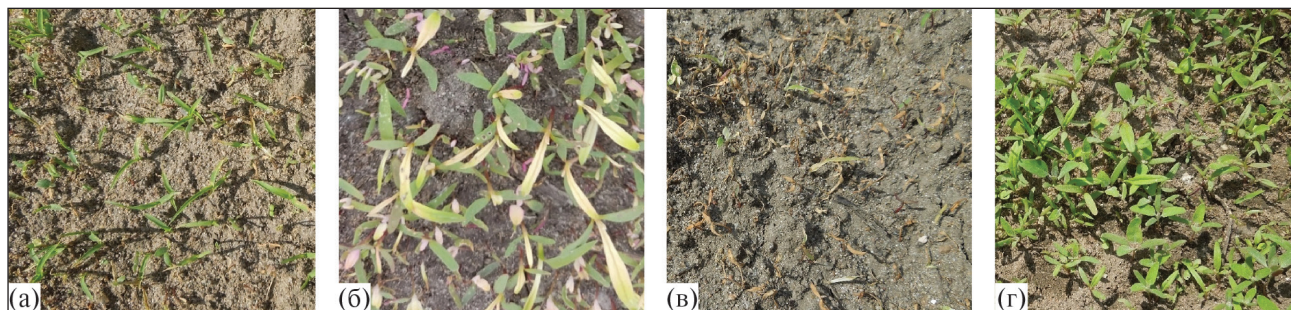


Рис. 2. Визуальные признаки действия гербицидов на сорные растения через 4 дня после проведения обработки (2022 г.): а – Нексус, ВР (1,25 л/га); б – Трейсер, КЭ (0,5 л/га); в – баковая смесь Нексус, ВР + Трейсер, КЭ (1,25 л/га + 0,5 л/га); г – контроль.

Эффективность действия гербицидов определяли по отношению к необработанному контролю по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = (A - B) / A \times 100,$$

где $\mathcal{E}$ – эффективность действия гербицида, %; А – количество сорных растений в контроле, экз./м²; Б – количество сорных растений в варианте с гербицидом, экз./м².

Учет урожая клубней картофеля выполняли вручную с учетной площади 3,5 м² на каждой делянке опыта. Статистическую обработку полученных данных осуществляли методом дисперсионного анализа.

Результаты и обсуждение. На опытном участке перед проведением обработки гербицидами в оба года исследований отмечали высокий уровень засоренности посадок картофеля, который достигал 554 экз./м². Более 80% от этого количества составляли однолетние двудольные сорные растения. Остальная часть включала однолетние злаковые сорняки, представителем которых был ежовник обыкновенный.

В 2022 г. из-за достаточного увлажнения и высоких температур воздуха посадки картофеля были засорены представителями как малолетних двудольных (гречишка выюнковая, звездчатка средняя, марь белая, горец развесистый, торица полевая, галинсога мелкоцветная и желтушник левкойный), так и однолетних злаковых (ежовник обыкновенный) сорных растений. Погодные условия 2023 г. характеризовались более низкими, по сравнению со среднемноголетними, температурами воздуха, что приводило к замедлению развития растений

ежовника обыкновенного, что, в свою очередь, сопровождалось зарастанием контроля марью белой. При этом в посадках отсутствовали звездчатка средняя и галинсога мелкоцветная.

В 2022 г. все сорные растения, встречавшиеся на опытном участке перед применением гербицидов, находились в фазе всходов. В 2023 г. однолетние двудольные сорные растения ко времени проведения обработки достигали фазы двух настоящих листьев (мутовки у растений торицы полевой), а растения ежовника обыкновенного – фазы всходов.

Первые признаки воздействия гербицидов на сорные растения отмечали через 3...4 дня после обработки. В вариантах с применением гербицида Нексус, ВР они заключались в появлении некрозов, деформации и усыхании двудольных сорных растений; у однолетних злаковых видов отмечали только слабые ожоги кончиков листьев. Использование гербицида Трейсер, КЭ вызывало осветление (побеление), скручивание и увядание сорных растений. На делянках, обработанных баковой смесью гербицидов, наблюдали осветление, появление некрозов, скручивание, усыхание и гибель сорных растений (рис. 2).

В 2022 г. засоренность посевов в варианте с внесением 1,0 л/га гербицида Нексус, ВР в чистом виде через 30 дней после обработки составляла 659 экз./м² против 887 экз./м² в контроле (табл. 1), через 45 дней после обработки она увеличивалась до 1121 экз./м² (против 1338 экз./м² в контроле). Таким образом, снижение общей численности сорных растений в течение 1,5 месяцев после применения гербицида не превышало

Табл. 1. Влияние баковой смеси гербицидов Нексус, ВР и Трейсер, КЭ на общую засоренность посадок картофеля (2022–2023 гг.)

Вариант опыта	30 дней после обработки			45 дней после обработки			Перед уборкой урожая, экз./м²
	количество, экз./м²	масса, г/м²		количество, экз./м²	масса, г/м²		
		ОДС*	ОЗС*		ОДС	ОЗС	
2022 г.							
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,0 л/га + 0,25 л/га	368 ^а	271 ^а	302 ^{аб}	227 ^а	1203 ^а	1142 ^{абг}	134 ^{аг}
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,0 л/га + 0,5 л/га	184 ^б	149 ^а	185 ^{аб}	132 ^б	873 ^а	1026 ^{абг}	74 ^б
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,25 л/га + 0,25 л/га	318 ^{ав}	339 ^{ав}	393 ^а	313 ^а	1799 ^а	2292 ^{авг}	118 ^{ад}
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,25 л/га + 0,5 л/га	133 ^г	156 ^а	64 ^б	126 ^б	904 ^а	1182 ^{абг}	73 ^б
Трейсер, КЭ – 0,25 л/га	522 ^а	857 ^б	211 ^{аб}	531 ^г	3931 ^б	565 ^б	269 ^а
Трейсер, КЭ – 0,5 л/га	294 ^а	500 ^а	104 ^б	345 ^а	3043 ^б	385 ^б	145 ^г
Нексус, ВР – 1,0 л/га	659 ^с	345 ^{ав}	1471 ^а	1121 ^а	1338 ^а	6158 ^{аг}	108 ^а
Нексус, ВР – 1,25 л/га	674 ^с	385 ^{ав}	2096 ^а	1193 ^с	824 ^а	5151 ^г	72 ^б
Контроль	887 ^ж	2097 ^б	464 ^а	1338 ^с	3900 ^б	2028 ^{абгг}	474 ^с
2023 г.							
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,0 л/га + 0,25 л/га	173 ^а	573 ^{аг}	146 ^а	143 ^а	1318 ^{аг}	537 ^{аг}	47 ^а
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,0 л/га + 0,5 л/га	105 ^б	286 ^{аб}	141 ^{абв}	87 ^б	963 ^{аб}	461 ^{абг}	25 ^б
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,25 л/га + 0,25 л/га	108 ^б	408 ^{аб}	217 ^а	149 ^а	1019 ^{абг}	385 ^{абг}	46 ^а
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,25 л/га + 0,5 л/га	80 ^в	164 ^б	149 ^{абв}	81 ^б	521 ^б	337 ^{абг}	33 ^а
Трейсер, КЭ – 0,25 л/га	423 ^г	1908 ^{ад}	90 ^б	350 ^а	2768 ^а	220 ^{бг}	123 ^г
Трейсер, КЭ – 0,5 л/га	280 ^а	957 ^{гд}	59 ^а	186 ^г	1373 ^а	58 ^а	71 ^а
Нексус, ВР – 1,0 л/га	283 ^а	1724 ^{аг}	191 ^{абв}	286 ^а	2998 ^{агд}	755 ^г	106 ^г
Нексус, ВР – 1,25 л/га	262 ^а	1061 ^{гд}	323 ^а	217 ^с	1624 ^г	719 ^г	86 ^с
Контроль	719 ^с	3124 ^с	167 ^а	626 ^ж	4316 ^а	450 ^г	356 ^ж

*ОДС – однолетние двудольные сорные растения; ОЗС – однолетние злаковые сорные растения; различные строчные буквы показывают наличие значимых различий с учетом ошибок средних.

Табл. 2. Влияние баковой смеси гербицидов Нексус, ВР и Трейсер, КЭ на преобладавшие виды сорных растений в посадках картофеля (2022–2023 гг.)

Вариант опыта	Год	Снижение количества сорных растений (средние значения по датам учетов), % к контролю			
		<i>Echinochloa crusgalli</i>	<i>Chenopodium album</i>	<i>Polygonum lapathifolium</i>	<i>Fallopia convolvulus</i>
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,0 л/га + 0,25 л/га	2022	55,3	72,3	87,7	92,3
	2023	29,6	84,6	95,8	93,8
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,0 л/га + 0,5 л/га	2022	75,7	89,9	80,6	92,9
	2023	52,9	91,3	99,3	97,9
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,25 л/га + 0,25 л/га	2022	59,2	74,2	85,8	88,6
	2023	41,7	87,1	89,7	94,0
Нексус, ВР + Трейсер, КЭ – 1,25 л/га + 0,5 л/га	2022	80,9	91,0	86,6	96,0
	2023	53,4	92,8	94,2	93,8
Трейсер, КЭ – 0,25 л/га	2022	80,9	50,7	0,5	78,4
	2023	44,2	52,0	24,4	65,7
Трейсер, КЭ – 0,5 л/га	2022	92,0	85,3	2,2	90,5
	2023	68,4	73,4	39,1	69,4
Нексус, ВР – 1,0 л/га	2022	22,9	75,5	92,6	70,9
	2023	9,4	65,3	93,6	96,3
Нексус, ВР – 1,25 л/га	2022	26,1	84,7	96,8	86,4
	2023	7,5	78,2	85,9	97,9
Контроль*	2022	296,0	403,3	138,3	26,3
	2023	63,3	435,7	42,7	14,0

*в контроле представлены данные о количестве сорных растений, экз./м².

25,7%. Снижение массы однолетних двудольных сорных растений было более значительным и составляло от 65,7 до 83,5%. В 2023 г. эффективность этого препарата в аналогичной норме по воздействию на общее количество сорных растений была выше, чем в предыдущем году (54,3...70,2%), но по влиянию на массу однолетних двудольных сорных растений ниже (35,9...38,9%). Использование 1,25 л/га гербицида Нексус, ВР в чистом виде воздействовало на общее количество сорных растений аналогично использованию препарата в меньшей норме, но эффективнее снижало массу однолетних двудольных сорных растений.

Применение 0,25 л/га гербицида Трейсер, КЭ в чистом виде в оба года исследований продемонстрировала невысокую эффективность по воздействию, как на общее количество сорных растений (до 65,4%), так и на массу однолетних двудольных видов (до 59,1%). Влияние обработки на массу однолетних злаковых сорных растений было выше (ее уменьшение достигало 72,1%). Двукратное повышение нормы применения увеличивало эффективность гербицида в среднем на 17...20%.

Наиболее сильное (на уровне 84,6...90,7%) снижение общей засоренности посадок картофеля в оба года исследований отмечено при внесении баковой смеси 1,25 л/га гербицида Нексус, ВР и 0,5 л/га гербицида Трейсер, КЭ. При этом масса однолетних двудольных сорных растений снижалась на 76,8...94,8%, однолетних злаковых сорных растений в 2022 г. – на 86,2%. Достоверно судить об эффективности гербицидов против однолетних злаковых сорных растений в 2023 г. затруднительно в связи с их слабым развитием и неравномерным распространением по территории опытного участка.

Эффективность применения баковой смеси с меньшей нормой гербицида Нексус, ВР (1,0 л/га) и такой же нормой препарата Трейсер, КЭ (0,5 л/га) была ниже, чем в лучшем варианте, в среднем на 3%, а в остальных вариантах с баковой смесью гербицидов – более чем на 8% (табл. 1).

Лучшее очищение посадок картофеля от сорных растений после использования баковой смеси гербицидов, по сравнению с одиночным применением препарата Трейсер, КЭ, достигалось благодаря более сильному подавлению растений горца щавелелистного (препарат Трейсер, КЭ практически не действовал на растения этого вида), мари белой (в среднем на 20%) и фаллопии выюнковой (в среднем на 18%).

В сравнении с одиночным использованием гербицида Нексус, ВР, применение баковой смеси препаратов эффективнее уничтожало преобладавшую на опытном участке марь белую (в среднем на 10%) и ежовник обыкновенный (табл. 2, рис. 3).

Очищение посадок картофеля от сорных растений с использованием гербицидов способствовало значительному повышению урожайности культуры. Наибольшая величина этого показателя отмечена при использовании баковой смеси 1,25 л/га гербицида Нексус, ВР с 0,5 л/га препарата Трейсер, КЭ: в 2022 г. – 20,3 т/га, в 2023 г. – 35,8 т/га. В варианте с баковой смесью 1,0 л/га гербицида Нексус, ВР и 0,5 л/га гербицида Трейсер, КЭ она была ниже соответственно на 3,7 и 1,3 т/га. Использование 1,25 л/га гербицида Нексус, ВР в чистом виде в 2022 г. не обеспечивало достоверную прибавку урожая культуры к контролю в связи с зарастанием посадок однолетними злаковыми сорными растениями (рис. 4).



Рис. 3. Действие гербицидов и их баковой смеси на засоренность посадок картофеля через 30 дней после обработки (2023 г.): а – Нексус, ВР (1,25 л/га); б – Трейсер, КЭ (0,5 л/га); в – баковая смесь Нексус, ВР + Трейсер, КЭ (1,25 л/га + 0,5 л/га); г – контроль.

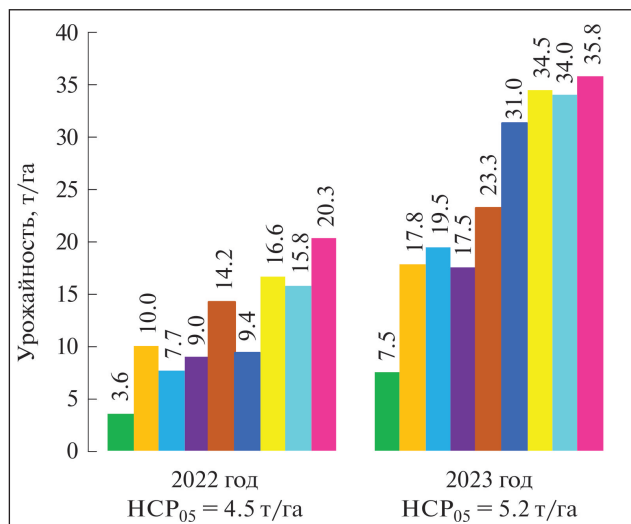


Рис. 4. Урожайность картофеля сорта Лига после применения гербицидов в чистом виде и их баковой смеси (2022–2023 гг.), т/га: ■ – контроль; ■ – Некус, BP – 1.0 л/га; ■ – Некус, BP – 1.25 л/га; ■ – Трейсер, КЭ – 0.25 л/га; ■ – Трейсер, КЭ – 0.5 л/га; ■ – Некус, BP + Трейсер, КЭ – 1.0 л/га+0.25 л/га; ■ – Некус, BP + Трейсер, КЭ – 1.0 л/га+0.5 л/га; ■ – Некус, BP + Трейсер, КЭ – 1.25 л/га+0.25 л/га; ■ – Некус, BP + Трейсер, КЭ – 1.25 л/га+0.5 л/га.

Выводы. Обработка баковой смесью гербицидов Некус, BP + Трейсер, КЭ устраняла пробелы в спектре применения препаратов в чистом виде. При ее использовании в регламентах 1,0...1,25 л/га + 0,5 л/га снижение массы однолетних двудольных сорных растений превышало 75%; массы однолетних злаковых сорных растений – достигало 86%.

Использование баковой смеси гербицидов Некус, BP и Трейсер, КЭ, в сравнении с одиночным применением гербицида Некус, BP, было более эффективным против ежовника обыкновенного и мари белой; в сравнении с одиночным применением гербицида Трейсер, КЭ – против горца щавелелистного.

В условиях нормального увлажнения урожайность картофеля после использования баковой смеси гербицидов Некус, BP и Трейсер, КЭ (31,0...35,8 т/га) достоверно ($НСР_{05} = 5,2$ т/га) превосходила величину этого показателя в вариантах с применением препаратов в чистом виде на 7,7...18,3 т/га. Использование изученной баковой смеси препаратов для защиты посадок картофеля может быть рекомендовано в соответствии с регламентами применения гербицида Некус, BP на картофеле из «Государственного каталога пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации», после получения соответствующего Свидетельства о регистрации на этот препарат.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

Литература.

1. Progress of potato staple food research and industry development in China / Z. Hong, X. U. Fen, W. U. Yu, et al. // *Journal of Integrative Agriculture*. 2017. Vol. 16. No. 12. P. 2924–2932. doi: 10.1016/S2095-3119(17)61736-2.
2. Comprehensive Environmental Assessment of Potato as Staple Food Policy in China / B. Gao, W. Huang, X. Xue, et al. // *International journal of environmental research and public health*. 2019. Vol. 16. No. 15. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6695635/> (дата обращения 20.05.2024). doi: 10.3390/ijerph16152700.
3. The Potato of the Future: Opportunities and Challenges in Sustainable Agri-food Systems / A. Devaux, J. P. Goffart, P. Kromann, et al. // *Potato Research*. 2021. Vol. 64. P. 681–720. doi: 10.1007/s11540-021-09501-4.
4. Посевные площади Российской Федерации в 2023 году // Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4%D1%81%D1%85_2023.xlsx (дата обращения 20.05.2024).
5. Nasir M. W., Toth Z. Effect of Drought Stress on Potato Production: A Review // *Agronomy*. 2022. Vol. 12. No. 3. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/3/635> (дата обращения 20.05.2024). doi: 10.3390/agronomy12030635.
6. Germplasm, Breeding, and Genomics in Potato Improvement of Biotic and Abiotic Stresses Tolerance / J. K. Tiwari, T. Buckseth, R. Zinta, et al. // *Frontiers in plant science*. 2022. Vol. 13. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.805671/full> (дата обращения 20.05.2024). doi: 10.3389/fpls.2022.805671.
7. Resistance to biotic and abiotic stress in potato: the origin of the genes and corresponding molecular markers / S. Islam, J. Li, M. A. Rahman, et al. // *Phytopathology Research*. 2024. Vol. 6. URL: <https://phytopatholres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s42483-023-00222-9> (дата обращения 20.05.2024). doi: 10.1186/s42483-023-00222-9.
8. Chauhan B. S. Grand Challenges in Weed Management // *Frontiers in Agronomy*. 2020. Vol. 1. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fagro.2019.00003/full> (дата обращения 20.05.2024). doi: 10.3389/fagro.2019.00003.
9. Potential potato yield loss from weed interference in the United States and Canada / Z. A. Ganie, N. Soltani, A. G. McKenzie-Gopsill, et al. // *Weed Technology*. 2023. Vol. 37. No. 1. P. 21–24. doi: 10.1017/wet.2023.5.
10. Weed Control Efficacy, Growth and Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.) as Affected by Alternative Weed Control Methods / S. A. Shehata, H. F. Abouziena, K. F. Abdelgawad, et al. // *Potato Research*. 2019. Vol. 62. P. 139–155. doi: 10.1007/s11540-018-9404-1.
11. Majrashi A. A. Preliminary assessment of weed population in vegetable and fruit farms of Taif, Saudi Arabia // *Brazilian Journal of Biology*. 2022. Vol. 82. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35239821/> (дата обращения 20.05.2024). doi: 10.1590/1519-6984.255816.
12. Оказова З. П. Критические периоды вредоносности сорных растений в посадках картофеля // *International agricultural journal*. 2022. № 6. С. 891–900. doi: 10.55186/25876740_2022_6_6_7.
13. Hutchinson P. J. S. Hairy Nightshade Critical Interference Period in Potatoes // *Weed Technology*. 2014. Vol. 28. No. 3. P. 543–551. doi: 10.1614/WT-D-13-00160.1.
14. Paul S. K., Mazumder S., Naidu R. Herbicidal weed management practices: History and future prospects

- of nanotechnology in an eco-friendly crop production system // *Heliyon*. 2024. Vol. 10. URL: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)02558-1?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024025581%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)02558-1?returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024025581%3Fshowall%3Dtrue) (дата обращения 10.05.2024). doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26527.
15. Towards reducing chemical usage for weed control in agriculture using UAS imagery analysis and computer vision techniques / R. Sapkota, J. Stenger, M. Ostlie, et al. // *Scientific reports*. 2023. Vol. 13. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-33042-0> (дата обращения 11.05.2024). doi: 10.1038/s41598-023-33042-0.
16. Weeds control with herbicides applied in pre-emergence in potato cultivation = Controle de plantas daninhas com herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura da batata / L. F. Fonseca, J. M. Q. Luz, I. N. Duarte, et al. // *Bioscience Journal*. 2018. Vol. 34. No. 2. P. 279–286. doi: 10.14393/BJ-v34n2a2018-38261.
17. Справочник пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М.: МСХ, 2024. 881 с.
18. Heap I. The International Herbicide-Resistant Weed Database. URL: <http://www.weedscience.org/Pages/SOASummary.aspx> (дата обращения 22.05.24).
19. Эколого-географическое обоснование формирования видового состава сорных растений на территории Республики Мордовии / Н. Н. Лунева, Е. Н. Мысник, Д. В. Бочкарев и др. // *Аграрный научный журнал*. 2017. № 6. С. 25–30.
20. Ferhatoglu Y., Barrett V. Studies of clomazone mode of action // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2006. Vol. 85. No. 1. P. 7–14. doi: 10.1016/j.pestbp.2005.10.002.
21. Fomesafen Herbicide // Minnesota Department of Agriculture. URL: <https://www.mda.state.mn.us/fomesafen-herbicide#:~:text=Mode%20of%20Action,chlorophyll%20and%20heme%20biosynthesis4> (дата обращения 22.05.2024).
22. Голубев А. С., Ткач А. С. Чувствительность сорных растений к внесению фомесафена до всходов картофеля // *Защита и карантин растений*. 2022. № 7. С. 26–28. doi: 10.47528/1026\$8634_2022_7_26.
23. Голубев А. С., Ткач А. С. Эффективность использования кломазона для защиты картофеля от сорной растительности // *Стратегия, приоритеты и достижения в развитии земледелия и селекции сельскохозяйственных растений в Беларуси: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию. Жодино: УП «ИВЦ Минфина», 2022. С. 40–42.*
24. Голубев А. С., Маханькова Т. А. Методические рекомендации по проведению регистрационных испытаний гербицидов. СПб.: ООО «АльфаМиг», 2020. 80 с.

