

*Земледелие и мелиорация***Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гемонов А.В.**

Гидрологическая роль лесных насаждений малого водосборного бассейна

3

Салугин А.Н., Кулик А.В., Узолин А.И.Стохастическое моделирование влияния защитных лесных насаждений.
Распределение Коши

7

*Растениеводство, защита и биотехнология растений***Баталова Г.А., Шевченко С.Н., Жуйкова О.А., Бишарев А.А., Тулякова М.В.**

Селекция овса пленчатого в условиях нестабильности агроклиматических ресурсов

11

Юсова О.А., Николаев П.Н., Кузьмич М.А., Кузьмич Л.С.

Новые перспективные источники ячменя пивоваренного направления

16

Пасынков А.В., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н., Андреев В.Л.

Сравнительная оценка различных методов прогноза содержания белка в зерне пшеницы

22

Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М.

Структура микроорганизмов зерна озимой ржи в условиях Кировской области

28

**Колесников Л.Е., Успенская М.В., Кременевская М.И., Орлова А.Г.,
Зуев Е.В., Колесникова Ю.Р.** Повышение урожайности зерновых культур
и снижение вредоносности возбудителей болезней при использовании
акрилового гидрогеля и белкового стимулятора роста

33

Илюшко М.В., Ромашова М.В.Влияние интенсивности и качества освещения на регенерационную
способность каллуса риса *Oryza sativa* L., полученного в андрогенезе *in vitro*

41

*Агропочвоведение и агроэкология***Панов А.В., Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Исамов Н.Н., Цыгвинцев П.Н.**Реабилитация сельскохозяйственных земель при масштабном радиоактивном загрязнении
(к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС)

46

Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ковалев М.С.Параметры углекислотного и водного обмена древесных растений
как инструмент оптимизации структуры зеленых насаждений урбоэкосистем

51

*Зоотехния и ветеринария***Левина Г.Н., Зелепукина М.В., Саблина М.С.**

Продуктивные качества коров ярославской породы и её помесей с голштинской

57

Челнокова М.И. Воздействие дифференцированной температуры инкубации
на рост куриных эмбрионов кросса Хайсекс коричневый
и развитие их висцеральных органов

62

Крупин Е.О. Оценка теплового стресса на основе анализа параметров внешней среды
и микроклимата животноводческих помещений

68

Калаева Е.А., Алхамед М., Калаев В.Н., Черницкий А.Е.Прогностическое значение гематологических и биохимических показателей матери
и новорожденного при оценке риска бронхопневмонии у телят в неонатальном периоде

72

*Farming and Amelioration***Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gemonov A.V.**

Hydrological role of forest of the small drainage area

3

Salugin A.N., Kulik A.V., Uzzolin A.I.

Stochastic modeling of the influence of protective forest belts. The Cauchy distribution

7

*Plant Growing, Plant Protection and Biotechnology***Batalova G.A., Shevchenko S.N., Zhuikova O.A., Bisharev A.A., Tulyakova M.V.**

Breeding of covered oats in conditions of instability of agroclimatic resources

11

Yusova O.A., Nikolaev P.N., Kuzmich M.A., Kuzmich L. S.

New promising sources of barley brewing direction

16

Pasynkov A.V., Zavalin A.A., Pasynkova E.N., Andreev V.L.

Comparative assessment of various methods of protein content prediction in wheat kernels

22

Sheshegova T.K., Shchekleina L.M.

Structure of winter rye grain's microorganisms In the conditions of the Kirov region

28

Kolesnikov L.E., Uspenskaya M.V., Kremenevskaya M.I., Orlova A.G.,**Zuev E.V., Kolesnikova Yu.R.** Increase in the yield of cereals and decrease in the harmfulness of pathogens when using acrylic hydrogel and protein growth stimulator

33

Ilyushko M.V., Romashova M.V. Effect of light intensity and quality on rice *Oryza sativa* L. regeneration from callus, generated through *in vitro* androgenesis

41

*Agricultural Soil Science and Agroecology***Panov A.V., Ratnikov A.N., Sviridenko D.G., Isamov N.N., Tsygvintsev P.N.**Agricultural land remediation during large scale radioactive contamination (to the 35th anniversary of the Chernobyl NPP accident)

46

Plugatar Yu.V., Korsakova S.P., Kovalev M.S.

Parameters of carbon dioxide and water exchange of woody plants as a tool for optimizing the structure of green spaces in urban ecosystems

51

*Animal Science and Veterinary Medicine***Levina G.N., Zelepukina M.V.**

Productive qualities of yaroslavl cows and their crossbreeds with holstein cows

57

Chelnokova M.I. Effect of differentiated temperature of incubation

on the growth of chicken embryos cross Haysex brown and development of the visceral organs

62

Krupin E.O. Heat stress evaluation based on the analysis of external environment parameters and microclimate of livestock buildings

68

Kalaeva E.A., Alhamed M., Kalaev V.N., Chernitskiy A.E.

Prognostic value of hematological and biochemical indices of mother and newborn in assessing the risk of bronchopneumonia in calves in the neonatal period

72

Земледелие и мелиорация

УДК 630.116

DOI: 10.31857/S2500262721030017

**ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ
МАЛОГО ВОДОСБОРНОГО БАССЕЙНА****Н.Н. Дубенок**, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН,
А.В. Лебедев, кандидат сельскохозяйственных наук, **А.В. Гемонов***Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: ndubenok@mail.ru*

Исследования проводили с целью оценки гидрологической роли лесных насаждений малого водосборного бассейна на примере Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева. Ключевые факторы, влияющие на проникновение осадков под полог в лесных насаждениях, – сомкнутость полога, объем и фитонасыщенность крон. Кроны еловых насаждений, по сравнению с березовыми и сосновыми, задерживают наибольшее количество осадков (до 55 %), что связано с особенностями строения ассимиляционного аппарата. Распределение годового стока по сезонам года не равномерно. Наибольшая его доля приходится на весну (81,9 %), размеры зимнего стока очень тесно связаны с состоянием почвы. Глубина залегания грунтовых вод так же не постоянна в течение года. Самый высокий уровень наблюдается в марте, далее в течение апреля и мая он постепенно опускается. Летом уровень грунтовых вод практически не меняется. На протяжении осени происходит медленный подъем, а в зимний период они находятся максимально близко к поверхности земли. Лесная растительность оказывает существенное влияние на подземные воды и распределение атмосферных осадков, через которое проявляется водоохранная роль лесов. В облесенных бассейнах рек проявляется снижение недостатка влаги после засушливых лет. Кроны лесных насаждений способствуют перераспределению в пространстве выпадающих осадков, в молодом возрасте леса увеличивают сток воды, а к возрасту спелости уменьшают.

HYDROLOGICAL ROLE OF FOREST OF THE SMALL DRAINAGE AREA**Dubenok N.N., Lebedev A.V., Gemonov A.V.***Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy
127550, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49
E-mail: ndubenok@mail.ru*

Based on the materials of long-term stationary observations, an assessment of the hydrological role of forest plantations in a small drainage basin is carried out on the example of the Forest Experimental Station of the Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy. The key factors affecting the penetration of sediments under the canopy in forest plantations are canopy closure, volume and phytosaturation of crowns. The crowns of spruce stands, in comparison with birch and pine, retain the greatest amount of precipitation (up to 55%), which is associated with the peculiarities of the structure of the assimilation apparatus. The distribution of the annual runoff over the seasons is not uniform. Its largest share is in spring (81.9%); the size of winter runoff is very closely related to the state of the soil. The depth of the groundwater table is also not constant throughout the year. The highest level is observed in March, then during April and May it gradually decreases. During the summer period, the groundwater level practically does not change. During the fall, there is a slow rise, and in the winter, they are as close to the ground as possible. Forest vegetation has a significant impact on groundwater and the distribution of precipitation. In the forests, they acquire a peculiar distribution, through which the water-protective role of forests is manifested. In forested river basins, there is a decrease in the lack of moisture after dry years. Crowns of forest stands contribute to the redistribution of precipitation in space; at a young age, forests increase the flow of water, and decrease by the age of ripeness.

Ключевые слова: гидрологическая роль, малый водосбор, лесные насаждения, Лесная опытная дача**Key words:** hydrological role, small drainage area, forest stands, Forest Experimental Station

Леса относятся к числу наиболее важных экосистем, которые выполняют гидрологические функции. Большая часть пресной воды на Земле поступает из лесных водосборов [1]. Леса способствуют формированию постоянного притока воды и выполняют такие защитные функции, как, например, борьба с наводнениями, защита почвы от эрозии и др. [2, 3]. Проблема изучения влияния лесных насаждений на гидрологические процессы остается дискуссионной на протяжении многих десятилетий [4]. Ее актуальность обусловлена тем, что в результате проведения лесохозяйственных мероприятий, вырубки лесов, климатических изменений происходят значительные преобразования гидрологических процессов, которые часто имеют отрицательный характер.