Поступила в редакцию 17.06.2024

После доработки 20.07.2024

Принята к публикации 06.08.2024

Зоотехния и ветеринария

УДК 636.32/38.082

DOI 10.31857/S2500262724040093 EDN FLEFUI

СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОДУКТИВНОСТИ ОВЕЦ (*OVIS ARIES*) ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ПОРОДЫ ХАНГИЛЬСКОГО ТИПА

© 2024 г. Т. Н. Хамируев, кандидат сельскохозяйственных наук

Научно-исследовательский институт ветеринарии Восточной Сибири –
филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН,
672010, Забайкальский край, Чита, ул. Кирова, 49
E-mail: tnk0979@mail.ru

Исследование проводили с целью изучения селекционно-генетических параметров продуктивности тонкорунных овец забайкальской породы хангильского типа (ЗТХ) для повышения эффективности селекционного процесса. Определяли взаимосвязи между селекционируемыми признаками (живая масса, настриг шерсти) и экстерьерно-конституциональными особенностями методом корреляционно-регрессионного анализа. Из оцениваемых показателей наибольшей вариабельностью выделялись масса тела (11,9...19,4%), настриг шерсти (9,9...11,1%) и широтные линейные промеры (8,2...12,4%). По индексам телосложения бараны отличались от овцематок большей длинноногостью, лучшим развитием груди, более крепким костяком, тогда как овцематки характеризовались более растянутым, сбитым и массивным телом с лучшей развитой задней частью. Живая масса и настриг шерсти у баранов были более тесно сопряженными с линейными промерами, чем у овцематок. При этом живая масса как у самцов, так и у самок сильнее коррелировала с обхватом груди (соответственно $+0,916$, $p < 0,001$ и $+0,740$, $p < 0,001$), настриг шерсти – с глубиной груди у баранов ($+0,737$, $p < 0,001$) и шириной в маклоках у овцематок ($+0,469$, $p < 0,001$). У баранов ЗТХ при увеличении промера ширины в маклоках на 1 см можно прогнозировать повышение живой массы на 5,50 кг ($r = 0,839$; $p < 0,001$), у овцематок при увеличении обхвата груди на 1 см – на 1,04 кг ($r = 0,740$; $p < 0,001$). Анализ парных уравнений регрессии свидетельствует, что живая масса овец ЗТХ в большей степени обусловлена линейным промером обхвата груди: у баранов – 83,9%, у овцематок – 54,7%, на влияние остальных факторов приходится 16,1 и 45,3% соответственно. При этом в моделях многофакторной регрессии 94,3 и 74,7% изменения массы тела объясняется воздействием комплекса линейных промеров, а оставшаяся доля отводится на влияние других факторов.

SELECTION AND GENETIC PARAMETERS OF PRODUCTIVITY OF SHEEP (*OVIS ARIES*) OF THE TRANS-BAIKAL BREED OF THE KHANGIL TYPE

T. N. Khamiruev

Research Institute of Veterinary Science of Eastern Siberia –
Branch of Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences,
672010, Zabaykalsky kray, Chita, ul. Kirova, 49
E-mail: tnk0979@mail.ru

The study was conducted to investigate the selection and genetic parameters of productivity of fine-wool sheep of the Trans-Baikal breed of the Khangil type in order to increase the efficiency of the selection process. The relationships between the selected traits (live weight, wool yield) and the exterior and constitutional features were determined using the method of correlation and regression analysis. Of the assessed parameters, the greatest variability was observed for body weight (11.9...19.4%), wool yield (9.9...11.1%) and latitudinal linear measurements (8.2...12.4%). According to the constitution indices, rams differed from ewes by greater leg length, better chest development, stronger skeleton, while ewes were characterized by a more stretched, compact and massive body with a better developed back part. Live weight and wool yield of rams were more closely associated with linear measurements than those of ewes. Live weight of both males and females correlated more strongly with chest girth (respectively $+0.916$, $p < 0.001$ and $+0.740$, $p < 0.001$), wool yield – with chest depth in rams ($+0.737$, $p < 0.001$) and hip width in ewes ($+0.469$, $p < 0.001$). In Trans-Baikal breed of the Khangil type rams, with an increase in the hip width measurement by 1 cm, it is possible to predict an increase in live weight by 5.50 kg ($r = 0.839$; $p < 0.001$), in ewes with an increase in chest girth by 1 cm – by 1.04 kg ($r = 0.740$; $p < 0.001$). The analysis of paired regression equations shows that the live weight of Trans-Baikal breed of the Khangil type ewes is largely determined by the linear measurement of the chest girth: in rams – 83.9%, in ewes – 54.7%, the influence of other factors accounts for 16.1 and 45.3%, respectively. At the same time, in the multivariate regression models, 94.3 and 74.7% of the change in body weight is explained by the effect of a complex of linear measurements, and the remaining share is attributed to the influence of other factors.

Ключевые слова: овцы, забайкальская порода, хангильский тип, селекционно-генетические параметры, живая масса, настриг шерсти, корреляция, регрессия, дисперсия.

Keywords: sheep, Trans-Baikal breed, Khangil type, selection and genetic parameters, live weight, wool clipping, correlation, regression, dispersion.

В племенном животноводстве результаты отбора во многом зависят от комплекса признаков и характера их взаимосвязей, а основой создания новых селекционных форм и совершенствования пород служит перестройка корреляционных систем. При этом точная оценка селекционно-генетических параметров и умелое использование таких систем имеют решающее значение для успешной селекционной работы [1].

В современных условиях для отбора животных с целью улучшения их продуктивных качеств необходимо использовать новые параметры экстерьера, более точно характеризующие ценность породы и определяющие ее изменчивость в условиях высокой фенотипической однородности [2]. Например, по результатам исследований с применением метода анализа главных компонент для прижизненной оценки мясной продуктивности овец

породы джалгинский меринос было предложено использовать показатели обхвата плеча, предплечья и бедра, для овец северокавказской породы – толщину мышечной и жировой тканей в области бедра, а также обхвата предплечья, которые показали высокую значимость [3, 4].

Масса и размеры тела – важнейшие параметры отбора для повышения продуктивных качеств сельскохозяйственных животных [5, 6]. Масса тела животных в отличие от линейных промеров, на которые паратипические факторы не оказывают существенного влияния, в большей степени зависит от условий кормления и содержания. В связи с этим селекцию по живой массе эффективнее вести не напрямую, а во взаимосвязи с морфометрическими показателями [7].

Однако коэффициент корреляции не показывает величину изменения зависимого признака при изменении независимой переменной на единицу измерения. В связи с этим для анализа результатов селекции и прогнозирования развития одного признака при отборе по другому необходимо определение коэффициентов регрессии, которые позволяют прогнозировать увеличение или уменьшение оцениваемого признака при изменении других на определенную величину в пределах изучаемых популяций животных [8].

Корреляционно-регрессионный анализ – доступный метод для построения регрессионных моделей прогноза продуктивных качеств сельскохозяйственных животных, который может быть использован при разработке селекционных программ.

Цель исследований – изучить селекционно-генетические параметры продуктивности тонкорунных овец забайкальской породы хангильского типа для повышения эффективности селекционного процесса.

Методика. Материалом для исследований служили полновозрастные (3...4 года) бараны (σ , $n = 29$) и овцематки (φ , $n = 71$) забайкальской породы хангильского типа (ЗТХ), отобранные методом случайной выборки в условиях племенного репродуктора ООО «Туншэ» Агинского района Забайкальского края. Их живую массу определяли путем индивидуального взвешивания на электронных весах с точностью до 0,05 кг, настриг шерсти (НШ) – индивидуально во время стрижки овец.

Измерение таких основных линейных промеров тела, как высота в холке (ВХ), обхват груди (ОГ) и пясти (ОП), ширина (ШГ) и глубина груди (ГГ), ширина в маклоках (ШМ), косая длина туловища (КДТ), косая длина зада (КДЗ), проводили по общепринятым методикам. На основании полученных результатов рассчитывали индексы телосложения: длинноности (ДЛН), растянутости (РСТ), грудной (ГР), тазо-грудной (Т-Г), сбистости (СБТ), массивности (МСТ), развития зада (РЗ) и костистости (КСТ).

По данным корреляционно-регрессионного анализа были составлены линейные уравнения парной и множественной регрессии, характеризующие взаимосвязь между средними величинами показателей селекционируемых признаков и основными факторами на них влияющими.

Определив парные коэффициенты корреляции для селекционируемых признаков с признаками, вовлеченными в селекционный процесс, при моделировании парных и множественных уравнений регрессии живой массы для овец ЗТХ показатели со слабой и умеренной связью из дальнейшего исследования исключили. Для построения моделей регрессии настрига шерсти как для самцов, так и для самок использовали показатели с сильной и умеренной связью.

Цифровой материал обрабатывали биометрически с использованием методов вариационной статистики на персональном компьютере. Корреляционно-регрессионный анализ проводили по методикам Е. К. Меркурьевой (1970) и Н. А. Плохинского (1980) с использованием пакета «Анализ данных» программы Microsoft Excel с помощью встроенных функций описательной статистики, корреляции, регрессии, уравнений прямолинейной регрессии, детерминации в пределах следующих уровней значимости: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$.

Результаты и обсуждение. Результаты анализа данных по массе тела, шерстной продуктивности и промерам статей тела баранов и овцематок ЗТХ свидетельствуют, что в рассматриваемой популяции наиболее эффективной будет селекция по живой массе, в связи с самой высокой его вариабельностью. Кроме того, в селекционной работе следует обращать внимание на такие признаки, как настриг и длина шерсти, а также ширина груди и ширина в маклоках (табл. 1).

Табл. 1. Живая масса, настриг, длина шерсти и промеры статей тела овец ЗТХ

Показатель	Группа			
	σ , $n = 29$		φ , $n = 71$	
	$\bar{X} \pm S_x$	C_v , %	$\bar{X} \pm S_x$	C_v , %
Живая масса, кг	90,4 $\pm$ 17,52	19,4	58,1 $\pm$ 6,91	11,9
Настриг шерсти, кг	10,4 $\pm$ 1,16	11,1	4,7 $\pm$ 0,47	9,9
Длина шерсти, см	10,8 $\pm$ 1,07	9,9	9,8 $\pm$ 0,80	8,1
Высота в холке, см	76,8 $\pm$ 3,38	4,4	66,3 $\pm$ 3,07	4,6
Косая длина туловища, см	87,7 $\pm$ 5,68	6,5	76,5 $\pm$ 2,90	3,8
Косая длина зада, см	26,9 $\pm$ 2,60	9,7	24,4 $\pm$ 1,40	5,7
Обхват груди, см	111,2 $\pm$ 8,85	8,0	98,2 $\pm$ 4,91	5,0
Глубина груди, см	36,6 $\pm$ 2,76	7,5	33,1 $\pm$ 2,08	6,3
Ширина груди, см	23,0 $\pm$ 2,51	10,9	19,8 $\pm$ 1,63	8,2
Ширина в маклоках, см	22,1 $\pm$ 2,69	12,4	19,1 $\pm$ 1,14	6,0
Обхват пясти, см	10,6 $\pm$ 1,02	9,6	9,1 $\pm$ 0,74	8,1

На основании индексов телосложения можно отметить, что тонкорунные особи изучаемой популяции имеют пропорционально развитое телосложение. При этом самцы характеризуются большей длинноногостью, лучшим развитием груди в ширину и глубину, более крепким костяком, тогда как самки отличаются более растянутым, сбитым и массивным телом с лучше развитым задом (табл. 2). Схожие результаты были получены у тувинских короткожирнохвостых овец [9]. Наибольший коэффициент вариации, как у самцов, так и у самок, отмечен по индексу костистости, что косвенно указывает на возможность селекции по обхвату пясти.

Табл. 2. Индексы телосложения овец ЗТХ, %

Индекс	Группа			
	σ , $n = 29$		φ , $n = 71$	
	$\bar{X} \pm S_x$	C_v , %	$\bar{X} \pm S_x$	C_v , %
Длинноности	51,9 $\pm$ 2,95	5,7	50,0 $\pm$ 2,75	5,5
Растянутости	114,2 $\pm$ 5,27	4,6	115,6 $\pm$ 6,61	6,6
Грудной	62,9 $\pm$ 5,55	8,8	59,8 $\pm$ 5,77	5,8
Тазо-грудной	106,5 $\pm$ 8,42	7,9	103,5 $\pm$ 8,28	8,3
Сбистости	126,9 $\pm$ 6,70	5,3	128,4 $\pm$ 6,16	6,2
Массивности	144,8 $\pm$ 8,28	5,7	148,2 $\pm$ 8,45	8,5
Развития зада	30,7 $\pm$ 2,56	8,3	32,0 $\pm$ 1,87	5,8
Костистости	13,8 $\pm$ 1,22	8,8	13,5 $\pm$ 1,38	10,2

При рассмотрении корреляционных связей живой массы с настригом и длиной шерсти, а также с промерами статей тела и индексами телосложения у тонкорунных особей ЗТХ установлены определенные закономерности. У баранов сопряженность между

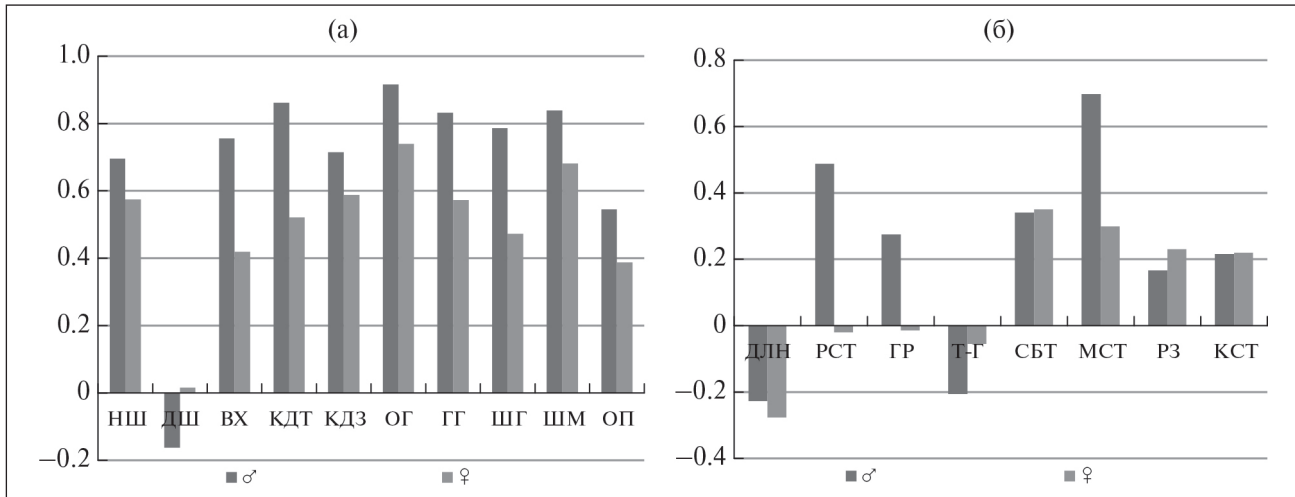


Рис. 1. Корреляция живой массы у овец 3ТХ (♂, $n = 29$; ♀, $n = 71$): а – с настригом, длиной шерсти и промерами тела; б – с индексами телосложения.

рассматриваемыми признаками была более тесной, чем у овцематок, за исключением длины шерсти и индекса длинноногости. У самцов выявлена сильная положительная корреляция живой массы со всеми промерами статей тела ($r = +0,756...+0,916$, $p < 0,001$) за исключением обхвата пясти, с которой отмечена корреляция умеренной силы ($r = +0,545$, $p < 0,01$). Наиболее тесная взаимосвязь установлена с обхватом груди ($r = +0,916$, $p < 0,001$), косой длиной туловища ($r = +0,862$, $p < 0,001$) и шириной зада в маклоках ($r = +0,839$, $p < 0,001$). Схожие результаты были получены в исследованиях на полутонкорунных овцах печорской породной группы [10, 11], а также на овцах породы cornigliese [12].

У самок взаимосвязь живой массы с настригом шерсти и промерами статей тела варьировала от слабой до сильной ($r = +0,388...+0,740$, $p < 0,001$). При этом, как и у баранов, следует отметить сильную корреляцию живой массы с обхватом груди ($r = +0,740$, $p < 0,001$) и ее отсутствие с длиной шерсти ($r = +0,016$, $p < 0,001$). Кроме того, выявлена сопряженность умеренной силы живой

массы овцематок с шириной в маклоках ($r = +0,681$, $p < 0,001$) и с косой длиной зада ($r = +0,588$, $p < 0,001$).

Сильную взаимосвязь между живой массой и обхватом груди у овец различных пород отмечают и другие отечественные и зарубежные исследователи [12, 13]. Одновременно у овец северокавказской мясо-шерстной породы выявлена тесная сопряженность массы тела с косой длиной туловища [14], у овец породы corriedale – с обхватом живота [15], у овец породы cornigliese – с шириной бедер [11], у аборигенных пород Саудовской Аравии – с высотой в крестце [16], у горных эфиопских овец – с высотой в холке [17]. Низкая корреляция между массой тела и длиной шерсти овец установлена так же у овец куйбышевской [18] и северокавказской мясо-шерстной [14] пород.

Анализ корреляции между живой массой и индексами телосложения свидетельствует, что она имеет тесную взаимосвязь, близкую к сильной ($r = +0,698$, $p < 0,001$) с индексом массивности у мужских особей. С остальными индексами телосложения, как

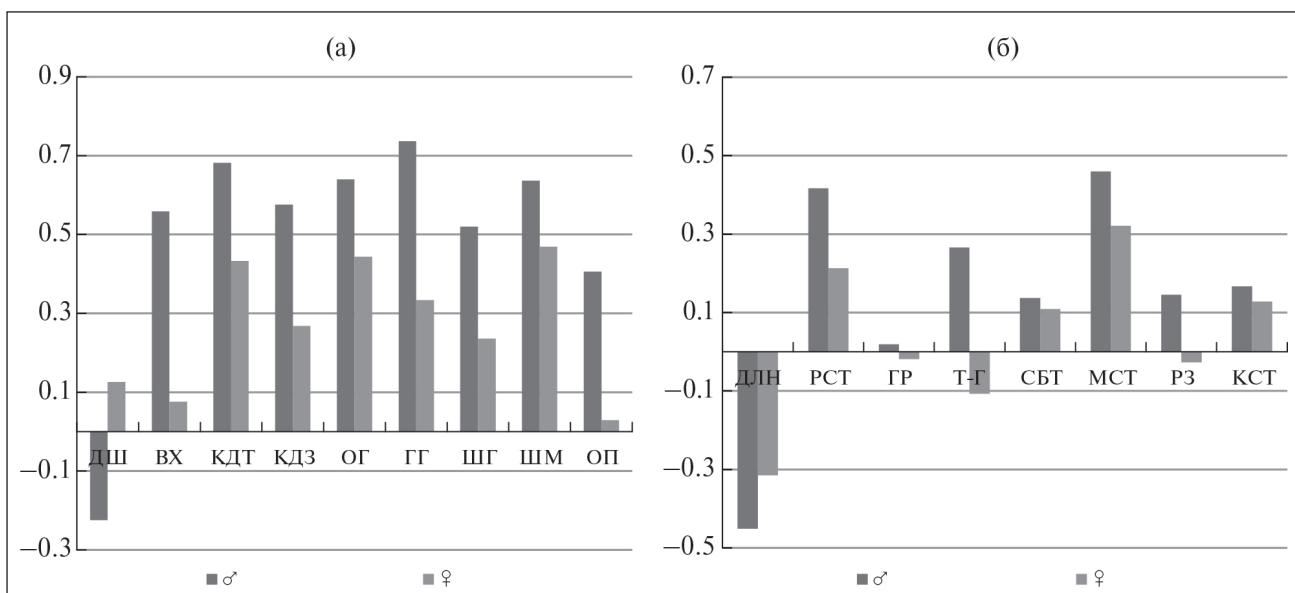


Рис. 2. Корреляция настрига шерсти у овец 3ТХ (♂, $n = 29$; ♀, $n = 71$): а – с длиной шерсти и промерами тела; б – с индексами телосложения.

Табл. 3. Результаты регрессионного анализа живой массы овец ЗТХ по линейным промерам

Предиктор	Коэффициент	SE	$t_{\text{стат.}}$	$P_{\text{знач.}}$	r
Бараны, $n = 29$					
Константа	-111,3	17,06	-6,52	0,000	0,916***
Обхват груди	1,81	0,15	11,86	0,000"	
Константа	-142,9	26,42	-5,41	0,000	0,862***
Косая длина туловища	2,66	0,30	8,85	0,000"	
Константа	-28,2	14,90	-1,89	0,070	0,839***
Ширина в маклоках	5,50	0,68	8,01	0,000"	
Константа	-102,8	24,90	-4,13	0,000	0,832***
Глубина груди	5,28	0,68	7,78	0,000"	
Константа	-36,0	19,21	-1,87	0,072	0,786***
Ширина груди	5,49	0,83	6,62	0,000"	
Константа	-210,5	50,22	-4,19	0,000	0,756***
Высота в холке	3,92	0,65	6,00	0,000"	
Константа	-39,1	24,49	-1,59	0,122	0,715***
Косая длина зада	4,81	0,91	5,31	0,000"	
Овцематки, $n = 71$					
Константа	-44,0	11,21	-3,93	0,000	0,740***
Обхват груди	1,04	0,11	9,1	0,000"	

Примечание: SE – стандартная ошибка, $t_{\text{стат.}}$ – t -статистика, $P_{\text{знач.}}$ – статистическая значимость коэффициентов регрессии, r – коэффициент корреляции; " – статистически значимо; *** – $p < 0,001$.

у баранов, так и у овцематок установлена слабая сопряженность.

Корреляции величины настрига шерсти с длиной шерсти и промерами статей тела носили аналогичный характер (рис. 2). Так, у самцов отмечена ее умеренная и сильная связь со всеми промерами тела ($r = +0,520...+0,737$, $p < 0,01...0,001$), за исключением обхвата пясти ($r = +0,406$, $p < 0,05$).

Табл. 4. Результаты регрессионного анализа настрига шерсти баранов ЗТХ по линейным промерам, ($n = 29$)

Предиктор	Коэффициент	SE	$t_{\text{стат.}}$	$P_{\text{знач.}}$	r
Константа	-0,9	2,01	-0,45	0,653	0,737***
Глубина груди	0,31	0,05	5,66	0,000"	
Константа	-1,8	2,53	-0,71	0,483	0,682***
Косая длина туловища	0,14	0,03	4,84	0,000"	
Константа	1,1	2,17	0,50	0,619	0,640***
Обхват груди	0,08	0,02	4,33	0,000"	
Константа	4,5	1,40	3,19	0,004	0,637***
Ширина в маклоках	0,28	0,06	4,29	0,000"	
Константа	3,5	1,90	1,85	0,074	0,576***
Косая длина зада	0,26	0,07	3,66	0,001"	
Константа	-4,3	4,22	-1,02	0,315	0,559***
Высота в холке	0,19	0,05	3,50	0,002"	
Константа	4,9	1,76	2,78	0,010	0,520***
Ширина груди	0,24	0,08	3,16	0,004"	

Примечание: SE – стандартная ошибка, $t_{\text{стат.}}$ – t -статистика, $P_{\text{знач.}}$ – статистическая значимость коэффициентов регрессии, r – коэффициент корреляции; " – статистически значимо; *** – $p < 0,001$.

Настриг шерсти, как и живая масса тела, у баранов коррелировала с промерами сильнее, чем у овцематок. При этом у самцов наиболее тесная связь установлена с глубиной груди ($r = +0,737$, $p < 0,001$), косой длиной туловища ($r = +0,682$, $p < 0,001$) и шириной в маклоках ($r = +0,637$, $p < 0,001$), тогда как у самок – с шириной в маклоках ($r = 0,469$, $p < 0,001$), обхватом груди ($r = 0,444$, $p < 0,001$) и косой длиной туловища ($r = +0,433$, $p < 0,001$).

Наиболее тесная связь настрига шерсти с индексами телосложения у баранов, аналогично живой массе, наблюдается с индексом массивности ($r = +0,460$, $p < 0,01$). В целом, как и по живой массе, корреляция этого признака с индексами телосложения была слабой – положительной и отрицательной.

У баранов из восьми линейных промеров, вовлеченных в селекционный процесс, семь характеризовались сильной взаимосвязью с живой массой

($r = +0,715...+0,916$; $p < 0,001$) при стандартной ошибке для оценки величины этого показателя, варьирующей в пределах 0,15...0,91, у овцематок – один ($r = +0,740$; $p < 0,001$). При этом более тесная связь и меньшая стандартная ошибка (SE), как у самцов, так и у самок установлены между живой массой и обхватом груди (табл. 3).

Коэффициенты парной линейной регрессии между живой массой и экстерьерными статьями у баранов ЗТХ свидетельствуют о том, что при увеличении промеров статей тела на единицу можно прогнозировать увеличение живой массы баранов на 1,81...5,50 единиц, у овцематок – на 1,04 единиц. Наибольший прирост живой массы баранов можно прогнозировать при увеличении ширины в маклоках (5,50 ед.; $r = 0,839$; $p < 0,001$), у овцематок – обхвата груди (1,04 ед.; $r = 0,740$; $p < 0,001$).

В проанализированной литературе представлены противоречивые результаты взаимосвязи между показателями прироста живой массы и экстерьерных статей. Так, у овец породы malva наибольший прирост массы тела обеспечивает увеличение обхвата пясти [19], породы cornigliese – обхвата груди [12], породы corriedale – обхвата живота [15], породы kashmir merino – высоты в холке [20].

У баранов ЗТХ между настригом шерсти и показателями экстерьерных статей, за исключением обхвата пясти, существует умеренная и сильная сопряженность ($r = +0,520...+0,737$; $p < 0,001$). Наиболее сильная корреляция отмечена между настригом шерсти и глубиной груди, при этом увеличение линейного промера на единицу должно повышать настриг шерсти на 0,31 единицу. У овцематок ЗТХ парная взаимосвязь между настригом шерсти и линейными промерами статей тела была слабой, вследствие чего коэффициенты регрессии между ними не определяли и из дальнейшего исследования исключили.

На основании корреляционно-регрессионного анализа между показателями живой массы и линейными промеров были построены 4 уравнения множественной и парной регрессии для овец ЗТХ. Они свидетельствуют о том, что селекционируемый признак «живая масса» у баранов и овцематок ЗТХ имеет положительную взаимосвязь с линейными промерами тела. При этом в смоделированных уравнениях регрессии установлена сильная множественная ($R = 0,864...0,971$; $R = 0,747...0,943$) и парная ($R = 0,740...0,916$; $R_{\text{кв.}} = 0,547...0,839$) взаимосвязь экстерьерных статей с живой массой ($p < 0,001$).

Табл. 5. Уравнения множественной и парной регрессии живой массы овец ЗТХ

Уравнение	R	$F_{\text{расч.}} - F_{\text{крит.}}$	$R_{\text{кв.}}$
♂, $n = 29$			
ЖМ = -166,1 + 0,23 ВХ + 0,81 КДТ + 0,971***	41,7 > 2,45"	0,943***	
+ 1,08 КДЗ + 0,59 ОГ + 0,68 ГГ +			
+ 0,56 ШГ + 0,60 ШМ + 2,18 ОП			
ЖМ = -111,3 + 1,81 ОГ	0,916***	140,6 > 4,21"	0,839***
♀, $n = 71$			
ЖМ = -103,4 + 0,38 ВХ + 0,30 КДТ + 0,864***	22,8 > 2,09"	0,747***	
+ 0,78 КДЗ + 0,52 ОГ + 0,09 ГГ +			
+ 0,07 ШГ + 1,73 ШМ + 0,67 ОП			
ЖМ = -44,0 + 1,04 ОГ	0,740***	83,3 > 3,98"	0,547***

Примечание: ЖМ – живая масса; ВХ – высота в холке; КДТ – косая длина туловища; КДЗ – косая длина зада; ОГ – обхват груди; ГГ – глубина груди; ШГ – ширина груди; ШМ – ширина в маклоках; ОП – обхват пясти; R – коэффициент множественной корреляции; F – критерий Фишера (расчетный, критический), $R_{\text{кв.}}$ – коэффициент детерминации (0,8–1,0 – модель хорошего качества, 0,5–0,8 – модель приемлемого качества); " – статистически значимо; *** – $p < 0,001$.

Табл. 6. Уравнения множественной и парной регрессии настрига шерсти овец ЗТХ

Уравнение	R	$F_{\text{расч.}} - F_{\text{крит.}}$	$R_{\text{кв.}}$
♂, n = 29			
НШ = -1,2 - 0,04 ВХ + 0,05 КДТ + 0,797***	0,797***	4,3 > 2,45"	0,635***
+ 0,06 КДЗ - 0,03 ОГ + 0,23 ГГ -			
- 0,05 ШГ + 0,12 ШМ + 0,09 ОП			
НШ = -0,9 + 0,31 ГГ	0,737***	23,1 > 4,21"	0,543**
♀, n = 71			
НШ = -1,4 - 0,02 ВХ + 0,05 КДТ - 0,606***	0,606***	4,59 > 2,09"	0,367**
- 0,02 КДЗ + 0,02 ОГ + 0,02 ГГ +			
+ 0,01 ШГ + 0,11 ШМ - 0,13 ОП			

Примечание: НШ – настриг шерсти; ВХ – высота в холке; КДТ – косая длина туловища; КДЗ – косая длина зада; ОГ – обхват груди; ГГ – глубина груди; ШГ – ширина груди; ШМ – ширина в маклоках; ОП – обхват пясти; R – коэффициент множественной корреляции; F – критерий Фишера (расчетный, критический), $R_{\text{кв.}}$ – коэффициент детерминации (0,5...0,8 – модель приемлемого качества, 0,0...0,5 – модель плохого качества); * – статистически значимо; ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$.

Проверка уравнений регрессии по F-критерию Фишера показала их статистическую значимость и отсутствие случайности в нашем исследовании, что свидетельствует о надежности моделей уравнений парной и множественной регрессии как у баранов, так и у овцематок ($F_{\text{расч.}} > F_{\text{крит.}}$ при уровне значимости = 0,05), значения коэффициентов детерминации свидетельствуют о хорошем и приемлемом качестве моделей регрессии.

При оценке парных уравнений регрессии установлено, что живая масса, как у баранов, так и у овцематок, в большей степени связана с линейным промером обхвата груди. Величины коэффициентов детерминации ($R_{\text{кв.}}$) свидетельствуют, что уравнением регрессии объясняется 83,9 % дисперсии результативного признака у самцов и 54,7 % у самок, на долю случайных факторов приходится соответственно 16,1 и 45,3 %. При этом в моделях многофакторной регрессии воздействием комплекса линейных промеров объясняется 94,3 и 74,7 % изменения массы тела. Наши результаты согласуются с данными, полученными для овец пород *malva* [19] и *jatuna* [22].

По результатам корреляционно-регрессионного анализа показателей настрига шерсти и линейных промеров тела для баранов были составлены 2 модели парной и множественной регрессии. Их анализ свидетельствует о том, что селекционируемый признак «настриг шерсти» имеет и положительные, и отрицательные взаимосвязи с экстерьерными статьями тела. При этом в спроектированных моделях обнаружена сильная множественная и парная взаимосвязь (предиктор – глубина груди) линейных промеров с настригом шерсти ($R > 0,7$; $p < 0,001$). Рост величин показателей таких признаков, как высота в холке, обхват груди и ширина груди будет сопровождаться ухудшением селекционируемого признака настриг шерсти.

Коэффициент детерминации в уравнениях регрессии между настригом шерсти и экстерьерными статьями, как и в моделях для живой массы, повышался при добавлении в уравнения линейных промеров тела. Наибольшая его величина (0,635; $p < 0,001$) отмечена при использовании всех промеров.

У овцематок отмечено отсутствие или отрицательная взаимосвязь настрига шерсти с линейными промерами, в связи с чем была построена только модель множественной регрессии с учетом всех промеров статей тела. Отрицательные значения коэффициентов регрессии предикторов высоты в холке, косой длины

зада и обхвата пясти указывают на их негативное влияние на результативный фактор. При этом уравнение регрессии характеризуется умеренной множественной корреляцией настрига шерсти с линейными промерами, однако коэффициент детерминации свидетельствует о плохом качестве уравнения.

В целом величины коэффициентов детерминации указывают на то, что изменение настрига шерсти у баранов ($p < 0,001$) можно прогнозировать с использованием комплекса линейных промеров на 63,5 %, с применением предиктора глубина груди на 54,3 % ($p < 0,01$).

Схожие результаты были получены на баранах и овцематках породы *cornigliese* [11]: смоделировано по 4 уравнения многофакторной регрессии для живой массы (для баранов $R = 86,6...96,5\%$, для овцематок $R_{\text{кв.}} = 91,4...91,9\%$). Для овец породы *kashmir merino* по 8 линейным промерам было смоделировано 7 парных ($R = 0,00...38,50\%$) и 8 многофакторных ($R_{\text{кв.}} = 46,86...56,96\%$) линейных уравнений массы тела [20], для овец породы *jatuna* – соответственно 2 ($R_{\text{кв.}} = 46,0-49,0\%$) и 10 ($R = 56,0-83,0\%$) [22], для овец породы *cornigdale* – 1 ($R_{\text{кв.}} = 60,0\%$) и 4 ($R_{\text{кв.}} = 68,0-76,0\%$) [15].

Выводы. Живая масса и линейные промеры у тонкорунных овец ЗТХ в зависимости от пола различаются и влияют на взаимосвязи между селекционируемыми признаками и морфометрическими измерениями. У овец ЗТХ большей вариабельностью характеризуются такие признаки, как живая масса (11,9...19,4 %), настриг шерсти (9,9...11,1 %) и широтные линейные промеры (8,2...12,4 %).

У баранов установлена сильная сопряженность положительной направленности живой массы со всеми промерами статей тела ($r = +0,756...+0,916$, $p < 0,001$), кроме обхвата пясти ($r = +0,545$, $p < 0,01$). При этом как у самцов, так и у самок величина этого показателя сильнее коррелирует с обхватом груди ($r = +0,740...+0,916$, $p < 0,001$), тогда как настриг шерсти у баранов – с глубиной груди ($r = +0,737$; $p < 0,001$), у овцематок – с шириной в маклоках ($r = +0,469$; $p < 0,001$). Наибольшее увеличение живой массы у баранов можно прогнозировать при увеличении ширины в маклоках ($r = 0,839$; $p < 0,001$), у овцематок – обхвата груди ($r = 0,740$; $p < 0,001$).

В уравнениях регрессии установлена сильная множественная ($R = 0,864...0,971$; $R_{\text{кв.}} = 0,747...0,943$) и парная ($R = 0,740...0,916$; $R_{\text{кв.}} = 0,547...0,839$) взаимосвязь экстерьерных статей с живой массой ($p < 0,001$).

Величины коэффициентов детерминации свидетельствуют о том, что изменение настрига шерсти у баранов можно прогнозировать с использованием комплекса линейных промеров на 63,5 %, на основе предиктора глубина груди – на 54,3 % ($p < 0,01$).

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-26-00014.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств «Об обращении с животными», ст. 20 (по установлению МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

Литература.

1. *Correlative variation of economically valuable traits in South Kazakh Merino* / B. Kulzhanova, A. Ombayev, N. Azhimetov, et al. // *Brazilian Journal of Biology*. 2024. Vol. 84. URL: <https://www.scielo.br/bjb/a/gxYJygDry-b8nCBDm4XcDkNK/> (дата обращения 18.06.2024)
2. *Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review* / A. M. Scholz, L. Bünger, J. Kongsro, et al. // *Animal*. 2015. Vol. 9. No. 07. P. 1250–1264. doi: 10.1017/s1751731115000336.
3. Криворучко А. Ю., Яцык О. А., Каниболоцкая А. А. Новые параметры прижизненной оценки мясной продуктивности овец породы джалгинский меринос // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 04(207). С. 74–84. doi: 10.32417/1997-4868-2021-207-04-74-84.
4. Криворучко А. Ю., Каниболоцкая А. А., Катков К. А. Оценка фенотипических показателей овец северокавказской мясо-шерстной породы методом анализа главных компонент // *Вестник Ульяновской ГСХА*. 2022. № 1(57). С. 174–181. doi: 10.18286/1816-4501-2022-1-174-181
5. Ajafar M. H., Al-Thuwaini T. M., Dakhel H. H. Association of OLR1 gene polymorphism with live body weight and body morphometric traits in Awassi ewes // *Mol. Biol. Rep.* 2022. Vol. 49. No. 5. P. 4149–4153. doi:10.1007/s11033-022-07481-3
6. Al-Thuwaini T. M., Al-Hadi A. B. A. Association of lamb sex with body measurements in single and twin on the Awassi ewes // *Adv. Anim. Vet. Sci.* 2022. Vol. 10. No. 8. P. 1849–1853.
7. Кустова С. Б. Взаимосвязь между экстерьерными признаками и показателями мясной продуктивности помесного скота // *Генетика и разведение животных*. 2020. № 3. С. 46–52. doi: 10.31043/2410-2733-2020-3-46-52
8. Колосов Ю. А., Засемчук И. В. Соотносительная изменчивость и наследуемость хозяйственно-полезных признаков у молодняка овец сальской породы // *Вестник аграрной науки Дона*. 2011. № 4(16). С. 64–67.
9. Дымбрылова Э. Ц. Экстерьерные особенности тувинской короткожирнохвостой породы в условиях Республики Бурятия // *Вестник Бурятской ГСХА им. В. Р. Филиппова*. 2021. № 1(62). С. 58–64. doi: 10.34655/bgsha.2021.62.1.008
10. Канева Л. А., Жариков Я. А., Матюков В. С. Селекционно-генетическая характеристика мясо-шерстных полутонкорунных печорских овец // *Генетика и разведение животных*. 2015. № 4. С. 3–9.
11. Канева Л. А., Жариков Я. А., Матюков В. С. Популяционно-генетическая характеристика мясо-шерстных полутонкорунных овец печорской породной группы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2014. № 3(40). С. 45–49.
12. *Body weight estimation from body measures in Cornigliese sheep breed* / A. Sabbioni, V. Beretti, P. Superchi, et al. // *Italian journal of animal science*. 2020. Vol. 19. No. 1. P. 25–30. doi: 10.1080/1828051X.2019.1689189
13. *Prediction of body weight using body measurements in some sheep and goats in Qatar* / M. Atta, S. A. Abubakar, B. M. Mutasim, et al. // *Journal of Applied Animal Research*. 2024. Vol. 52. No. 1. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09712119.2023.2288917> (дата обращения 18.06.2024)
14. Омаров А. А., Гайдашов С. И. Продуктивные показатели овец северокавказской мясо-шерстной породы и их взаимосвязь с основными селекционируемыми признаками // *Вестник Алтайского ГАУ*. 2021. № 2 (196). С. 66–72.
15. *Principal component analysis for body weight prediction of corriedale ewes from Southern Peru* / A. W. Canaza-Cayo, R. R. Mota, F. Amarilho-Silveira, et al. // *Journal of Animal Health and Production*. 2021. No. 9(4). P. 417–424. doi: 10.17582/journal.jahp/2021/9.4.417.424.
16. *Phenotypic Characterization of Indigenous Sheep Breeds in Saudi Arabia* / M. F. Elzare, S. A. Al-Sharari, M. S. Al-hasyani, et al. // *Journal of Agricultural Science*. 2023. Vol. 15. No. 8. P. 16–22. doi: 10.5539/jas.v15n8p16.
17. Tesfay H. H., Banerjee A. K., Mammed Y. Y. Live body weight and linear body measurements of indigenous sheep population in their production system for developing suitable selection criteria in Central Zone of Tigray, Northern Ethiopia // *African Journal of Agricultural Research*. 2017. Vol. 12. P. 1087–1095.
18. Ерохин А. С., Иванов Ю. А. Многоплодие и продуктивность маток куйбышевской породы разного типа рождения // *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2014. № 2. С. 18–19.
19. Çilek S., Petkova M. Phenotypic correlations between some body measurements and prediction of body weight of Malya sheep // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2016. Vol. 22. P. 99–105.
20. *Prediction of body weight from linear body measurements in kashmir merino sheep* / M. A. Rather, I. Bashir, A. Hamdani, et al. // *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2021. No. 9(2). P. 189–193. doi: 10.17582/journal.aavs/2021/9.2.189.193
21. Моделирование показателей мясной продуктивности в зависимости от типов телосложения бычков калмыцкой породы / И. Ф. Горлов, М. И. Сложеникина, О. П. Шахбазова и др. // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2017. № 1(45). С. 97–102.
22. *Different body measurement and body weight prediction of jamuna basin sheep in Bangladesh* / M. A. Sun, M. A. Hos-sain, T. Islam, et al. // *SAARC Journal of Agriculture*. 2020. No. 18(1). P. 183–196. doi: 10.3329/sja.v18i1.48392.

Поступила в редакцию 21.06.2024

После доработки 22.07.2024

Принята к публикации 13.08.2024

ИЗУЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ АДАПТАЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ И МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ У ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ НА ФОНЕ ФАРМАКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОФИЛАКТИКИ СОЧЕТАННОГО ПРЕДУБОЙНОГО, ТЕПЛОВОГО И ТРАНСПОРТНОГО СТРЕССОВ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПТИЦЕВОДСТВЕ

© 2024 г. А. В. Мифтахутдинов, доктор биологических наук, Е. А. Ноговицина, кандидат биологических наук, М. П. Лазарева, Е. В. Акентьева

Южно-Уральский государственный аграрный университет,
457100, Челябинская обл., Троицк, ул. Гагарина, 13
E-mail: nirugavm@mail.ru

Исследования проводили с целью изучения адаптационных механизмов у цыплят-бройлеров на фоне фармакологической профилактики сочетанного предубойного, теплового и транспортного стрессов в промышленном птицеводстве. Из клинически здоровых цыплят кросса Ross 308 по принципу аналогов в летний период было сформировано 3 группы по 95648 ± 931 голов в каждой. Птицы первой группы (контрольной) получали полнорационный комбикорм, второй (I опытная) – полнорационный комбикорм, включающий антистрессовую кормовую добавку Пик-антистресс в дозе 1270 г/т корма за 5 суток до убоя, третьей (II опытная) – комбикорм с Пик-антистресс с включением L-карнитина в дозе 1700 г/т корма за 5 суток до убоя. Убой цыплят-бройлеров проводили на 38 сутки. Исследования проводили в 3 основных периода – после голодной выдержки, после транспортировки к месту убоя и непосредственно перед убоем. Адаптационные процессы, развивающиеся в период убоя цыплят-бройлеров в летний период, характеризуются повышением уровня соотношения гетерофилов к лимфоцитам в крови в среднем в 2,8 раза. Применение фармакологических средств Пик-антистресс отдельно и в сочетании с L-карнитином позволяет снизить активность стресс-реализующих механизмов и повысить сохранность цыплят на 3,20 и 4,58 % соответственно, а Европейский индекс продуктивности – на 32 и 45 единиц. На фоне антистрессовой профилактики указанными средствами отмечено увеличение площади ядра надпочечников соответственно на 43,0 % и 36,0 % на фоне уменьшения площади цитоплазмы клеток кортикальных тяжей на 11,2 % и 22,8 %. Это указывает на стабилизацию метаболических процессов в клетке.