Проведение мероприятий по уходу за лесом и за-

готовке древесины приводит к повышению интенсивности эрозионных процессов, а мероприятия по лесовосстановлению не всегда способствуют оптимизации гидрологического режима [3, 5, 6]. Результаты исследований в бассейнах рек Ветлужско-Унженской равнины [7] показали, что после рубок происходит увеличение годового модуля стока воды с 6,71 л/с с 1 км² до 9,88 л/с с 1 км², а годовых наносов – с 5,28 т с 1 км² до 8,95 т с 1 км². Проведение мероприятий по лесовосстановлению обеспечило практически возврат годовой модуля стока до первоначального значения (величина этого показателя составила 6,92 л/с с 1 км²), а количество годовых наносов снизилось до 6,93 т с 1 км².

Гидрологическая роль лесных насаждений проявляется через такие составляющие, как влияние на

снежный покров и его дополнительное накопление, регулирование стока, изменение условий микроклимата, режима и химизма грунтовых вод. Как и другие растения, деревья в лесу в процессе жизнедеятельности используют почвенную влагу, которая задействована во многих физиологических процессах. Корневые системы деревьев поглощают большое количество почвенной влаги, затем в процессе дыхания, транспирации и др. она преобразуется и возвращается в атмосферу. По такому принципу в лесах формируется гидрологический цикл: почва-растение-атмосфера [8], благодаря которому создается особый микроклимат.

Особая роль лесов в поддержании водного баланса отмечена в Водном и Лесном кодексах Российской Федерации. Лесной кодекс выделяет в качестве ценных запретные полосы лесов, расположенные вдоль водных объектов (примыкающие непосредственно к руслу реки или берегу другого водного объекта, а при безлесной пойме – к пойме реки, выполняющие водоупорные функции), и нерестоохранные полосы лесов (расположенные в границах рыбоохранных зон или рыбохозяйственных заповедных зон, установленных в соответствии с законодательством о рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов).

В водоохраных зонах водоемов, размеры которых определены в Водном кодексе Российской Федерации, запрещено проводить сплошные рубки лесных насаждений. При этом ширина водоохранной зоны рек или ручьев протяженностью до 10 км установлена в размере 50 м от их истока, рек или ручьев протяженностью от 10 до 50 км – 100 м, рек или ручьев протяженностью от 50 км и более – 200 м. Ширина водоохранной зоны озера, водохранилища (кроме озера, расположенного внутри болота, или озера, водохранилища с акваторией менее 0,5 кв. км) установлена в размере 50 м. Ширина водоохранной зоны водохранилища, расположенного на водотоке, устанавливается равной ширине водоохранной зоны этого водотока. Ширина водоохранной зоны моря составляет 500 м. Таким образом, в целом действующее законодательство не обеспечивает поддержания гидрологических функций лесных водоемов [9].

Цель исследований – оценить гидрологическую роль лесных насаждений на примере малого водосборного бассейна Лесной опытной дачи Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева для выявления их водоохраных функций.

Методика. В исследовании использовали материалы гидрометеорологических наблюдений, которые проводили на базе Лесной опытной дачи Российского

государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, расположенной в северо-западной части г. Москвы. Согласно лесорастительному районированию, эта территория относится к зоне смешанных хвойно-широколиственных лесов. Ее площадь составляет 248,7 га, в том числе покрытая лесом – 233,4 га (94 %). В лесном фонде преобладают сосновые (75,7 га), дубовые (63,2 га), березовые (50,7 га) и лиственные (34,8 га) насаждения [10]. В почвенном покрове доминируют дерново-подзолистые почвы различного гранулометрического состава [11]. На территории Лесной опытной дачи имеется большое количество заболоченных понижений, при этом почти все они, за исключением Оленьего озера (площадь 0,05 га), летом пересыхают. В северной части Лесной опытной дачи протекает река Жабенка.

В разные годы наблюдения за осадками в лесу проводили на 5 дождемерных пунктах (табл. 1). Снегомерные работы были организованы в культурах ели (20...62 лет), чистых и смешанных сосновых насаждениях (10...95 лет) естественного и искусственного происхождения с подростом и без подроста, чистых и смешанных березовых насаждениях (25...80 лет) естественного и искусственного происхождения, дубовых насаждениях (25...150 лет) естественного и искусственного происхождения.

Учет осадков в дождемерах осуществляли после каждого их выпадения непосредственно на наблюдательных пунктах, снеговой воды – 1-го и 15-го числа каждого месяца. По первичным величинам рассчитывали количество осадков в миллиметрах слоя воды по месяцам, сезонам и годам. Обработку данных по всем гидрологическим наблюдениям проводили по гидрологическим годам – с 1 ноября по 31 октября следующего календарного года. Для сопоставимости результатов, полученных в разные годы исследований, было принято следующее деление на сезоны: зима – с ноября по февраль, весна – с марта по май, лето – с июня по август, осень – с сентября по октябрь.