STUDY OF SPECIAL ADAPTATION MECHANISMS AND MORPHOLOGICAL REGULARITIES OF BROILER CHICKENS AGAINST THE BACKGROUND OF PHARMACOLOGICAL PREVENTION COMBINED PRE-SLAUGHTER, HEAT AND TRANSPORT STRESS IN INDUSTRIAL POULTRY FARMING

A. V. Miftakhutdinov, E. A. Nogovitsina, M. P. Lazareva, E. V. Akentyeva

South Ural State Agrarian University,
457100, Chelyabinskaya obl., Troitsk, ul. Gagarina, 13
E-mail: nirugavm@mail.ru

The study was conducted to investigate the adaptation mechanisms of broiler chickens against the background of pharmacological prevention which includes combined pre-slaughter, heat and transport stress in industrial poultry farming. In summer, from clinically healthy Ross 308 chickens three groups of 95648 ± 931 chickens were formed on the principle of analogy. The first group was a control group and it was fed with complete feed. The second group was the first experimental group and it was fed with complete feed which included the anti-stress supplementary feed PIK-antistress at a dose of 1270 g per 1 ton of feed 5 days before slaughter. The third group was the second experimental group and it was fed with the anti-stress supplementary feed PIK-antistress which included L-carnitine at a dose of 1700 g per 1 ton of feed 5 days before slaughter. 38 days later broiler chickens were slaughtered. 3 main periods were commonly studied: the period after fasting, the period after transporting the chickens to the slaughter site and the period just before slaughter. Adaptation processes were developing during the slaughter of broiler chickens in summer. The processes are characterized by increasing the level of the ratio of heterophils to blood lymphocytes on average 2.8 times. The use of the complex food additive PIK-antistress and PIK-antistress in combination with L-carnitine can reduce the activity of stress-implementing mechanisms and increase the survivability of chickens by 3.20 and 4.58 %, respectively and the European productivity index by 32 and 45 units. All the data obtained are consistent with the morphometric studies of the adrenal glands while against the background of the use of anti-stress prophylaxis an increase of core area was noted by 43.0 % and 36.0 % and respectively against the background of a decrease of the area of the cytoplasm of the cortical cords by 11.2 % and 22.8 %, respectively, which indicates stabilization of metabolic processes in the cell.

Ключевые слова: стресс, цыплята-бройлеры, надпочечники, лейкограммы, гетерофилы/лимфоциты, Пик-антистресс.

Keywords: stress, broiler chickens, adrenal glands, leukograms, heterophils/lymphocytes, PIK-antistress.

В условиях промышленного выращивания стресс оказывает достаточно разноплановое влияние на организм птицы: от изменения морфо-биохимического статуса крови, гормонального фона организма, гистоморфологических нарушений, снижения иммунной функции органов и антиоксидантного статуса организма до экспрессии генов, отвечающих за антиоксидантную защиту и воспалительные процессы [1].

Изучение механизмов развития стрессов и факторов, оказывающих влияние на их течение, остается актуальным вопросом сельскохозяйственной биологии и ветеринарии, решение которого дает возможность совершенствовать технологии содержания и кормления птиц, а также разрабатывать эффективные схемы лекарственной терапии в случае отклонения адаптационных процессов от физиологической нормы. Известно мно-

жество физиологических реакций на стрессы. В клиническом отношении их диагностику главным образом осуществляют путем изучения лейкограмм, ключевым показателем которых выступает отношение гетерофилов к лимфоцитам (Г/Л) [2, 3].

Отдельного внимания при диагностике стрессов заслуживают морфологические исследования органов и тканей птиц. Морфометрия и гистология могут отобразить патоморфологические процессы, на основании которых в дальнейшем можно своевременно планировать профилактические и лечебные мероприятия. При длительном воздействии стрессоров морфологические изменения происходят в органах аппарата пищеварения, иммунной защиты, желез внутренней секреции [4, 5].

Убой цыплят-бройлеров – один из недостаточно изученных процессов в промышленном птицеводстве с позиции развития неспецифических адаптационных реакций у птиц. Он представляет собой ряд технологических операций, включающих период голодной выдержки, транспортировку к месту убоя, оглушение и период непосредственно перед убоем. На всех этих этапах происходит воздействие на птицу, которое с позиции современных представлений в биологии сопровождается развитием неспецифических адаптационных реакций организма, связанных с физическим влиянием и возникновением страха, обусловленным неопределенностью среды [6, 7]. Наиболее сложным с точки зрения адаптации считают период транспортировки цыплят к месту убоя и, возможно, голодная выдержка.

Важнейшее влияние на развитие стрессов при убое и качество продукции оказывают период голодной выдержки и оглушение, включающее навешивание птицы на конвейер. Стрессорное воздействие процесса навешивания зависит от его продолжительности. Период от навешивания до оглушения продолжительностью более 60 с вызывает у цыплят серьезную стрессовую реакцию, которая существенно ухудшает качество мяса [8].

С точки зрения экономической эффективности, обеспечения здоровья и благополучия цыплят важное значение имеет фармакологическая профилактика стрессов. Общие принципы фармакологической коррекции стресса предполагают предупреждение или устранение патологических проявлений при чрезмерных нагрузках на организм и последующую мобилизацию защитно-приспособительных механизмов восстановления гомеостаза [9].

В условиях технологических стрессов применяют различные препараты. Среди применяемых сегодня средств 24,6 % имеют выраженные антиоксидантные свойства, 23 % широкого спектра действия, 14,8 % проявляя адаптогенные свойства, 4,9 % нормотимические, 4,9 % противомикробные, по 3,3 % обладают свойствами регуляции фосфорно-кальциевого обмена, стимуляции общего метаболизма, пробиотическими и противовоспалительными свойствами. Еще по 1,6 % добавок оказывают выраженное влияние на аппетит и процессы пищеварения, применяются как источники биологически активных веществ, пищевых волокон и метаболической энергии, предназначены для профилактики респираторных патологий, стимуляции обмена энергии, регуляции азотистого баланса, выступают в качестве гепатопротекторов и средств с сорбирующими свойствами [1, 6, 10].

Для повышения стрессоустойчивости, продуктивности и неспецифической резистентности птиц необходим целенаправленный контроль интенсивности и направленности метаболизма посредством поддержания сбалансированности функций нервной, иммунной, антиоксидантной и монооксигеназной систем организма [7].

Цель исследований – изучение адаптационных механизмов организма птиц на фоне фармакологической профилактики сочетанного предубойного, теплового и транспортного стрессов для поиска закономерностей, позволяющих повысить сохранность и продуктивность цыплят-бройлеров при промышленном выращивании.

Методика. Из клинически здоровых цыплят кросса Ross 308, по принципу аналогов в летний период было сформировано 3 группы по 95648 ± 931 голов в каждой. Птица первой группы (контрольная) получала полнорационный комбикорм, второй (I опытная) – полнорационный комбикорм, включающий антистрессовую кормовую добавку Пик-антистресс в дозе 1270 г/т корма за 5 суток до убоя, третьей (II опытная) – комбикорм с добавкой Пик-антистресс, в состав которой входит L-карнитин, в дозе 1700 г/т корма за 5 суток до убоя. Добавка Пик-антистресс разработана в Южно-Уральском государственном аграрном университете, в ее состав входят янтарная кислота, карбонат лития, аскорбиновая кислота и глюкоза [9, 10]. Она проходит широкую производственную апробацию с целью государственной регистрации.

На 38 сутки в летний период был проведен убой бройлеров на фоне температур в производственных помещениях на уровне 28...32 °С. В течение периода наблюдений учитывали продуктивность и сохранность цыплят. Европейский индекс продуктивности (ЕИП) рассчитывали по следующей формуле:

$$\text{ЕИП} = \frac{(\text{средняя масса тела цыплят, г} \times \text{сохранность поголовья, \%})}{(\text{конверсия корма, кг} \times \text{возраст, дн}) \times 100 \%}$$

Период непосредственно перед убоем включает время, прошедшее с разгрузки птицы до перерезки кровеносных сосудов в области головы и шеи. Продолжительность этого этапа может варьировать, в нашем исследовании она составила 28...41 мин. Для определения развития адаптационных реакций от 10 голов из каждой группы собирали кровь для приготовления мазков и подсчета лейкограмм. Мазки окрашивали по Романовскому–Гимзе, клетки крови подсчитывали с использованием иммерсионной микроскопии (микроскоп Микмед 6, «ЛМО», Россия), применяя трехпольный метод Филипченко,

Табл. 1. Лейкограммы цыплят в процессе убоя ($M \pm S_p$, $n=10$)

Показатель	Группа		
	контрольная	I опытная	II опытная
После голодной выдержки			
Базофилы	1,60±0,54	1,60±0,55	1,60±0,89
Эозинофилы	5,60±2,70	3,60±1,82	6,60±0,89
Гетерофилы	27,80±2,77	28,80±6,61	29,60±4,04
Лимфоциты	57,40±4,56	59,80±5,89	55,00±2,74
Моноциты	7,60±1,51	6,20±1,92	7,20±2,68
Г/Л	0,49±0,07	0,49±0,16	0,54±0,09
После транспортировки			
Базофилы	1,60±0,89	2,00±1,00	1,80±0,84
Эозинофилы	7,80±1,48	6,60±0,89	6,20±1,58
Гетерофилы	32,80±3,42	26,00±5,10**	21,80±5,02***
Лимфоциты	49,40±1,81	57,20±6,69*	62,80±5,93***
Моноциты	8,40±1,14	8,20±1,30	7,80±1,48
Г/Л	0,67±0,09	0,47±0,15**	0,35±0,11***
Непосредственно перед убоем			
Базофилы	2,40±0,89	1,60±0,89	1,80±0,84
Эозинофилы	6,20±1,30	6,20±1,92	6,00±2,12
Гетерофилы	35,20±4,87	27,00±2,23***	25,20±1,92***
Лимфоциты	50,80±4,09	59,80±4,87***	61,20±4,55***
Моноциты	5,40±1,14	5,40±1,34	6,00±1,58
Г/Л	0,70±0,13	0,46±0,08***	0,41±0,06***

*различия с контрольной группой достоверны при $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$.

в каждом мазке идентифицировали 200 лейкоцитов. Подсчет количества эритроцитов и лейкоцитов проводили унифицированными методами в камере Горяева, концентрацию гемоглобина определяли колориметрическим методом по Сали. Исследования осуществляли в 3 основных периода – после голодной выдержки, после транспортировки цыплят к месту убоя и непосредственно перед убоем.

Материалом для морфометрических и гистологических исследований служили гистологические препараты надпочечников, для изготовления которых после убоя, в течение двух часов, у исследуемых групп цыплят-бройлеров препарировали надпочечники, фиксировали в 10 %-ном растворе формалина, уплотняли заливкой в парафин, на санном микротоме готовили гистологические срезы, окраску проводили основными и специальными красителями – гематоксилином и эозином. Анализ гистоструктур выполняли под микроскопом LEICA DMRXA, с цифровой видеокамерой LEICA DFC 290, связанной с персональным компьютером. Изображения с гистологических препаратов получали в формате графических файлов TIFF в цветовом пространстве RGB, как объект для морфометрических исследований. Морфометрические измерения осуществляли в программе изображений ImageScope M.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием программы Statistica 12. Данные представлены в виде средних (M) и стандартного отклонения (SD). Сравнительный межгрупповой анализ выполняли методом непараметрического анализа с использованием критерия Краскела–Уоллиса (KW-H Test) и теста Манна–Уитни (M-W U Test), расчет корреляций осуществляли с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Уровень значимости был принят равным $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение. Общая смертность цыплят за период выращивания в контрольной группе составила 10,85 %, в I опытной – 7,65 %, во II группе – 6,27 %, Европейский индекс продуктивности – соответственно 285, 317 и 330 единиц. Это указывает на высокую эффективность применяемых фармакологических средств.

С экономической и биологической точки зрения наиболее затретен убой, проводимый в летний период, так как помимо неопределённости среды у цыплят включаются механизмы адаптации к высоким температурам, зачастую на фоне низкого содержания кислорода и высокой влажности, а также на отдельных предприятиях отсутствие воды в периоды голодной выдержки и транспортировки цыплят [11]. Птица очень плохо приспособлена к высоким температурам.

В норме в крови цыплят контрольной группы до введения препаратов и до начала процедуры убоя соотношение Г/Л находилось на уровне $0,31 \pm 0,04$ единиц. Это соответствует нормальному течению адаптационных процессов и указывает на отсутствие выраженной стрессовой реакции (табл. 1).

Период предубойной голодной выдержки составлял 6...8 ч, на предприятии используют схему с полным ограничением кормов, но обязательным поением водой. После его завершения количество всех клеток крови лейкоцитарного звена во всех группах находилось на одном уровне. Среднее соотношение Г/Л находилось на уровне $0,49...0,54$ единиц, что согласно классификации Gross and Siegel (1983) указывает на средний уровень развития стрессовой реакции. Ограниченное кормление цыплят-бройлеров, которые в течение всей жизни получали корм вволю и были целенаправленно

выведены с целью потребления и переваривания больших количеств концентрированных кормов, приводит к существенному росту соотношения Г/Л, а также уровня кортикостерона в крови, грелина, серотонина, дофамина и сывороточных белков острой фазы вместе с белком теплового шока головного мозга. При этом ограниченное кормление не оказало влияния на уровни кислого гликопротеина альфа-1 (орозомукоида), ово-трансферина и церулоплазмينا в сыворотке крови [11].

Отсутствие влияния фармакологических средств на соотношение Г/Л в период предубойной голодной выдержки на фоне высоких температур окружающей среды может быть обусловлено повышенным уровнем кортикостерона, связанным не только с развитием стрессовой реакции, но и непосредственно с включением катаболических механизмов, направленных на получение организмом энергетических субстратов без притока энергетических и пластических веществ из кормов. При этом фармакологические средства, включенные в состав кормовой добавки Пик-антистресс, обладают накопительным действием и для реализации их эффектов необходимо несколько дней [10, 11, 12].

По нашим наблюдениям, на предприятии, где проводили исследования, средняя смертность в процессе транспортировки цыплят к месту убоя в летний период составляет $0,540 \pm 0,319$ %, в зимний – $0,118 \pm 0,094$ %. В нашем исследовании транспортировка к месту убоя с учетом погрузки и разгрузки транспорта занимала от 40 до 95 мин., что соответствует минимальному периоду времени, необходимому для реализации этих технологических операций. При этом в отдельных предприятиях она может составлять более 3...4 ч.

После транспортировки в контрольной группе содержание базофилов, по сравнению с предыдущим периодом, не изменилось, эозинофилов – увеличилось на 28,2 % ($p = 0,0278$), гетерофилов – на 15,2 % ($p = 0,0013$), число лимфоцитов снизилось на 13,9 % ($p < 0,0001$), моноцитов – статистически не изменилось ($p = 0,1744$). Соотношение Г/Л достоверно увеличилось на 26,9 % ($p < 0,0001$). В I опытной группе количество базофилов не изменилось ($p = 0,2546$), эозинофилов – увеличилось на 45,5 % ($p < 0,0001$), гетерофилов и лимфоцитов – статистически не изменилось ($p = 0,2754$ и $p = 0,3407$ соответственно), моноцитов – увеличилось на 24,4 % ($p = 0,0098$). Соотношение Г/Л не изменилось ($p = 0,6987$). Во II опытной группе количество базофилов и эозинофилов статистически не изменилось ($p = 0,5906$), число гетерофилов уменьшилось на 26,3 % ($p = 0,0007$), а лимфоцитов – увеличилось на 12,4 % ($p = 0,0008$), моноцитов – статистически достоверно не изменилось ($p = 0,5198$). Соотношение Г/Л статистически достоверно уменьшилось на 34,6 % ($p = 0,0004$).

Сравнение показателей крови цыплят опытных групп с контрольной группой указывает на статистически выраженные различия между содержанием гетерофилов и лимфоцитов, а также их соотношениями. Под действием изучаемых фармакологических средств отмечается снижение величины последнего из упомянутых показателей в I опытной группе до 0,47, во II опытной группе – до 0,35, что в первой опытной группе соответствует среднему уровню развития стрессовой реакции, во второй – уровню, свойственному нормальному течению адаптационных процессов без развития стрессовых реакций.

Гибель цыплят в процессе транспортировки зависит от многих факторов, наиболее важные из них – микроклимат в грузовом автомобиле, продолжительность перевозки более 2 ч, а также многочисленные факторы,

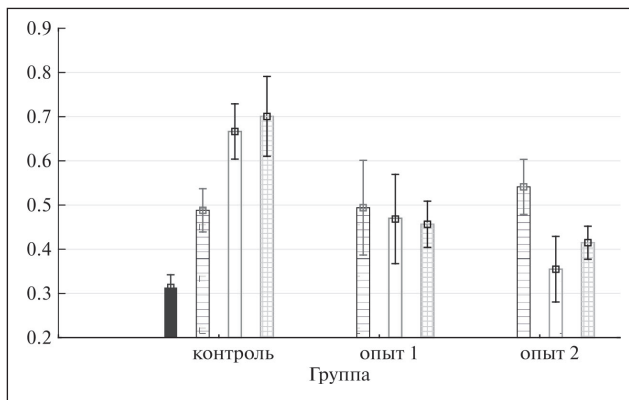


Рис. 1. Соотношение гетерофилов к лимфоцитам (Г/Л) в крови цыплят, ($M \pm 0,95CI$): ■ – Г/Л до убоя; ▨ – Г/Л после голодной выдержки; □ – Г/Л после транспортировки; ▩ – Г/Л перед убоем.

связанные с действиями персонала и технологическим оснащением оборудования для убоя [13, 14, 15]. Количество погибших в процессе убоя цыплят в странах Европейского Союза варьирует от 0,15 % до 0,67 %, в странах с более теплым или, наоборот, более суровым климатом в зимний период потери выше – от 0,7 до 1,4 % [16].

Распределение причин смертности выглядит следующим образом: 25 % – состояние здоровья цыплят перед убоем (в основном слабые или, наоборот, особи с самой большой массой тела); 35 % – от травм при ловле, погрузке и транспортировке; 40 % – от теплового или холодового стрессов [17]. Необходимо отметить, что хуже всего переносят тепловые и транспортировочные стрессы цыплята с самой большой массой тела, чаще всего они погибают первыми [18].

Воду и корм птице обычно не дают до и во время транспортировки, чтобы снизить риск загрязнения тушек пометом [19]. В период транспортировки происходит естественная потеря массы тела, которую называют «усадкой». Она обусловлена испарительным охлаждением птиц вследствие включения механизмов выделения тепла. Высокие температуры и стрессы способствуют увеличению потерь тепла, энергетических соединений, аминокислот, витаминов и других веществ, которые активно расходуются вследствие активации симпатoadrenalовой системы и процессов испарительного охлаждения. Все это способствует не только потерям

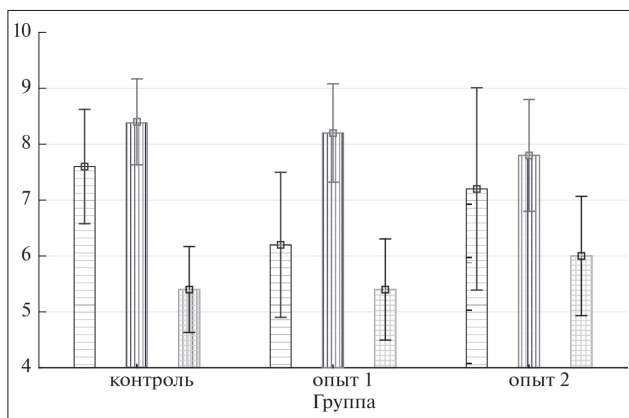


Рис. 2. Относительное содержание моноцитов в крови цыплят, % ($M \pm 0,95CI$): ▨ – моноциты после голодной выдержки; □ – моноциты после транспортировки; ▩ – моноциты перед убоем.

мясной продукции, но и ухудшению качества мяса [20]. В исследованиях L. Pan et al., описаны потери массы тела на 1,8 % у цыплят-бройлеров Arbor Acres в результате 3-х часовой транспортировки на фоне 8-часового периода голодания [21]. Другие авторы отмечают потерю массы тела на уровне 3,16 % на фоне 9-часовой голодной выдержки и 3-х часовой транспортировки, при этом только в результате голодной выдержки потери составили 1,79 % [22].

В нашем исследовании непосредственно перед убоем в контрольной группе произошло увеличение количества базофилов ($p = 0,048$), снижение эозинофилов ($p = 0,0141$) и моноцитов ($p < 0,001$), по сравнению с предыдущим этапом. Соотношение Г/Л находилось на высоком уровне 0,7 и статистически значимо не изменилось.

У цыплят I опытной группы в лейкограмме не произошло статистически значимых изменений, все показатели, включая соотношение Г/Л соответствовали предыдущему этапу, за исключением числа моноцитов, количество которых существенно снизилось на 34,1 % ($p = 0,0001$). У цыплят II опытной группы число гетерофилов возросло на 13,5 % ($p = 0,0480$), а моноцитов снизилось на 23,1 % ($p = 0,0122$). Соотношение Г/Л было стабильным и находилось на уровне 0,41 ($p = 0,1210$).

Табл. 2. Морфологические показатели крови цыплят-бройлеров ($M \pm S_p$, $n = 10$)

Показатель	Группа		
	контрольная	I опытная	II опытная
Лейкоциты , тыс. $\times 10^9/\text{л}$	31,25 $\pm$ 1,81	35,33 $\pm$ 5,07	35,68 $\pm$ 2,19
KW-H Test		$p = 0,1728$	
(контроль – опыт 1 – опыт 2)			
M-W U Test		$p = 0,3913$	$p = 0,0304$
(контроль – опыт)			
M-W U Test		$p = 0,9025$	
(опыт 1 – опыт 2)			
Эритроциты , млн. $\times 10^{12}/\text{л}$	2,94 $\pm$ 0,26	3,03 $\pm$ 0,20	3,04 $\pm$ 0,18
KW-H Test		$p = 0,7341$	
(контроль – опыт 1 – опыт 2)			
M-W U Test		$p = 0,7133$	$p = 0,4705$
(контроль – опыт)			
M-W U Test		$p = 0,9025$	
(опыт 1 – опыт 2)			
Гемоглобин , г/л	109,7 $\pm$ 3,7	118,5 $\pm$ 4,8	125,3 $\pm$ 1,7
KW-H Test		$p = 0,0111$	
(контроль – опыт 1 – опыт 2)			
M-W U Test		$p = 0,0373$	$p = 0,0304$
(контроль – опыт)			
M-W U Test		$p = 0,0662$	
(опыт 1 – опыт 2)			

В сравнительном межгрупповом аспекте, характеризующем действие применяемых фармакологических средств, статистически выраженные различия с контрольной группой отмечены только для численности гетерофилов и лимфоцитов, а также их соотношения. В I опытной группе отношение Г/Л было ниже контроля на 34,3 % ($p < 0,0001$), во II опытной группе – на 41,4 % ($p < 0,0001$). Между первой и второй группами различия оказались статистически не значимыми ($p = 0,1041$).

После голодной выдержки произошло повышение уровня Г/Л во всех группах, однако, степень этих изменений в группах существенно отличается (рис. 1). При сравнении отношения Г/Л в период после голодной выдержки со значением до убоя: в контрольной группе величина этого показателя возросла в 2,3 раза ($p < 0,0001$); в I опытной – на 31,1 % ($p < 0,0001$); во II опытной – на 24,4 % ($p = 0,0001$). Несмотря на то, что во всех опытных группах происходит повышение соотношения Г/Л перед убоем, можно констатировать, что при использовании изучаемых фармакологических средств процессы адаптации прохо-

дят на менее высоком уровне активации, что указывает на эффективность их скормливания цыплятам-бройлерам в предубойный период.

Другим показателем, отражающим четкую динамику изменений, считают содержание моноцитов (рис. 2) и здесь обращает на себя внимание факт статистически достоверного снижения их числа во всех группах к заключительному этапу предубойного периода вне зависимости от применения фармакологических средств. На сегодняшний день функции моноцитов у птиц не до конца изучены, имеются отдельные сведения об их взаимосвязи с уровнем гетерофилов и лимфоцитов, однако убедительных данных в этом отношении в доступной литературе не найдено [23]. Количество моноцитов у цыплят в контрольной группе непосредственно перед убоем, после транспортировки и после голодной выдержки имеет тесную корреляционную связь только с уровнем эозинофилов ($r = 0,92$; $r = 0,80$; $r = 0,67$). Altan Ö. указывает на то, что тепловой стресс оказывает угнетающее влияние на уровень моноцитов в крови цыплят, при этом уровень эозинофилов остается неизменным, тогда как в период голодной выдержки отмечали только незначительное снижение уровня моноцитов и эозинофилов [24]. Эти данные частично согласуются с нашими результатами, однако не позволяют сделать какое-либо достоверное заключение, оставляя вопрос открытым и требующим дальнейших целенаправленных исследований.

Общее количество лейкоцитов и эритроцитов в крови цыплят опытных групп непосредственно перед убоем не отличается от значений величин этих показателей у птиц контрольной группы, в отличие от содержания гемоглобина, концентрация которого в I опытной группе была выше на 7,6 %, во II опытной группе – на 12,5 % (табл. 2). При этом статистически выраженных различий между первой и второй опытными группами не зафиксировано, но можно отметить, что имеется статистическая тенденция повышения показателя во II опытной группе на 5,4 % ($p = 0,0662$).

Bedaňova et al., утверждают, что стрессоры влияют на разные параметры крови, в том числе на концентрацию гемоглобина [6]. Известны результаты наблюдений, доказывающие, что концентрация циркулирующего гемоглобина в крови снижается из-за подвешивания птиц на технологическую линию для убоя или вследствие иммобилизационного стресса. Даже кратковременные стрессовые воздействия способствуют существенному падению уровня гемоглобина в крови [25].

Адаптационные реакции организма птиц напрямую связаны с функционированием надпочечников. Кортикостероиды, синтезируемые надпочечниками, играют определяющую роль в поддержании гомеостаза, развитии стрессовых реакций, функционировании сердечной и скелетных мышц, мозговой деятельности, регулировании электролитов и водно-солевого баланса [26, 27].

Надпочечник цыплят-бройлеров опытных групп располагались в грудобрюшной полости на уровне первых поясничных позвонков, по бокам от аорты на медиовентральной поверхности передней доли почек, имели неправильную треугольную форму, серовато-желтый цвет или цвет охры, у самок левый надпочечник прикрывал яичник. Снаружи надпочечники были покрыты капсулой из соединительной ткани, паренхима их четко не разделялась на корковое и мозговое вещество. Клетки коркового и мозгового вещества образовывали переплетающиеся между собой кортикальные и медуллярные тяжи, преобладали клетки кортикальных тяжей [28, 29]. Последние, в основном имели многогранную форму, формировали по два, три ряда, чаще на периферии органа (рис. 3).

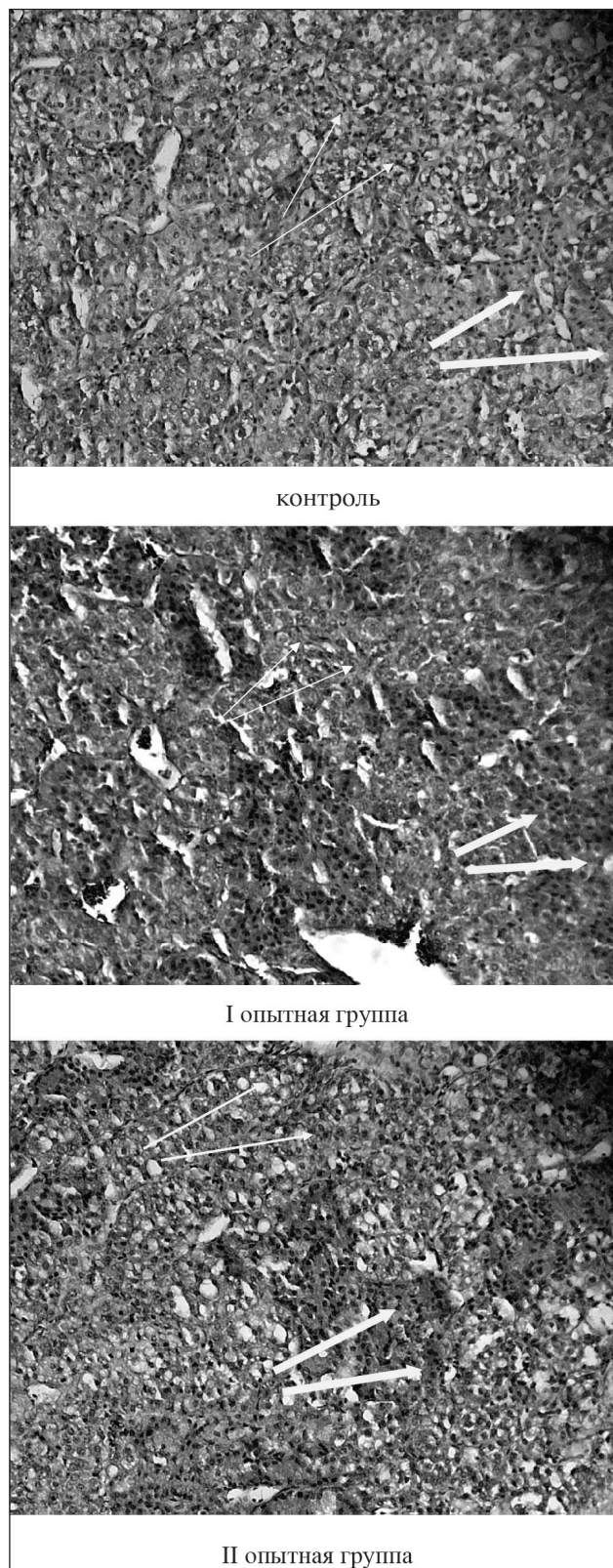


Рис. 3. Надпочечники цыплят-бройлеров, гематоксилин-эозин (ув. 200х): —→ — клетки кортикальных тяжей; —→ — клетки медуллярных тяжей.

Площадь клетки кортикальных тяжей надпочечников достигает максимальных в опыте значений у цыплят контрольной группы и составляет 154,5 мкм², что на 2,3 % выше, чем в I опытной, и на 14,6 %, по сравнению

Табл. 3. Морфометрические показатели клеток кортикальных тяжей надпочечников исследуемых групп птицы, мкм²

Показатель	Группа		
	контрольная	I опытная	II опытная
Площадь клетки, мкм ²	154,50±40,14	151,00±25,91	132,00±18,25
Площадь цитоплазмы, мкм ²	118,42±15,16	105,24±20,40	91,31±17,99**
Площадь ядра, мкм ²	26,08±4,02	45,76±5,82***	40,69±5,18***
Ядерно-цитоплазматическое отношение	22,28±4,15	44,04±3,85***	46,50±12,66***

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

** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$.

со II опытной группой. Площадь цитоплазмы клетки в контроле достигает $118,42 \pm 15,16$ мкм² и превышает величину этого показателя в I и II опытных групп соответственно на 11,2 % и 22,8 % ($p \leq 0,01$). Площадь ядра клеток кортикальных тяжей у птиц контрольной группы имела минимальные в эксперименте значения – $26,08 \pm 4,02$ мкм², в опытных группах она была статистически достоверно ($p \leq 0,001$) выше соответственно на 43,0 % и 36,0 %. Ядерно-цитоплазматическое отношение у исследуемых групп птицы коррелировало с площадью цитоплазмы и ядра, в опытных группах оно статистически достоверно ($p \leq 0,001$) превышало величину этого показателя в контроле соответственно на 49,4 % и 52,1 % (табл. 3).

Даже при кратковременном воздействии стрессоров на организм цыплят-бройлеров происходят изменения морфометрии клеток надпочечников. Так, в опытных группах в клетках кортикальных тяжей надпочечников достоверно увеличивается площадь ядра, что, возможно, связано как со степенью активности синтетических процессов определенных участков хромосом, так и с влиянием антистрессовой кормовой добавки, обладающей антиоксидантными, выраженными метаболическими и стресспротекторными свойствами. Достоверное уменьшение площади цитоплазмы клеток кортикальных тяжей во второй опытной группе может указывать на стабилизацию метаболических процессов в клетке. Деятельность надпочечников регулируют нервная и эндокринные системы, роль гипоталамо-гипофизарно-адреналовой оси и симпатической нервной системы в формировании организмом генерализованного ответа на действие любого стрессора (агента или явления) общепризнана [30].

Представленные данные убедительно демонстрируют стресс-протективные свойства Пик-антистресс и сочетанного его применения с L-карнитином. Одно из действующих веществ Пик-антистресс – карбонат лития. Соли лития влияя на психическую активность животного, не затрагивая нейрорецепторный аппарат мозга, и включаются в регуляцию нейросинаптической активности благодаря ингибированию ферментов, ответственных за главный метаболический путь деградации гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК). Есть основания считать такой способ повышения стрессоустойчивости не только более эффективным, но и более физиологичным [7]. Кормовые добавки, содержащие ГАМК, используют в качестве антистрессовых. При развитии тепловых стрессов они способствуют снижению температуры тела цыплят и увеличению их массы тела. Прием ГАМК значительно повышает уровень гормона трийодтиронина и уровень гемоглобина, снижает соотношение Г/Л, индуцирует более высокую активность фермента печеночной глутатионпероксидазы и снижает содержание малонового диальдегида [31]. Ионы лития, поступающие с кормом и водой, способствуют поддержанию

нормальной возбудимости ЦНС и тонуса кровеносных сосудов благодаря снижению избыточной концентрации норадреналина в ЦНС и нормализации уровня ионов натрия в нервных и мышечных клетках [7, 32].

Другие компоненты кормовой добавки Пик-антистресс так же обладают антистрессовой и антиоксидантной активностью. В птицеводстве хорошо изучено действие аскорбиновой кислоты. Применение ее в дозе 200 мг/кг массы тела увеличивает среднесуточные приросты, уровень гормонов щитовидной железы, инсулиноподобного фактора роста, гемоглобина, общего белка, альбуминов, глобулинов, белков теплового шока, общую антиоксидантную активность, активность каталазы, супероксиддисмутазы, титр антител против вируса болезни Ньюкасла и снижает соотношение Г/Л в крови [33, 34]. Необходимо отметить, что синтез витамина С возможен в организме кур, однако в условиях развития стресса эндогенного уровня L-аскорбиновой кислоты чаще всего недостаточно.

Биологическая роль L-карнитина заключается в выполнении двух важных функций в метаболизме энергии. Он способствует выходу длинноцепочечных жирных кислот в митохондрии в процессе генерирования энергии и удалению из митохондрий короткоцепочечных и среднецепочечных жирных кислот, которые накапливаются в результате нормального и аномального метаболизма. При этом карнитин считают обязательным звеном транспорта длинноцепочечных жирных кислот в митохондрии [35].

Доказана антиоксидантная активность L-карнитина. При высокой плотности посадки птицы он увеличивает активность супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы в эритроцитах, снижает уровень малонового диальдегида и оксида азота (II) NO [36]. Применение петухам приводит к повышению уровня тестостерона и простагландина E2 в плазме крови, значительно увеличивает подвижность сперматозоидов, концентрацию, жизнеспособность, качество спермы, концентрацию семенного малонового диальдегида, активность каталазы и глутатионпероксидазы [37].

Результаты наших предыдущих исследований по изучению комплексных фармакологических средств для промышленного птицеводства, включающих L-карнитин, показали его эффективность и возможность использования в качестве антистрессовых средств при проведении дебикирования ремонтного молодняка в возрасте 3...5 суток, для коррекции теплового стресса при транспортировке птицы в предубойный период [8], при экспериментальном тепловом стрессе в сочетании с ацетилсалициловой кислотой и органическими кислотами [1, 38].

Выводы. Адаптационные процессы, развивающиеся в период убоя цыплят-бройлеров в летний период, характеризуются повышением уровня соотношения Г/Л крови в среднем в 2,8 раз. Применение фармакологического средства Пик-антистресс отдельно и в сочетании с L-карнитином позволяет снизить активность стресс-реализующих механизмов и повысить сохранность цыплят соответственно на 3,20 и 4,58 %, а ЕИП – на 32 и 45 единиц. На фоне антистрессовой профилактики отмечено увеличение площади ядра клеток кортикальных тяжей надпочечников соответственно на 43,0 % и 36,0 % на фоне уменьшения площади их цитоплазмы на 11,2 % и 22,8 %, что указывает на стабилизацию метаболических процессов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-20039, <https://rscf.ru/>

project/24-26-20039 в 2024 году: «Изучение отдельных адаптационных морфологических закономерностей, влияющих на продуктивность кур и цыплят при развитии стрессов в промышленной среде».

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все исследования на птицах, включая убой и отбор проб крови, проведены в процессе их промышленного выращивания в рамках существующего технологического цикла.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

Литература.

1. Фисинин В. И., Сайфульмулюков Э. Р., Мифтахутдинов А. В. Специализированные фармакологические препараты и кормовые добавки, применяемые в птицеводстве для профилактики технологических стрессов: стрессы различной этиологии // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. № 11. С. 75–90. doi: 10.53859/02352451_2023_37_11_75.
2. Scanes C. G. Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio // *Poultry Science*. 2016. Vol. 95. No. 9. P. 2208–2215. doi:10.3382/ps/pew137.
3. Фисинин В. И., Сайфульмулюков Э. Р., Мифтахутдинов А. В. Специализированные фармакологические препараты и кормовые добавки, применяемые в птицеводстве для профилактики технологических стрессов: тепловой стресс (обзор) // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37. № 4. С. 31–47. doi:10.53859/02352451_2023_37_4_31.
4. Фисинин В. И., Коноплева А. П. О физиологических и морфологических процессах в организме птицы при естественной и принудительной линьке // *Сельскохозяйственная биология*. 2015. № 6. С. 719–728.
5. Дроздова, Л. И., Кундрюкова У. И. Печень птицы – живая лаборатория оценки качества кормления и содержания // *Аграрный вестник Урала*. 2010. № 5. С. 68–71.
6. Органические соли лития – эффективные антистрессовые препараты нового поколения / К. С. Остренко, В. П. Галочкина, Е. М. Колоскова и др. // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2017. № 2. С. 5–28.
7. Miftahutdinova E. A., Tikhonov S. L., Tikhonova N. V. Development of lithium-containing feed additive and its use for fortification of chicken broilers meat and by-products // *Theory and Practice of Meat Processing*. 2020. Vol. 5. No. 1. P. 27–31. doi: 10.21323/2414-438X-2020-5-1-27-31.
8. Stress in Broilers Resulting from Shackling / I. Bedanova, E. Voslarova, P. Chloupek, et al. // *Poultry Science*. 2007. Vol. 86. No. 6. P. 1065–1069. doi:10.1093/ps/86.6.1065.
9. Журавель Н. А., Мифтахутдинов А. В., Журавель В. В. Экономическая оценка профилактики стресса у цыплят-бройлеров в предубойный период // *Аграрная наука*. 2018. № 3. С. 39–42.
10. Качество и безопасность мяса цыплят-бройлеров при коррекции предубойного стресса / А. В. Мифтахутдинов, Э. Р. Сайфульмулюков, Е. А. Ноговицина и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 3. С. 71–74. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10314.
11. The effect of different degrees of feed restriction on heat shock protein 70, acute phase proteins, and other blood parameters in female broiler breeders / P. Najafi I. Zulkifli, A. F. Soleimani, et al. // *Poultry Science*. 2015. Vol. 94. No. 10. P. 2322–2329. doi:10.3382/ps/pev246.
12. Negative Trends in Transport-related Mortality Rates in Broiler Chickens / V. Vecerek, E. Voslarova, F. Conte, et al. // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2016. Vol. 29. No. 12. P. 1796–1804. doi: 10.5713/ajas.15.0996.
13. Wurtz K. E., Herskin M. S., Riber A. B. Water deprivation in poultry in connection with transport to slaughter-a review // *Poultry Science*. 2024. Vol. 103. No. 5. P. 103419. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579123009392?via%3Dihub> (дата обращения: 16.06.2024). doi:10.1016/j.psj.2023.103419.
14. Jacobs L., Tuytens F. Improving welfare in catching and transport of chickens. *Understanding the Behaviour and Improving the Welfare of Chickens*. London, 2020. P. 417–458. doi: 10.19103/AS.2020.0078.
15. Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: A review / K. Schwartzkopf-Genswein, L. Faucitano, S. Dadgar, et al. // *Meat science*. 2012. Vol. 92. No. 3. P. 227–243. doi: 10.1016/j.meatsci.2012.04.010.
16. Temperature gradients in trailers and changes in broiler rectal and core body temperature during winter transportation in Saskatchewan / T. D. Knezacek, A. A. Olkowski, P. J. Kettlewell, et al. // *Canadian Journal of Animal Science*. 2010. Vol. 90. No. 3. P. 321–330. doi: 10.4141/CJAS09083.
17. Ritz C., Webster A., Czarick M. Evaluation of hot weather thermal environment and incidence of mortality associated with broiler live haul // *Journal of Applied Poultry Research*. 2005. Vol. 14. No 3. P. 594–602. doi:10.1093/japr/14.3.594.
18. Impact of heat stress on broilers with varying body weights: Elucidating their interactive role through physiological signatures / S. Gogoi, G. Kolluri, J. S. Tyagi, et al. // *Journal of Thermal Biology*. 2021. Vol. 97. P. 102840 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306456521000073?via%3Dihub>. (дата обращения: 16.06.2024). doi: 10.1016/j.jtherbio.2021.102840.
19. Campylobacter contamination of broilers: the role of transport and slaughterhouse / G. Rasschaert, L. De Zutter, L. Herman // *International Journal of Food Microbiology*. 2020. Vol. 322. P. 108564. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160520300581?via%3Dihub> (дата обращения: 16.06.2024). doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108564.
20. Health E.P.O.A., Welfare. Scientific Opinion concerning the welfare of animals during transport / A. Botner, D. Broom, M. Doherr, et al. // *EFSA Journal*. 2011. Vol. 9. No. 1. P. 1966. URL: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1966> (дата обращения: 16.06.2024). doi: 10.2903/j.efsa.2011.1966.
21. Zhao Forsythia suspensa extract attenuates breast muscle oxidative injury induced by transport stress in broilers / L. Pan, X. K. Ma, P. F., et al. // *Poult Sci*. 2018. Vol. 97. No. 5. P. 1554–1563. doi: 10.3382/ps/pey012.
22. L-theanine attenuates transport stress-induced impairment of meat quality of broilers through improving muscle antioxidant status / C. Zhang, Z. Y. Geng, K. K. Chen, et al. // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98. No. 10. P. 4648–4655. doi: 10.3382/ps/pez164.
23. *Sturkie's Avian Physiology*. 6th Ed. By Colin Scanes (editor). Elsevier Inc., Waltham, Massachusetts. 2015. 1056 pp. ISBN 978-0-12-0407160-5 doi:10.1016/C2012-0-02488-X.
24. Effects of Heat Stress on Some Blood Parameters in Broilers / Ö. Altan, A. Altan, M. Cabuk, et al. // *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*. 2000. Vol. 24. P. 145–148. URL: <https://journals.tubitak.gov.tr/veterinary/vol24/iss2/8> (дата обращения: 16.06.2024).

25. Diffuse reflectance spectroscopy reveals heat stress-induced changes in hemoglobin concentration in chicken breast / S. Dadgar, E. Greene, A. Dhamad, et al. // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. No. 1. P. 3649. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-021-83293-y> (дата обращения: 16.06.2024). doi: 10.1038/s41598-021-83293-y.
26. de Matos R. Adrenal steroid metabolism in birds: anatomy, physiology, and clinical considerations // *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*. 2008. Vol. 11. No. 1. P. 35–57. doi: 10.1016/j.cvex.2007.09.006.
27. Impact of Housing Environment on the Immune System in Chickens: A Review / T. Hofmann, S. S. Schmucker, W. Bessei, et al. // *Animals (Basel)*. 2020. Vol. 10. No. 7. URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/10/7/1138> (дата обращения: 16.06.2024). doi: 10.3390/ani10071138.
28. Морфофункциональное состояние надпочечников цыплят-бройлеров при различных способах содержания / С. В. Козлова, К. А. Сидорова, Н. А. Татарникова и др. // *Научный журнал КубГАУ*. 2017. № 134 (10). С. 1–11. URL: <http://ej.kubagro.ru/2017/10/pdf/90.pdf> (дата обращения: 16.06.2024).
29. Chronic welfare restrictions and adrenal gland morphology in broiler chickens B. R. Müller, Hisly Any S. Medeiros, R. S. de Sousa, et al. // *Poultry Science*. 2015. Vol. 94. No. 4. P. 574–578. doi: 10.3382/ps/pev026.
30. Взаимосвязь нервной, иммунной, эндокринной систем и факторов питания в регуляции резистентности и продуктивности животных (обзор) / В. А. Галочкин, К. С. Остренко, В. П. Галочкина и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. № 4. С. 673–686. doi: 10.15389/agrobiology.2018.4.673rus.
31. Alleviation by gamma amino butyric acid supplementation of chronic heat stress-induced degenerative changes in jejunum in commercial broiler chickens R. A. Al Wakeel, M. Shukry, A. Abdel Azeez, et al. // *Stress*. 2017. Vol. 20. No. 6. P. 562–572. doi: 10.1080/10253890.2017.1377177.
32. Chronic lithium chloride administration attenuates brain NMDA receptor-initiated signaling via arachidonic acid in unanesthetized rats / M. Basselin, L. Chang, J. M. Bell, et al. // *Neuropsychopharmacol.* 2006. Vol. 31. No. 8. P. 1659–1674. doi: 10.1038/sj.npp.1300920.
33. Effect of dietary supplemental ascorbic acid and folic acid on the growth performance, redox status, and immune status of broiler chickens under heat stress / A. Gouda, S. A. Amer, S. Gabr, et al. // *Tropical Animal Health and Production*. 2020. Vol. 52. No. 6. P. 2987–2996. doi: 10.1007/s11250-020-02316-4.
34. Production performance, hematological parameters, serum biochemistry, and expression of HSP-70 in broiler chickens fed dietary ascorbic acid during heat stress / A. Biswas, C. Deo, D. Sharma, et al. // *International Journal of Biometeorology*. 2024. Vol. 68. No. 1. P. 33–43. doi: 10.1007/s00484-023-02568-3.
35. L-карнитин: применение в животноводстве (обзор литературы) / Л. И. Сабирзянова, А. М. Лунегов, Г. В. Коновалова и др. // *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2023. № 1 (57). С. 25–31. doi: 10.24412/2074-5036-2023-1-25-31.
36. Çetin E., Güçlü B. K. Effect of dietary L-carnitine supplementation and energy level on oxidant/antioxidant balance in laying hens subjected to high stocking density // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Berl)*. 2020. Vol. 104. No. 1. P. 136–143. doi: 10.1111/jpn.13210.
37. The capability of L-carnitine-mediated antioxidant on cock during aging: evidence for the improved semen quality and enhanced testicular expressions of GnRH1, GnRHR, and melatonin receptors MT 1/2 / A. A. Elokil, A. A. Bhuiyan, H. Z. Liu, et al. // *Poultry Science*. 2019. Vol. 98. No. 9. P. 4172–4181. doi: 10.3382/ps/pez201.
38. Сохранение производственных показателей у цыплят-бройлеров в условиях теплового стресса / Г. Ю. Бабин, Т. В. Полуночкина, С. Г. Дорофеева и др. // *Аграрная наука*. 2022. № 1. С. 19–23. doi: 10.32634/0869-8155-2022-355-1-19-23.

Поступила в редакцию 09.07.2024
После доработки 29.07.2024
Принята к публикации 13.08.2024

ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИИ ГЕПАТОПРОТЕКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ И МОРФО-СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ КУР-НЕСУШЕК ПРИ ТЕПЛОВОМ СТРЕССЕ

© 2024 г. Л. И. Дроздова, доктор ветеринарных наук, А. С. Красноперов, кандидат ветеринарных наук, О. Ю. Опарина, кандидат ветеринарных наук, С. В. Малков, кандидат ветеринарных наук, А. И. Белоусов, доктор ветеринарных наук, А. Е. Черницкий, доктор биологических наук

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук,
620142, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а
E-mail: marafon.86@list.ru

Для снижения негативного влияния гипертермии на организм сельскохозяйственных животных и птицы на сегодняшний день применяют различные препараты и кормовые добавки, не обладающие в достаточной степени адаптогенными и антитоксическими свойствами. Цель исследования – изучение влияния гепатопротективной композиции, состоящей из высушенных живых дрожжей, аморфного диоксида кремния, пропиленгликоля, пропионата кальция, аскорбиновой кислоты, хелатов марганца, меди и цинка, метионина и холина хлорида, на изменчивость биохимических и морфологических показателей организма кур-несушек при температурном стрессе, который был смоделирован путем повышения температуры воздуха в помещении, в котором содержали кур-несушек, с $18,0 \pm 1,0$ °C до $28,0 \pm 1,0$ °C на 48 ч. В ходе эксперимента наблюдали изменения биохимических и морфофункциональных параметров в тканях и органах птиц вследствие гипертермии. Биохимические показатели сыворотки крови птиц контрольной группы свидетельствовали о напряженности адаптационных возможностей их организма. Это подтверждал комплекс морфологических изменений, характерных для нарушений белкового обмена и восстановительно-компенсаторного процесса. Выявлены патологические изменения в структуре двенадцатиперстной кишки, характерные для катарально-некротического дуоденита. Стресс-реакция отражалась и на состоянии сердечной мышцы, в которой на фоне зернистой дистрофии кардиомиоцитов развивался воспалительный процесс. У птиц опытной группы результаты биохимических исследований сыворотки крови указывали на усиление антистрессовой реакции на температурный раздражитель под действием исследуемой композиции (тенденция к увеличению глюкозы и кальция, повышение активности щелочной фосфатазы на 47,4 %). Введение в рацион кур-несушек гепатопротективной композиции в период температурного стресса не приводило к нарушению структуры тканей и органов, сохраняя клеточные механизмы метаболизма. Комплекс изменений во внутренних органах птиц опытной группы не носил патологических признаков, а указывал на активное протекание адаптационных и регенеративных процессов.

THE EFFECT OF THE COMPOSITION OF HEPATOPROTECTIVE ACTION ON BIOCHEMICAL AND MORPHOSTRUCTURAL CHANGES IN THE BODY OF LAYING HENS UNDER THERMAL STRESS

L. I. Drozdova, A. S. Krasnoperov, O. Yu. Oparina, S. V. Malkov, A. I. Belousov, A. E. Chernitskiy

Ural Federal Agrarian Scientific Research Center,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
620142, Ekaterinburg, ul. Belinskogo, 112a
E-mail: marafon.86@list.ru

To reduce the negative effects of hyperthermia on the body of farm animals and poultry, various drugs and feed additives are currently used. Which do not have sufficiently adaptogenic and antitoxic properties. We studied the effect of a hepatoprotective composition consisting of dried live yeast, amorphous silicon dioxide, propylene glycol, calcium propionate, ascorbic acid, manganese, copper and zinc chelates, methionine and choline chloride on the variability of biochemical and morphological parameters of the body of laying hens under temperature stress. It was simulated by increasing the air temperature in a building where laying hens were kept from 18.0 ± 1.0 °C to 28.0 ± 1.0 °C for 48 hours. Due to hyperthermia, changes in biochemical and morphofunctional parameters were observed in the tissues and organs of birds. The obtained values of the biochemical parameters of blood serum in the birds of the control group indicated the intensity of the adaptive capabilities of their body. A complex of morphological changes confirmed a violation of protein metabolism and the regenerative-compensatory process. Pathological changes in the structure of the duodenum, characteristic of catarrhal-necrotic duodenitis, were identified. The stress reaction was also reflected in the condition of the heart muscle, in which an inflammatory process developed against the background of granular dystrophy of cardiomyocytes. The results of biochemical studies of blood serum in birds of the experimental group indicated an increase in the anti-stress response to a temperature stimulus under the influence of the studied composition (tendency to increase glucose and calcium, increase alkaline phosphatase activity by 47.4 %). The introduction of a hepatoprotective composition into the diet of laying hens during periods of temperature stress did not lead to disruption of the structure of tissues and organs, preserving cellular metabolic mechanisms. The complex of changes in the internal organs of birds of this group did not have pathological signs. Pointed to the active occurrence of adaptation and regenerative processes.

Ключевые слова: птицеводство, куры-несушки, гепатопротективная композиция, температурный стресс, биохимические исследования, гистологические исследования.

Keywords: poultry farming, laying hens, hepatoprotective composition, temperature stress, biochemical studies, histological studies.

В последние десятилетия в России наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха, что затрудняет адаптацию сельскохозяйственных животных и птиц к изменяющимся условиям окружающей среды [1, 2]. Интенсификация процессов промышленного выращивания птицы сопровождается различными факторами стресса. Из-за физиологических особенностей организма высокие температура и влажность воздуха в птичниках наиболее опасны для кур. Такие условия приводят к снижению их продуктивности, способствуют развитию иммунодепрессии и увеличению количества случаев падежа [3, 4].

В условиях современного промышленного производства ключевые этапы борьбы с температурными стрессами – совершенствование системы кормления и содержания, оптимизация технологий вентиляции и увлажнения, селекция на теплоустойчивость (в том числе по гену голошейности), оптимизация процессов инкубации, вакцинация *in ovo*, снижение плотности посадки птицы [5, 6, 7].

Высокая температура воздуха в помещениях активирует эффекторные системы организма птиц и усиливает их функциональную активность. Один из инструментов преодоления негативного влияния гипертермии – своевременное применение препаратов и кормовых добавок, обладающих адаптогенными и антиоксидантными свойствами. Поэтому изучение способов «смягчения» негативного воздействия гипертермии на различные физиологические параметры, поведенческие реакции, продуктивность, а также гематологические, биохимические и морфологические показатели представляет собой важный аспект научных исследований [8, 9, 10].

Цель исследования – изучить влияние гепатопротективной композиции на биохимические и морфологические показатели организма кур-несушек при температурном стрессе.

Методика. Исследования проводили на базе отдела экологии и незаразной патологии животных Уральского научно-исследовательского ветеринарного института – структурного подразделения ФГБНУ УрФАНИИЦ УрО РАН. Работу выполняли в июне–июле 2023 г. на курах-несушках промышленного стада кросса Декалб Уайт 36-недельного возраста. Длительность опыта составляла 66 дней.

Для постановки эксперимента по принципу параналогов с учётом живой массы и продуктивности были сформированы 2 группы птиц (опытная и контрольная) по 10 голов в каждой. Комплектование групп и маркировку птиц осуществляли за 7 дней до начала эксперимента. Содержание кур-несушек напольное в групповых клетках с соблюдением зооигиенического диапазона норм выращивания и кормления в соответствии с рекомендациями для изучаемого кросса. Поение проводили водой, соответствующей ГОСТ Р 51232–98 с использованием проточных поилок, кормление – полнорационным рассыпным комбикормом для кур-несушек ПК-1–2 (ОАО «Богдановичский комбикормовый завод», Россия). До моделирования теплового стресса и после завершения его воздействия температура воздуха составляла $18,0 \pm 1,0$ °C, длительность светового дня – 8 ч, интенсивность освещения – 5...6 люкс, влажность воздуха – 60...65 %, скорость движения воздуха на уровне содержания птицы – 2,0...2,5 м/с.

В течение 8-го и 9-го дня эксперимента (всего 48 ч) температуру воздуха в птичнике, где содержали кур, повышали с $18,0 \pm 1,0$ °C до $28,0 \pm 1,0$ °C с помощью инфракрасных ламп мощностью 250 Вт и поддерживали в заданном диапазоне. Другие параметры микроклимата оставались неизменными.

С первого дня эксперимента к основному рациону птиц опытной группы добавляли композицию с гепатопротективным действием в количестве 200 мг на 1 голову (согласно рекомендациям разработчика), в течение 7 дней до, во время (48 ч) и 7 дней после повышения температуры в помещении. В состав композиции входили следующие компоненты: высушенные живые дрожжи – 180 г/кг, аморфный диоксид кремния – 60 г/кг, пропиленгликоль – 75 г/кг, пропионат кальция – 25 г/кг, аскорбиновая кислота – 5 г/кг, хелаты марганца – 10 г/кг, меди – 5 г/кг и цинка – 2 г/кг, метионин – 10 г/кг, а также холин хлорид – 15 г/кг. Куры-несушки контрольной группы получали только основной рацион. Наблюдение за физиологическим состоянием птиц проводили ежедневно методом клинического осмотра.

Изучение морфологических и функциональных изменений в организме экспериментальных кур-несушек при моделировании теплового стресса и применении гепатопротективной композиции проводили с использованием биохимических и гистологических методов.

Отбор крови для биохимических исследований осуществляли перед началом скормливания композиции (1-й день опыта – фон), после окончания воздействия стрессового фактора (10-й день опыта) и после завершения опыта (66-й день опыта). Образцы крови отбирали в вакуумные пробирки с активатором свёртывания.

Биохимические исследования сыворотки крови проводили на автоматическом биохимическом и иммуноферментном анализаторе Chem Well-2910 Combi (Awaveness Technology, США) в строгом соответствии с методиками, рекомендованными Международной федерацией клинической химии IFCC, с применением стандартных наборов реактивов от компаний Vital Diagnostics Spb (Россия) и DIALAB GmbH (Австрия).

Для оценки отдаленных последствий температурного стресса и влияния гепатопротективной композиции на организм кур-несушек на 66-й день эксперимента проводили морфологические исследования: отбирали пробы сердца, легкого, печени, почек, селезенки, двенадцатиперстной кишки и поджелудочной железы, тимуса, скелетной мускулатуры. Для изготовления образцов материал иссекали на кусочки толщиной 3...5 мм, фиксировали в 10 %-ном растворе нейтрального забуференного формалина с последующей обработкой по стандартной методике на гистопроцессоре карусельного типа Eprelia STP 120 (Eprelia, Китай). После этой процедуры кусочки заливали в парафиновые блоки, из которых изготавливали срезы толщиной 3 мкм на микротоме Microm HM450 (Thermo Fisher Scientific, Германия). Для окраски использовали стандартные методики, включающие депарафинизацию, окрашивание в гематоксилине по методу Кариаци и эозина (10:2 минуты), последующую очистку в спиртах, дегидратацию в ксилоле и заключение в синтетическую смолу [11, 12]. Микроскопические препараты исследовали с использованием микроскопа Olympus BX 43 (Olympus, Япония), микрофотографирование проводили цифровой камерой ADF Professional 03 (ADF, США).

При оценке влияния композиции гепатопротективного действия на организм кур-несушек и степень их адаптационных возможностей к предшествующему стресс-фактору особое внимание обращали на морфологическую структуру и функциональные особенности двенадцатиперстной кишки, поджелудочной железы и печени [7, 9].

Статистический анализ данных проводили с использованием программы Statistica 10.0. Данные представляли в формате: среднее (М) ± стандартное отклонение

Биохимические показатели кур-несушек в период эксперимента

Показатель	Фоновые значения	Контрольная группа		Опытная группа	
		после стресса	после окончания опыта	после стресса	после окончания опыта
Общий белок, г/л	56,99±4,65	49,97±3,94	55,50±4,16	44,75±1,77	53,50±3,33
Альбумины, г/л	17,95±1,07	15,07±1,17	20,60±1,70	14,75±0,21	20,05±1,08
Глобулины, г/л	39,04±4,39	34,90±3,75	34,90±3,36	30,00±1,56	33,45±2,73
Фосфор, ммоль/л	2,41±0,63	1,90±0,18	3,00±1,34	1,75±0,35	2,40±0,81
Кальций, ммоль/л	5,67±0,98	4,05±0,71	5,07±0,22	4,85±0,07	5,30±0,36
Соотношение Са/Р, у.е.	2,35±0,19	2,13±0,21	1,69±0,15	2,31±0,17	2,21±0,20*
Мочевая кислота, ммоль/л	457,42±174,95	787,00±419,58	316,45±37,07	584,20±405,45*	359,20±100,32
Холестерин, ммоль/л	3,53±1,24	3,22±1,28	3,12±0,22	2,20±0,28*	3,45±0,42
АЛТ, Ед./л	22,90±7,96	5,00±2,58	14,67±8,02	4,50±0,71	4,00±2,16*
АСТ, Ед./л	258,00±77,02	250,50±24,12	226,25±17,99	252,50±31,82	209,50±9,19
Щелочная фосфатаза, Ед./л	296,00±78,77	1266,25±354,37	411,25±152,14	1002,00±256,86*	606,00±300,98*
Глюкоза, ммоль/л	12,38±0,81	11,92±0,69	12,27±0,62	12,65±0,64	12,35±0,48

*различия с контрольной группой достоверны при $p < 0,05$.

(SD), достоверность различий между выборками определяли с помощью U-критерия Манна–Уитни.

Результаты и обсуждение. После завершения температурного стресса в плазме крови птицы интактной и опытной групп регистрировали симметричное снижение общего белка на 12,3...21,5 %, альбуминов – на 16,0...17,8 %, холестерина – на 8,8...37,7 %, общего кальция – на 14,5...28,6 % и неорганического фосфора – на 27,4...29,5 % (см. таблицу). Выявленные изменения в первую очередь отражали степень негативного воздействия гипертермии на организм, которая была более отчетливо выражена у особой контрольной группы.

Один из показателей, отражающих углеводный обмен кур, – количество глюкозы в сыворотке крови. Отмечена тенденция к уменьшению ее уровня на 3,7 % ($p > 0,05$) после окончания воздействия стресс-фактора у птицы интактной группы, по сравнению с исходным, что, вероятно, обусловлено напряженностью иммунной системы вследствие воздействия внешнего раздражителя и ингибирования глюконеогенеза. У особой опытной группы отмечали изменения противоположной направленности (см. таблицу). Это свидетельствует о различной фазе резистентности исследуемых групп птиц. С другой стороны, наблюдаемые метаболические перестройки могут указывать на активацию катаболических процессов для поддержания энергетического гомеостаза [3, 5, 6].

Применение гепатопротективной композиции курам-несушкам усиливало антистрессовую реакцию на температурный раздражитель, что выражалось в некоторых изменениях основных биохимических показателей, но могло оказывать дополнительную функциональную нагрузку на организм птицы. Так, у птиц опытной группы после стресса содержание в сыворотке крови мочевой кислоты было ниже ($p < 0,05$), чем в контроле, на 25,8 %, холестерина – на 31,7 %, активность щелочной фосфатазы – на 20,9 %.

Однако к окончанию научно-производственных испытаний происходило восстановление ранее упомянутых метаболических показателей. Параметры крови кур-несушек опытной группы, характеризующие статус минерального питания, незначительно превосходили таковые у птицы интактной группы (см. таблицу). Однако кальций-фосфорное соотношение и активность щелочной фосфатазы были соответственно на 30,8 % и 47,4 % выше, чем в контроле ($p < 0,05$). Аналогично наблюдали тенденцию к накоплению общего холестерина в сыворотке крови кур, получавших композицию гепатопротективного действия, что также можно расценить как положительный метаболический эффект.

Параметры белкового и углеводного обмена к концу наблюдений (см. таблицу) в анализируемых группах заметно не различались и соответствовали физиоло-

логическим и возрастным особенностям кур-несушек [3, 5]. После завершения опытного периода наблюдали стабильность параметров мочевой кислоты, которые не превышали физиологической нормы [3, 5], что позволяет расценивать азотистый баланс у кур обеих групп как равновесный.

К концу эксперимента по результатам анализа индикаторных ферментов, характеризующих функциональное состояние печени, выявлено более существенное снижение активности трансаминаз у кур-несушек опытной группы. Так, активность аланинаминотрансферазы у этих птиц была на 72,7 % ($p < 0,05$) ниже, чем

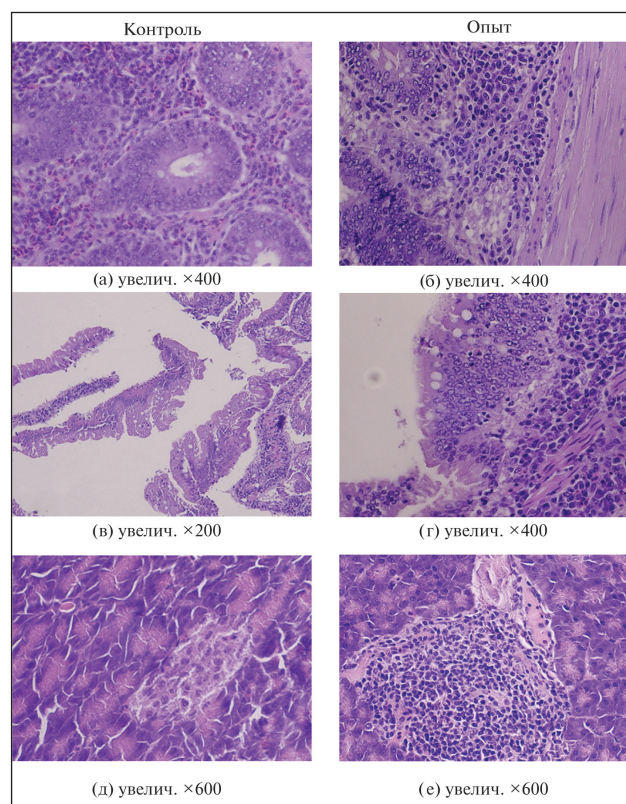


Рис. 1. Гистологическая структура органов (двенадцатиперстная кишка, поджелудочная железа) кур-несушек. Окраска гематоксилином и эозином (фото Дроздовой Л. И.): а – псевдоэозинофилия в межзудочной ткани железистого аппарата двенадцатиперстной кишки; б – гиперсекреция слизи, слизистый катаральный дуоденит; в – катарально-некротический дуоденит, некроз и десквамация пластов эпителия ворсинок; г – выпотевание слизистого экссудата в просвет двенадцатиперстной кишки; д – островок Лангерганса поджелудочной железы, снижение секреции; е – гиперсекреция и гиперплазия островков Лангерганса.

в контроле. Выявленные изменения подтверждают гепатопротективное действие исследуемой композиции.

В результате анализа гистопрепаратов от интактных кур-несушек после завершения эксперимента выявлен комплекс патологических изменений в структуре двенадцатиперстной кишки, характерный для катарально-некротического дуоденита. Наряду с умеренной гиперсекрецией отдельных бокаловидных клеток визуализирован процесс некроза и десквамации эпителиального слоя ворсинок. При изучении железистого аппарата двенадцатиперстной кишки выявлена псевдоэозинофилия межклеточной (интерстициальной) ткани с полиморфноклеточной инфильтрацией (рис. 1).

У особей контрольной группы поджелудочная железа демонстрировала активную секрецию, однако островки Лангерганса были уменьшены в размере и не проявляли признаков активации. Кроме того, выявлена жировая метаплазия, которая характеризовалась разрастанием жировой клетчатки в интерстициальной соединительнотканной строме железы, представляя собой процесс очаговой атрофии поджелудочной железы (см. рис. 1).

При проведении гистологического анализа двенадцатиперстной кишки птицы из опытной группы обнаружены признаки катарального дуоденита, представленные активными процессами образования слизи бокаловидными клетками эпителия ворсинок и интенсивным полиморфным клеточным наложением в межворсинчатом пространстве. На отдельных участках слизистой оболочки наблюдали процесс выпотевания слизистого секрета в просвет кишечника (см. рис. 1).

В поджелудочной железе птиц опытной группы отмечены процессы избыточной секреции, сопровождающиеся активизацией островков Лангерганса и их частичным перерождением, что возможно обусловлено применением гепатопротективной композиции (см. рис. 1).

На гистологических срезах печени интактных птиц у 50 % особей выявлено утолщение Глиссоновой капсулы. Структура органа у всех кур-несушек не претерпела изменений: печеночные балки и система триад были хорошо видны. В гепатоцитах печени четко выражены ядро и цитоплазма с мелкодисперсной белковой зернистостью, что свидетельствует о нарушении белкового обмена в виде зернистой дистрофии гепатоцитов. В 70 % случаев, наряду с зернистой дистрофией гепатоцитов, наблюдали мелкокапельную жировую дистрофию в центральной лобулярной зоне, срединное расположение ядра в гепатоцитах сохранено. Кроме того, выявлены признаки застоя крови в микроциркуляторных сосудах и лимфоидная инфильтрация в периваскулярной зоне триады. Весь патологический процесс, обнаруженный в печени исследуемой птицы, можно охарактеризовать как гепатоз на фоне развивающегося гепатита (см. рис. 2).

При исследовании гистологических препаратов печени кур-несушек опытной группы выявлен комплекс адаптационных и регенеративных процессов. Во всех образцах регистрировали только зернистую дистрофию с незначительным отёком. Архитектура печеночных долек и балок оставалась неизменной, ядра гепатоцитов были одинаковой величины с присутствием двуядерных клеток, что указывало на процессы регенерации печеночной ткани. В синусоидах обнаружены отдельные клетки крови (рис. 2).

При изучении морфологической структуры сердечной мышцы птиц контрольной группы выявлены признаки комплексного поражения, отображающие сердечно-почечный синдром. В сердечной мышце наблюдали миокардиодистрофию, которая характерна для

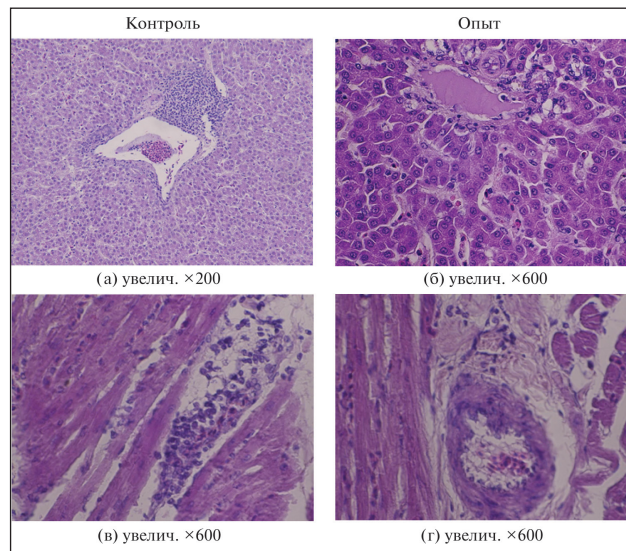


Рис. 2. Гистологическая структура органов (печень, сердечная мышца) кур-несушек, окраска гематоксилином и эозином (фото Дроздовой Л. И.): а – полиморфноклеточная периваскулярная инфильтрация в системе триады на фоне зернистой дистрофии гепатоцитов; б – зернистая дистрофия гепатоцитов, отек межклеточной ткани в системе триады; в – признаки миокардита в сердечной мышце; г – периваскулярный отек и пролиферация элементов сосудистой стенки, зернистая дистрофия кардиомиоцитов.

нарушений белкового обмена веществ. Это визуализировалось в виде зернистой дистрофии миокардиоцитов и таких структурных изменений в микроциркуляторном русле сосудов, как атеросклероз и очаговый некроз проводящей системы сердца волокон Пуркинью (см. рис. 2). На гистосрезках миокарда кур опытной группы патологических изменений не выявлено, за исключением незначительных изменений в стенке кровеносных сосудов, что можно отнести к компенсаторно-приспособительным и восстановительным процессам.

При изучении микроструктуры почек контрольной группы птиц выявлены значительные изменения как в корковом, так и в мозговом слоях органа. Наиболее существенные признаки нарушения белкового обмена обнаружены в корковом слое почек в виде зернистой дистрофии нефроцитов и внеклеточного отложения амилоида по ходу кровеносных сосудов, имела место гиперемия и нарушения проницаемости стенок сосудов с диапедезными или более обширными кровоизлияниями, периваскулярными отеками, тромбозами. В клубочковом аппарате наблюдали диффузный экстракапиллярный гломерулит (рис. 3).

На основе результатов исследования препаратов почек опытной группы кур-несушек установлены изменения, характерные для процессов выведения токсических веществ из организма птицы. Это нашло отражение в гломерулите и некоторых незначительных дистрофических изменениях в канальцевом аппарате почек, что подтверждает положительное воздействие гепатопротективной композиции на организм (см. рис. 3).

Анализ гистологических срезов селезенки кур-несушек контрольной группы выявил активную гиперплазию клеток лимфоидного ряда и инфильтрацию плазмоклетками, что указывает на активное производство антител (рис. 3). При исследовании препаратов селезенки птиц опытной группы также наблюдали незначительную гиперплазию, связанную с увеличением количества центров размножения. А отсутствие в ее

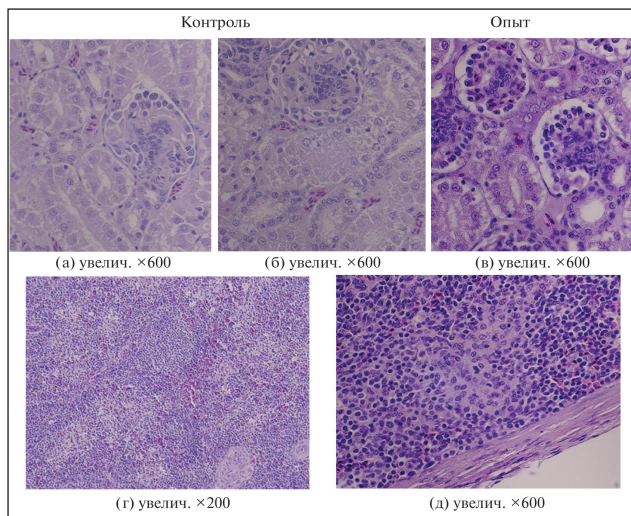


Рис. 3. Гистологическая структура органов (почки, селезенка) кур-несушек. Окраска гематоксилином и эозином (фото Дроздовой Л. И.): а – амилоидоз клубочка, зернистая дистрофия нефроцитов; б – некроз эпителия извитых канальцев почки, амилоидоз клубочка; в – гломерулит и нарушение белкового обмена в нефроцитах; г – гиперплазия селезенки; е – очаги гиперплазии в пульпе селезенки.

красной пульпе глыбок гемосидерина свидетельствует о нормализации процессов детоксикации (см. рис. 3).

В легочной системе птиц контрольной группы наблюдали периваскулярный отек, утолщение стенки бронхов среднего размера и бронхиол с усиленным отделением слизи, что служит признаком компенсации сердечной недостаточности. Скелетная мускулатура кур-несушек этой группы не имела признаков повреждения, поперечнополосатая исчерченность мышечных волокон была четко выражена, в перимизии отмечали единичные жировые вакуоли, то есть почти полное исчезновение жира в межмышечной соединительной ткани.

В легочной ткани птиц опытной группы обнаружен незначительный отек. В миокарде и скелетных мышцах патологических процессов не выявлено, за исключением незначительных изменений в стенках кровеносных сосудов, что также может быть обусловлено компенсаторно-приспособительными и регенеративными процессами.

При сравнительном исследовании препаратов тимуса кур контрольной и опытной групп выявлены некоторые изменения, касающиеся в основном мозговой зоны и межучной соединительной ткани. Так, на препаратах тимуса птицы опытной группы мозговая зона превалировала над корковой, в ней в местах расположения телец Гассалья отмечали процессы их инволюции, одновременно с этим наблюдали формирующиеся одиночные

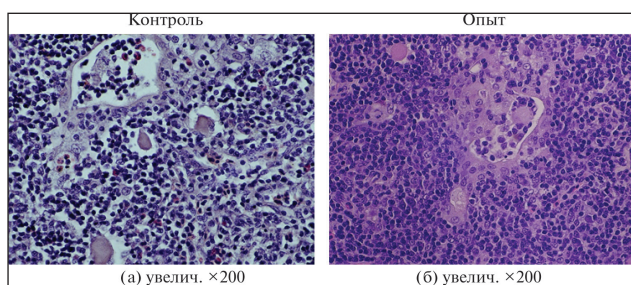


Рис. 4. Гистологическая структура органов (тимус) кур-несушек. Окраска гематоксилином и эозином (фото Дроздовой Л. И.): а – фагоцитоз псевдоэозинофилами некротизированного тельца Гассалья; б – инволюция телец Гассалья.

тельца Гассалья (рис. 4). У особой контрольной группы в мозговой зоне, которая также была больше корковой, обнаружены процессы гиперплазии телец Гассалья и ярко выраженные изменения, характерные для их фагоцитоза псевдоэозинофилами (см. рис. 4).

Выводы. Отмечена различная степень адаптационных реакций организма кур-несушек на температурный стресс-фактор, который подтверждался некоторыми изменениями биохимических и морфоструктурных показателей.

Установленные вариации значений биохимических показателей при гипертермии свидетельствовали о напряженности адаптационных возможностей организма птиц контрольной группы. Это подтверждал комплекс морфологических изменений, характерный для нарушений белкового обмена и восстановительно-компенсаторного процесса, за исключением альтерации в почечной ткани, которая выходила за рамки компенсаторного этапа, переходя в разряд патологической. Выявлены патологические изменения в структуре двенадцатиперстной кишки, свойственные для катарально-некротического дуоденита. Стресс-реакция отражалась и на состоянии сердечной мышцы, в которой на фоне зернистой дистрофии кардиомиоцитов развивался воспалительный процесс.

Введение в рацион кур гепатопротективной композиции в течение 7 дней до, во время (48 ч) и 7 дней после температурного стресса не приводит к нарушению структуры тканей и органов, сохраняя клеточные механизмы метаболизма. Кроме того, по результатам применения в рекомендованной дозе рассматриваемую композицию можно отнести к группе повышающих резистентность организма птицы благодаря усилению деятельности дезинтоксикационной функции печени и выделительной функции почек. В то же время, исследуемая композиция не способна полностью нивелировать негативное воздействие гипертермии на организм кур-несушек, однако полученные данные имеют теоретическое значение для разработки новых подходов к коррекции теплового стресса в промышленном птицеводстве.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств федерального бюджета в рамках выполнения Государственного задания 0532-2021-0009 «Разработка биологических технологий управления здоровьем животных и прижизненного формирования качества продукции животноводства и птицеводства» в соответствии с Программой ФНИ государственных академий наук по направлению 4.2.1.5 «Разработка технологий прижизненного управления качеством животноводческого сырья для получения высококачественных и безопасных продуктов питания».

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все процедуры с птицей в эксперименте выполняли в соответствии с международными и национальными рекомендациями по уходу и использованию животных (<https://oacu.oir.nih.gov/regulations-standards>), согласно разрешению № 86 экспертной комиссии ФГБНУ УрФАНЦ УрО РАН от 10.06.2024 г.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

Литература.

1. Факторы микроклимата и их влияние на организм молодняка крупного рогатого скота / И. А. Шкуратова, Н. А. Вережак, А. И. Белоусов и др. // Вопросы нормативно-правового регулирования в ве-

- теринарии. 2019. № 4. С. 114–118. doi: 10.17238/issn2072-6023.2019.4.114.
2. Царев П. Ю. Характеристика лейкоцитов крови цыплят в условиях температурного стресса // Вестник КрасГАУ. 2018. № 1(136). С. 83–88.
3. Бусловская Л. К., Ковтунетко А. Ю., Беляева Е. Ю. Адаптация кур к факторам промышленного содержания // Научные ведомости БелГУ. сер. Естественные науки. 2010. № 21(92). Вып. 13. С. 96–102.
4. Radical response: effects of heat stress-induced oxidative stress on lipid metabolism in the avian liver / N. K. Emami, S. Dridi, U. Jung, et al. // *Antioxidants*. 2021. Vol. 10. No. 1. P. 1–15. doi: 10.3390/antiox10010035.
5. Забудский Ю. И. Проблемы адаптации в птицеводстве // Сельскохозяйственная биология. 2002. № 6. С. 80–85.
6. Повышение стрессоустойчивости молодняка кур яичного кросса при использовании биологически активных веществ перед инкубацией / И. И. Кочиш, И. С. Луговая, Т. О. Азарнова и др. // Доклады Российской Академии наук. Науки о жизни. 2020. Т. 494. С. 491–495. doi: 10.31857/S2686738920050145.
7. Морфологическое обоснование применения антиоксидантов при выращивании птицы / Е. Н. Сквородин, Г. В. Базекин, Г. З. Бронникова и др. // Вестник Башкирского государственного аграрного университета, 2020. № 1(53). С. 114–125. doi: 10.31563/1684-7628-2020-53-1-114-125.
8. The microbiota-gut-brain axis during heat stress in chickens: a review / C. Cao, V. S. Chowdhury, M. A. Cline, et al. // *Frontiers in Physiology*. 2021. Vol. 12. No. Apr. P. 10–21. doi: 10.3389/fphys.2021.752265.
9. Ayo J. O., Ogbuagu N. E. Heat stress, haematology and small intestinal morphology in broiler chickens: insight into impact and antioxidant-induced amelioration // *World's Poultry Science Journal*. 2021. Vol. 77. No. 4. P. 949–968. doi: 10.1080/00439339.2021.1959279.
10. Морфологический и биохимический состав крови цыплят-бройлеров при введении в рацион разрабатываемого агрегативноустойчивого витаминно-минерального комплекса на основе селена в условиях смоделированного теплового стресса / В. А. Оробец, Е. А. Соколова, Е. С. Кастарнова и др. // Ветеринария Кубани. 2020. № 2. С. 24–26. doi: 10.33861/2071-8020-2020-2-24-26.
11. Кацы Г. Д., Кояда Л. И. Методические рекомендации к исследованию кожи и мышц млекопитающих. Луганск: ООО «Перша друкарня на Паях», 2012. 22 с.
12. Меркулов Г. А. Курс патологистологической техники. / 5 изд., испр. и доп. Л.: Издательство «Медицина» Ленинградское отделение, 1969. 423 с.

Поступила в редакцию 10.06.2024
После доработки 05.07.2024
Принята к публикации 06.08.2024

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

УДК 631.3:005, 631.17:005

DOI 10.31857/S2500262724040123 EDN FKRBAN

**СИСТЕМА МАШИН КАК ФАКТОР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА
В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**© 2024 г. **В. М. Коротченя**¹, кандидат экономических наук, **Ю. С. Ценч**¹, доктор технических наук,
Я. П. Лобачевский², доктор технических наук, академик РАН¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5, стр. 1
E-mail: valor99@gmail.com; vimas@mail.ru²Российская академия наук,
119991, Москва, Ленинский просп., 32А
E-mail: lobachevsky@yandex.ru

В статье предложен принцип формирования системы машин с использованием в качестве методологии системной инженерии, объектно-процессуального подхода моделирования технических систем. Центральное понятие системы машин – научно-технический прогресс (НТП): система машин должна одновременно способствовать прогрессу в агро-промышленном комплексе (АПК) и отражать его. Представлены определение системы машин, ее функции, главная цель, архитектура, заинтересованные стороны, внешняя среда. Система машин позиционируется как смешанная система, сочетающая в себе концептуальную, содержательную и физическую компоненты. Концептуальной частью служит информационный продукт – собственно система машин, представленная в виде компьютерной программы, веб-сайта, стандартов, баз данных, на бумажном носителе и др. Физической компонентой выступает группа экспертов по разработке системы машин. В условиях рыночной экономики система машин должна строиться не на основе конкретных марок и моделей технических средств, а на базе их типажей, определение которых целесообразно проводить на основе разделения характеристик технических средств на функциональные и нефункциональные. Для обоснования типажей машин сформирован примерный перечень видов нефункциональных характеристик сельскохозяйственной техники. Построены диаграммы архитектуры системы машин и разработки типажей сельскохозяйственных машин. Архитектура системы машин – это сочетание структуры системы машин и деятельности экспертов по разработке системы машин, которое обеспечивает выполнение системой машин своих функций, главные из которых – систематизация сельскохозяйственных машин и технологий и формирование у заинтересованных сторон представлений о состоянии и направлениях НТП в АПК.

**THE MACHINE SYSTEM AS A FACTOR OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROGRESS
IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX****V. M. Korotchenya¹, Yu. S. Tsench¹, Ya. P. Lobachevsky²**¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
109428, Moscow, 1-i Institutskii proezd, 5, str. 1
E-mail: valor99@gmail.com; vimas@mail.ru²Russian Academy of Sciences,
119991, Moscow, Leninskii prosp., 32A
E-mail: lobachevsky@yandex.ru

The article proposes a principle for forming a machine system using the object-process approach to modeling technical systems as a methodology of systems engineering. It has been shown that the central concept of a machine system is scientific and technological progress (STP): a machine system should simultaneously promote progress in the agro-industrial complex (AIC) and reflect it. The article presents a definition of a machine system, its functions, main goal, architecture, stakeholders, and external environment. A machine system is positioned as a mixed system that combines conceptual, substantive, and physical components. The conceptual part is an information product – the machine system itself, presented in the form of a computer program, website, standards, databases, on paper, etc. The physical component is a group of experts in developing a machine system. It has been shown that in a market economy, a machine system should be built not on the basis of specific brands and models of technical means, but on the basis of their types. A definition of the type was proposed based on the division of technical means characteristics into functional and non-functional. To substantiate the machine types, an approximate list of types of non-functional characteristics of agricultural machinery was formed. Diagrams of the architecture of the machine system and the development of types of agricultural machines were constructed. The architecture of the machine system is a combination of the structure of the machine system and the activities of experts in the development of the machine system, which ensures the performance of the machine system of its functions, the main ones being the systematization of agricultural machines and technologies and the formation of ideas among interested parties about the state and directions of scientific and technological progress in the agro-industrial complex.

Ключевые слова: система машин, сельскохозяйственные машины, агропромышленный комплекс, сельскохозяйственные технологии, научно-технический прогресс, системная инженерия, объектно-процессуальная методология, функциональные и нефункциональные характеристики машин, архитектура системы машин.

Keywords: system of machines, agricultural machines, agro-industrial complex agricultural technologies, scientific and technological progress, systems engineering, Object-Process Methodology, functional and non-functional characteristics, architecture of the system of machines.

Развитие комплексной механизации сельского хозяйства побудило в 50-е годы 20 века необходимость перехода от разработки единичных машин к созданию комплексов и систем машин. Первые системы машин для сельскохозяйственного производства формировались на основе марок и моделей технических средств [1]. В связи с переходом к рыночной экономике была предпринята попытка разработки системы машин для растениеводства и животноводства на основе типажей машин [2, 3]. Под типажом понималась совокупность технических, технологических, эксплуатационных, экологических, экономических характеристик машин [4, 5]. В работах [6, 7] система машин определена как научно обоснованная совокупность технических средств с комплексом гармонизированных параметров, учитывающая региональные, почвенно-климатические, производственные и другие условия применения. В качестве очередного этапа НТП и развития систем машин рассматривается цифровизация сельского хозяйства, внедрение средств роботизации, искусственного интеллекта, их интеграцию в системы машин [8].

Цель исследования – разработка концептуальной основы системы сельскохозяйственных машин и технологий для обеспечения НТП в АПК.

Методика. В качестве методологии формирования системы машин использовали системную инженерию, концептуальное моделирование систем. На ее основе сформулированы определение системы машин, ее функции, главной цели, архитектуры и др. Определение понятия типажа машин (технологий) построено на основе разделения характеристик технических средств на функциональные и нефункциональные.

В статье речь идет в основном о растениеводстве, но предлагаемая организация системы машин может быть использована и в отношении животноводства, и других отраслей АПК.

Результаты и обсуждение. В соответствии с методологией системной инженерии ниже представлены: определение системы сельскохозяйственных машин и технологий, ее функции, главная цель, заинтересованные стороны, внешняя среда, архитектура.

Система сельскохозяйственных машин и технологий (для краткости – система машин) – это инженерная система, выполняющая следующие функции:

систематизация (классификация) сельскохозяйственных машин и технологий и последующее выявление приемлемой достигнутой степени технического совершенства классифицируемых объектов с учетом достижений НТП;

формирование у заинтересованных сторон представлений о состоянии и направлениях НТП в агропромышленном комплексе (АПК);

обеспечение совместимости (физической, цифровой, межбрендовой) и возможности сетевого подключения соответствующих групп сельскохозяйственных машин в рамках проведения технологических операций в растениеводстве и животноводстве;

предложение (технико-экономическое моделирование) альтернативных вариантов набора сельскохозяйственных технологий и машин для реализации того или иного проекта в сельском хозяйстве.

Отметим, что система машин – это смешанная система, сочетающая в себе концептуальную и физическую компоненты [6, 9, 10]. Концептуальной частью является информационный продукт – собственно система машин, представленная в виде компьютерной программы, веб-сайта, стандартов, баз данных, на бумажном носи-

теле и др. Физической компонентой выступает группа экспертов по разработке системы машин.

Группа экспертов, непосредственно разрабатывающая систему машин, рассматривается как неотъемлемый элемент системы. Эксперты определяют профессиональный и в то же время субъективный аспект системы машин (различные группы экспертов, вероятнее всего, предложат различные варианты системы машин). Они очень тесно интегрированы с самой системой машин, периодически вносят в нее необходимые изменения и, возможно, в той или иной степени контактируют с ее пользователями. Преимущество включения группы экспертов в систему машин будет очевидно при рассмотрении архитектуры системы машин, где будут раскрыты выполняемые экспертами процессы.

Рассмотрим функции системы машин. Формулировка первой функции наиболее близка к редакции системы машин 2012 года [2]. На основе классификации сельхозмашин и технологий и степени их технического совершенства дается определение типажа. Типаж определяется как приемлемая достигнутая степень технического совершенства классифицируемых групп машин.

Приемлемый уровень достигнутого технического совершенства устанавливается экспертами. Приемлемость зависит от технической целесообразности в контексте состояния технико-технологического обеспечения АПК. При этом возможно использовать понятие технологической парадигмы, то есть наиболее широко используемых технологий в отрасли [10]. Невзирая на глобализацию, достижения мирового НТП внедряются неравномерно: развивающиеся и развитые экономики будут отличаться своими технологическими парадигмами (в нашем случае – в АПК).

По итогам разработки классификаций и типажей машин и технологий эксперты должны представить в интересах пользователей системы машин анализ состояния и направлений НТП в АПК (вторая функция системы).

Обеспечение совместимости и возможности сетевого подключения сельхозмашин отражает третью функцию системы машин. Совместимость должна быть физической, цифровой (включая сетевую), межбрендовой. Выполнение данной функции требует организации сотрудничества между производителями сельхозтехники, в том числе разных стран, на основе принятия стандартов (например, ISO 11783, известного как ISOBUS). Благодаря совместимости и сетевому подключению машины могут взаимодействовать друг с другом в ходе выполнения необходимых технологических операций.

Наконец, функция технико-экономического моделирования различных вариантов технологической реализации конкретного проекта в растениеводстве или животноводстве (например, возделывания определенной культуры на том или ином поле) позволит хозяйствам использовать систему машин в их практической деятельности. Тем самым хозяйства будут осведомлены о достижениях НТП в АПК и смогут более эффективно применить их на практике.

Изложенные функции системы машин обеспечивают достижение ее главной цели – содействие НТП в АПК. Выбор данной цели, как всякий выбор, является субъективным и отражает ценности выбирающего субъекта. На наш взгляд, в основе системы машин должна лежать идея совершенствования/эволюции технических систем. Такой подход соответствует теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), опирающиеся на законы развития техники [11]. Можно также сослаться на японскую философию и практику кайдзен (постоянное улучшение), используемую во многих компаниях, таких как Toyota.

Разработчики системы машин могут также применить подход стратегического менеджмента для разработки миссии, стратегического видения и ценностей системы машин. Такие формулировки в отношении технического оснащения сельского хозяйства России приведены в статье [12]. Вследствие этого в качестве ценностей системы машин могут использоваться понятия продовольственной безопасности, конкурентоспособности отечественной сельхозтехники и др.

Система машин должна как способствовать НТП, так и отражать его. На современном этапе технического развития речь идет о создании роботизированных, интеллектуальных машин, способных самостоятельно взаимодействовать друг с другом в ходе выполнения технологических операций. Ключевыми концепциями при этом становятся киберфизическая система и интернет вещей.

Если раньше до возникновения точного земледелия сельхозмашина представляла собой физическую систему, то приход точного (цифрового) сельского хозяйства привел к развитию киберфизических систем в АПК, когда к физическим процессам машины добавились информационные потоки [13]. Скажем, в ЕС 70...80 % всех продаваемых новых сельхозмашин содержат тот или иной компонент точного сельского хозяйства (<https://cordis.europa.eu/article/id/400295-precision-farming-sowing-the-seeds-of-a-new-agricultural-revolution>). В свою очередь, в результате соединения множества технических средств посредством компьютерной сети был создан интернет вещей, в том числе в сегменте сельскохозяйственных технологий [14]. Появилось понятие подключенного сельского хозяйства (connected agriculture), умных подключенных продуктов [15]. Современная сельхозтехника представлена киберфизическими системами, которые с целью реализации того или иного проекта в растениеводстве или животноводстве соединены в рамках интернета вещей. Это приводит к огромному массиву собираемых данных. По оценкам экспертов, на каждое хозяйство в 2014 году приходилось в среднем 190 тыс. произведенных точек данных в день, а к 2050 году, как ожидается, каждое хозяйство будет генерировать около 4,1 млн точек данных ежедневно (<https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/03/16/a-roadmap-for-building-the-digital-future-of-food-and-agriculture>).

Опираясь на концепцию интернета вещей, ряд авторов выдвигают идею о смене парадигмы инженерной разработки технических систем. Так, во-первых, проектирование любого технического средства должно исходить из начального условия, что данное средство будет частью интернета вещей. Во-вторых, объединение технических устройств в интернет вещей позволит в режиме реального времени получать данные об их работе и благодаря этому проектировать более совершенные системы [16].

Указанное изменение инженерной парадигмы выражено в выделении отдельной функции системы машин (в списке функций она третья).

Заинтересованными сторонами разработки системы машин выступают:

производители и покупатели сельхозтехники, которые заинтересованы в наличии конкурентоспособных сельхозмашин, отвечающих современным требованиям НТП, включая необходимость обеспечения совместимости и сетевого подключения;

хозяйства, осуществляющие сельскохозяйственную деятельность, которые получают возможность технико-экономического моделирования различных вариантов технологической реализации их конкретных проектов;

представители государства, которые разрабатывают и реализуют государственную политику в области развития и поддержки сельского хозяйства и которые заинтересованы в содействии НТП в АПК;

группа экспертов – сообщество специалистов, которые обладают соответствующими профессиональными знаниями и непосредственно участвуют в разработке системы машин. Как правило, эксперты являются представителями заинтересованных научных, образовательных, коммерческих и других организаций.

Идеологом, инициатором или заказчиком разработки системы машин может быть группа лиц, предприятий или ведомств из приведенного списка заинтересованных сторон. Существует также возможность учреждения отдельной организации, которая будет обладать правами собственности на систему машин и взимать плату со своих клиентов за пользование данным продуктом интеллектуальной собственности. Непосредственные бенефициары (пользователи) системы машин – производители и покупатели сельхозтехники.

Как информационный продукт система машин разрабатывается экспертами. Внешнюю среду системы машин составляют первые три группы представленных выше заинтересованных сторон, главные из которых – это пользователи системы машин.

Для представления архитектуры системы машин будем использовать объектно-процессуальную методологию концептуального моделирования систем (Object-Process Methodology, OPM) [17].

Под архитектурой системы машин будем понимать сочетание структуры системы машин и деятельности экспертов по разработке системы машин, которое обеспечивает выполнение системой машин своих функций. Определение понятия архитектуры системы машин заимствовано из объектно-процессуальной методологии и адаптировано к специфике системы машин [17].

Структура системы машин представляет собой форму системы – статический, независимый от времени аспект системы. По своей структуре система машин содержит физическую составляющую (группу экспертов) и концептуальную (информационный продукт). Физическая компонента демонстрирует поведение, а концептуальная выражает определенный смысл [12, 17].

Поведение, демонстрируемое физической компонентой, заключается в целенаправленной деятельности экспертов, разрабатывающих систему машин. Деятельность экспертов отражает динамический, зависимый от времени аспект системы и состоит из конкретных процессов, представленных ниже.

Общий смысл системы машин как информационного продукта состоит в том, что она выражает суждение группы экспертов о состоянии НТП в АПК по группам машин и технологий и позволяет использовать данную информацию в практических целях.

На рис. 1 изображена объектно-процессуальная диаграмма (Object-Process Diagram, OPD) архитектуры системы машин. Преимуществом объектно-процессуальной методологии (Object-Process Methodology, OPM) для концептуального моделирования систем является одновременное использование формализованного графического и текстового представлений модели. При этом между визуальным и языковым представлениями имеется взаимно однозначное соответствие, что приводит к одинаковому пониманию модели разными специалистами, владеющими методологией OPM. Текстовое описание моделируемых систем производится с помощью объектно-процессуального языка (Object-Process Language, OPL), в основе которого лежит английский

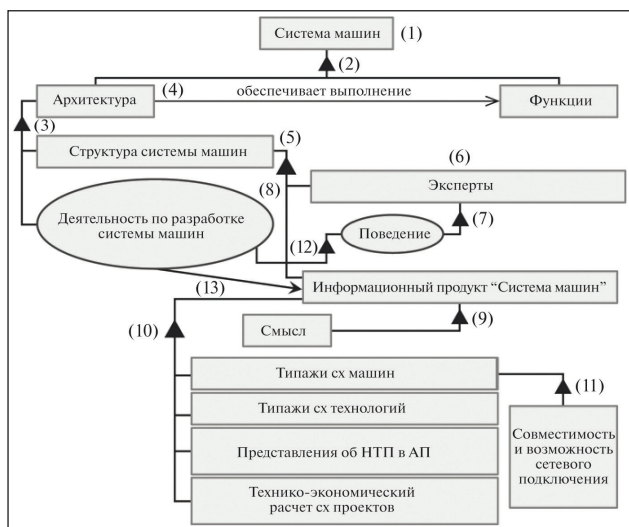


Рис. 1. Объектно-процессуальная диаграмма архитектуры системы машин.

язык. Для создания диаграмм OPD и соответствующего описания ORL используется специальная компьютерная программа OPCAT.

Прямоугольники на диаграмме OPD обозначают объекты, эллипсы – процессы, а связи между ними представлены стрелками. Методология OPM изложена в работе ее автора [17] и международном стандарте ISO 19450:2024.

Текст OPL для пояснения рис. 1 следующий (номера в скобках указывают на порядковое обозначение на диаграмме):

Система машин является физическим объектом (1). Система машин характеризуется (обладает) Функциями и Архитектурой (2). Архитектура характеризуется (обладает) Структурой системы машин и Деятельностью по разработке системы машин (3). Архитектура обеспечивает выполнение Функций (4). Структура системы машин состоит из Экспертов и Информационного продукта «Система машин» (5). Эксперты являются физическим объектом (6). Эксперты характеризуются (обладают) Поведением (7). Эксперты осуществляют Деятельность по разработке системы машин (8). Информационный продукт «Система машин» характеризуется (обладает) Смыслом (9). Информационный продукт «Система машин» состоит из Типажей сельскохозяйственных машин, Типажей сельскохозяйственных технологий, Представлений об НТП в АПК и Техничко-экономического расчета сельскохозяйственного проекта (10). Типажи сельскохозяйственных машин характеризуются (обладают) Совместимостью и возможностью сетевого под-

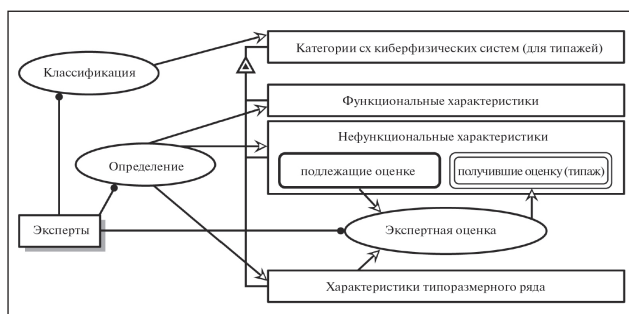


Рис. 2. Объектно-процессуальная диаграмма разработки типажей сельскохозяйственных машин.

ключения и по меньшей мере еще одной характеристикой (11). Деятельность по разработке системы машин – это Поведение (12). Деятельность по разработке системы машин приводит к созданию Информационного продукта «Система машин» (13).

Важной категорией является типаж машин. Объектно-процессуальная диаграмма разработки типажей сельхозмашин представлена на рис. 2. Ввиду происходящей в настоящее время цифровизации сельского хозяйства в диаграмме машины рассматриваются в качестве киберфизических систем.

В основе разработанной концептуальной схемы лежат следующие положения. Для разработки типажей машин эксперты выполняют три процесса применительно к данным киберфизическим системам: 1) классификация; 2) определение характеристик технических средств (функциональных, нефункциональных, типоразмерного ряда); 3) экспертная оценка их нефункциональных характеристик с учетом характеристик типоразмерного ряда, в результате которой формируется типаж соответствующей категории машин.

Классификацию машин необходимо производить с той степенью детализации, чтобы в итоге выйти на конечные категории машин, для которых предполагается разработка типажа.

Например, все машины можно разделить на следующие группы: мобильные энергетические средства; почвообрабатывающие машины; посевные и посадочные машины; машины для ухода за растениями; уборочные машины; машины для послеуборочной обработки; ...; общие технические средства для реализации цифрового сельского хозяйства (инфраструктура: облачные вычисления, оборудование для интернета вещей, приемники спутниковой навигации и др.). Далее, например, почвообрабатывающие машины подразделяются на плуги, глубокорыхлители, бороны, культиваторы, лушильники, катки, фрезы, комбинированные машины и др. Наконец, бороны содержат конечные категории, для которых создаются типажы: бороны зубовые, бороны дисковые. Таким образом, типаж формируется для борон зубовых (дисковых), а не для борон в целом.

С целью получения типажей все характеристики машин делятся на функциональные, нефункциональные, характеристики типоразмерного ряда. Различение функциональных и нефункциональных характеристик или требований является частью системной инженерии [18].

Функциональные характеристики описывают функции машины (что машина делает), а нефункциональные характеристики – как хорошо машина выполняет эти свои функции (в контексте инженерного проектирования оба вида характеристик называют требованиями [19]). Характеристики типоразмерного ряда задают масштабирование машины от ее мало- до крупногабаритных вариантов.

Под типажом той или иной категории сельскохозяйственных машин будем понимать экспертную оценку ее функциональных и нефункциональных характеристик, которая с учетом характеристик ее типоразмерного ряда соответствует приемлемому достигнутому уровню НТП в ее производстве. Возможно формировать текущий или перспективный типаж. В первом случае речь идет о соответствии экспертных оценок текущему состоянию прогресса, а во втором – предполагаемому будущему (например, на 5 лет).

Функции сельхозмашин предполагаются относительно постоянными во времени. При возникновении новой функции, что указывает на НТП, целесообразно пересмотреть классификацию машин – посредством

Виды нефункциональных характеристик сельскохозяйственной техники

Нефункциональные характеристики	Примеры показателей
Производительность	Обрабатываемая площадь в единицу времени
Качество выполнения технологических операций	Степень крошения почвенного пласта, равномерность обработки почвы по глубине, гребнистость поверхности почвы, степень заделки пожнивных остатков и др. (для обработки почвы)
Надежность	Наработка на отказ
Эффективность использования ресурсов	Материалоемкость, расход топлива
Почвенно-климатические ограничения	Ограничения по использованию техники в тех или иных агротехнических зонах
Экологическая безопасность	Предельное значение давления техники на почву
Совместимость (физическая, цифровая, межбрендовая) и возможность сетевого подключения	Соответствие международному стандарту ISO 11783 (ISOBUS)
Информационная безопасность	Соответствие международному стандарту по информационной безопасности ISO/IEC 27001
Простота управления	Виды автоматизации управления: ручное управление, полуавтомат, полный автомат
Ценовая доступность	Необходима разработка показателей, наподобие индекса доступности жилья, или проведение специальных исследований по ценовой доступности сельхозтехники, таких как [20]

Данный перечень является примерным. Эксперты определяют его исчерпывающий состав и соответствующие показатели для той или иной категории сельхозтехники.

включения в нее новой категории машин, введения понятия поколений машин. Например, при появлении функции автопилота, которым оснащается трактор, нужно ввести новую категорию машин (система автоматического вождения), и уже для нее разрабатывать типаж.

Тем не менее, при создании типажа необходимо привести перечень всех функций соответствующей категории машин, и все данные функции должны опосредованно получить свое отражение в типаже. Например, нефункциональная характеристика по качеству работы машины должна отражать качество выполнения каждой функции машины, и, соответственно, типаж должен включать в себя необходимый уровень качества для каждой функции согласно текущему состоянию НТП.

Примерный перечень видов нефункциональных характеристик сельхозтехники приведен в таблице. На языке ТРИЗ нефункциональные характеристики используются для описания идеального конечного результата для соответствующей категории сельхозмашин [11]. Иными словами, с их помощью выражается понятие технического совершенства.

При разработке типажей необходимо также учитывать возможное влияние характеристик типоразмерного ряда сельхозмашин на нефункциональные характеристики. Например, размеры машины в пределах типоразмерного ряда напрямую влияют на производительность. То же касается давления машины на почву (экологи-

ческая безопасность). В свою очередь, совместимость (за исключением агрегатирования) и возможность сетевого подключения, информационная безопасность, простота управления от типоразмерного ряда не зависят. В конечном счете типаж должен быть представлен таким образом, чтобы в нем отражались требования/достижения НТП в рамках типоразмерного ряда соответствующей категории машин.

Типажи сельскохозяйственных технологий формируются аналогично типажам машин. Под типажом того или иного вида сельскохозяйственных технологий будем понимать совокупность экспертных оценок значений его нефункциональных характеристик, которые делаются группой специалистов и соответствуют приемлемому достигнутому уровню НТП в области данных технологий.

Нефункциональные характеристики технологий соответствуют элементам идеального конечного результата сельского хозяйства и выражают степень технологического совершенства [21]. К таким характеристикам относятся: урожайность (продуктивность), качество сельскохозяйственной продукции, ценовая доступность продовольствия, эффективность использования ресурсов, эффективность уборки, сохранение урожая, реализация самоисполнения, безопасность продовольствия для здоровья людей, экологическая безопасность, почвенно-климатические и погодные ограничения и др.

Технологии так же, как и машины, подлежат классификации. Верхним уровнем может послужить традиционное разделение технологий по назначению: обработка почвы, посев/посадка, уход за растениями, уборка, послеуборочная обработка и др. [7]. Дальнейшая разбивка данных групп может содержать виды сельхозкультур. Подобно машинам, классификацию технологий нужно осуществлять до уровня, для которого предусмотрена разработка типажа.

Для реализации возможности технико-экономического моделирования использования альтернативных технологий при выполнении конкретного сельскохозяйственного проекта требуется проведение отдельного исследования. В мировой научной литературе прецеденты разработки указанного инструментария имеются. Можно сослаться на имитационную модель на основе математического метода Монте-Карло «FARMSIM», которая, в частности, дает для хозяйства прогнозную (*ex-ante*) оценку экономического эффекта от применения тех или иных альтернативных технологий в рамках планируемого проекта в растениеводстве или животноводстве [22].

Попытка получить решение на основе технико-экономического планирования сельскохозяйственной деятельности осуществляется в отечественных исследованиях. На данный момент реализована возможность подбора вариантов агротехнологии с использованием компьютерной программы [23].

Создание такого инструмента моделирования в рамках системы машин позволит сделать ее привлекательной и практичной для хозяйств в планировании их сельскохозяйственной деятельности.

Представленное видение системы машин может быть расширено и уточнено. Например, можно дополнительно указать, что изучение экспертами состояния НТП в АПК и последующая разработка типажей должны включать регулярный анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы, в том числе протоколов испытаний сельхозтехники. Для решения данных задач также возможно проведение собственных полевых исследований.

Выводы. Представленная концепция системы машин может быть использована в качестве аналитического инструмента для содействия НТП в любой отрасли экономики. Ее можно также применять для анализа эволюции технических систем с учетом уровня и состояния техники и технологий в исследуемых исторических периодах.

Центральным понятием системы машин является научно-технический прогресс: система машин должна одновременно способствовать прогрессу в агропромышленном комплексе (АПК) и отражать его.

Структура системы машин представляет собой совокупность типажов технических средств. Типажи выражают приемлемое достигнутое их техническое совершенство. В основе формирования типажа лежит экспертная оценка функциональных и нефункциональных характеристик определенной группы машин, которая соответствует современному состоянию НТП.

Архитектура системы машин – это сочетание структуры системы машин и деятельности экспертов по разработке системы машин, которое обеспечивает выполнение системой машин своих функций.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование финансировалось за счет бюджетных средств ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература.

1. Елизаров В. П., Бейлис В. М. Разработка системы машин и технологий // ВИМ: история механизации (1930–2005 гг.) / состав. В. И. Анискин, Г. Н. Губанов, М.: «Издательство ВИМ», 2005. С. 110–133.
2. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. Растениеводство / Ю. Ф. Лачуга, И. В. Горбачев, А. А. Ежевский и др. М.: ВИМ, 2012. Т. 1. 304 с.
3. Бейлис В. М., Московский М. Н., Лавров А. В. Система технологий и машин в современных условиях // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 70–72.
4. Лобачевский Я. П., Ценч Ю. С., Бейлис В. М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // История науки и техники. 2019. № 12. С. 46–55.
5. Развитие системы машин – путь технического прогресса в сельскохозяйственном производстве / В. П. Елизаров, В. Г. Шевцов, В. М. Бейлис и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 6. С. 14–19.
6. Лобачевский Я. П., Ценч Ю. С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 4. С. 4–12.
7. Ценч Ю. С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 4–13.
8. Лобачевский Я. П., Бейлис В. М., Ценч Ю. С. Аспекты цифровизации системы технологий и машин // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 3(36). С. 40–45.
9. Инновационная система машинно-технологического обеспечения предприятий агропромышленного комплекса / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, В. М. Бейлис и др. // Инновационная система машинно-технологического обеспечения сельскохозяйственных предприятий на длительную перспективу. М.: ВИМ, 2019. Ч. 1. 228 с.
10. Коротченя В. М. История технологического развития сельского хозяйства (растениеводства) // Экономика сельского хозяйства России. 2019. № 7. С. 28–33.
11. Коротченя В. М. Стратегические основы догоняющего развития технического обеспечения сельского хозяйства России // АПК: экономика, управление. 2021. № 2. С. 9–17.
12. Nardelli P. H. J. Cyber-Physical Systems: Theory, Methodology, and Applications. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. 2022. 271 p.
13. Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming / A. Castrignanò, G. Buttafuoco, R. Khosla, et al. London: Academic Press, 2020. 459 p.
14. Porter M. E., Heppelmann J. E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition // Harvard Business Review. 2014. Vol. 92, No. 11. P. 64–88.
15. Hajjaj S. S. H., Gsangaya K. R. The Internet of Mechanical Things: The IoT Framework for Mechanical Engineers. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2022. 225 p.
16. Dori D. Model-Based Systems Engineering with OPM and SysML. New York: Springer, 2016. 411 p.
17. Dickerson C. E., Ji S. Essential Architecture and Principles of Systems Engineering. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2022. 238.
18. Boehm B., Kukreja N. An Initial Ontology for System Qualities // Insight. 2017. Vol. 20. No. 3. P. 18–28.
19. Shockley J. M., Dillon C. R., Shearer S. A. An economic feasibility assessment of autonomous field machinery in grain crop production // Precision Agriculture. 2019. Vol. 20. P. 1068–1085.
20. Коротченя В. М. Научные подходы к стратегии комплексного развития сельскохозяйственных технологий // АПК: экономика, управление. 2021. № 8. С. 44–51.
21. Bizimana J.-C., Richardson J. W. Agricultural technology assessment for smallholder farms: An analysis using a farm simulation model (FARMSIM) // Computers and Electronics in Agriculture. 2019. Vol. 156. P. 406–425.
22. Альт В. В., Исакова С. П. Планирование производства продукции растениеводства с применением цифровых технологий // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. № 3. С. 12–19.

Поступила в редакцию 27.06.2024
После доработки 15.07.2024
Принята к публикации 06.08.2024