Сток воды реки Жабенка изучали на специально оборудованных наблюдательных ключах и водосливах. Уровень грунтовых вод определяли по данным учета на девяти буровых скважинах, заложенных в чистых и смешанных сосновых насаждениях, лесных культурах ели и дубовых насаждениях.

Результаты и обсуждение. Один из главных источников почвенной влаги – атмосферные осадки. В лесу до уровня почвы доходит меньшее количество влаги, чем выпадает в виде осадков, так как значительную их часть задерживают кроны деревьев. Основные факторы,

Табл. 1. Характеристика лесных насаждений в местах установки дождемерных пунктов за время проведения наблюдений

Объект наблюдений	Число дождемеров, шт.	Таксационный показатель				
		возраст, лет	средняя высота, м	средний диаметр, м	густота, шт.×га ⁻¹	запас, м ³ ×га ⁻¹
Лесной питомник	1	-	-	-	-	-
Березовое, естественного происхождения с подростом липы, дуба, ели	5	78...84	22...24	26,0...27,5	501...414	270...300
Сосновое, естественного происхождения с примесью березы и дуба	5	68...112	26...31	37,0...32,5	546...340	260...355
Сосновое, лесные культуры	5	36...66	14...21	14,2...22,0	2331...800	220...280
Еловое, лесные культуры	5	40...64	13...20	12,8...19,7	2264...1126	340...400

влияющие на проникновение осадков под полог леса, – сомкнутость, объем и фитонасыщенность крон деревьев. Наибольшей способностью задержания атмосферной влаги характеризуются кроны елового средневозрастного насаждения, в котором в среднем до уровня почвы доходит только 59 % выпавших осадков, по сравнению с лесным питомником (табл. 2). В наименьшей степени препятствует проникновению влаги под полог березовое насаждение, где в среднем до уровня почвы доходит 82 % выпавших атмосферных осадков.

Табл. 2. Годовое количество атмосферных осадков, достигших почвы

Объект наблюдений	<i>mean*</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>std</i>	<i>CV</i>	<i>n</i>
Лесной питомник	623,9	411	811	102,0	16,3	34
Березовое насаждение (78...84 лет)	510,9	346	627	71,5	14,0	14
Сосновое насаждение (68...112 лет)	478,5	324	718	88,5	18,5	34
Лесные культуры сосны (36...66 лет)	454,8	284	661	93,6	20,6	31
Лесные культуры ели (40...64 лет)	369,6	219	578	88,9	24,0	29

**mean* – средняя арифметическая, мм; *min* – минимальное значение, мм; *max* – максимальное значение, мм; *std* – среднеквадратическое отклонение, мм; *CV* – коэффициент вариации, %; *n* – количество наблюдений, шт.

В целом в зависимости от интенсивности осадков кроны еловых насаждений поглощали от 18 до 55 % атмосферной влаги, сосновых – от 9 до 34 %, березовых – от 9 до 30 %. Дожди слабой интенсивности поглощались практически полностью. Дожди, с количеством выпавших осадков менее 6 мм, задерживались кронами еловых насаждений более чем на 60 %, сосновых и березовых – более чем на 30...40 %.

В распределении количества атмосферных осадков, достигших почвы, в зависимости от лесных насаждений по сезонам года существенных различий не наблюдали (табл. 3). Наибольшая их часть приходилась на лето (от 36,8 до 40,4 %) и зиму (от 20,9 до 27,5 %). Весной и осенью через кроны лесных деревьев поступало от 16,4 до 20,5 % осадков от общего количества за год.

Лесная растительность оказывает влияние на испарение влаги с поверхности почвы и водоемов. Результаты многолетних наблюдений за уровнем воды в Оленьем озере (расположено в центральной части лесного массива) свидетельствуют о незначительном испарении с его поверхности. На это указывает устойчивость уровня воды, которая проявляется в постоянстве суточных колебаний по сезонам года за исключением весны. Испарение с поверхности почвы также понижено, по сравнению с открытыми пространствами, из-за уменьшенной циркуляции воздуха в лесу и пониженной температуры воздуха и почвы [12].

В исследовании С. Kusmana и А. Sunkar [13], как и в нашем случае, было показано, что полог лесных насаждений задерживает осадки, которые в дальнейшем испаряются в воздух. Благодаря лесу происходит увеличение запасов воды в почве, но при этом может наблюдаться обратный эффект в сторону уменьшения из-за эвапотранспирации, например, в период засухи. Как правило, развитие лесов увеличивает сток воды, пока они находятся в молодом возрасте, и уменьшает к возрасту спелости. Скорость испарения и запасы влаги в почве увеличиваются при успешном лесовосстанов-

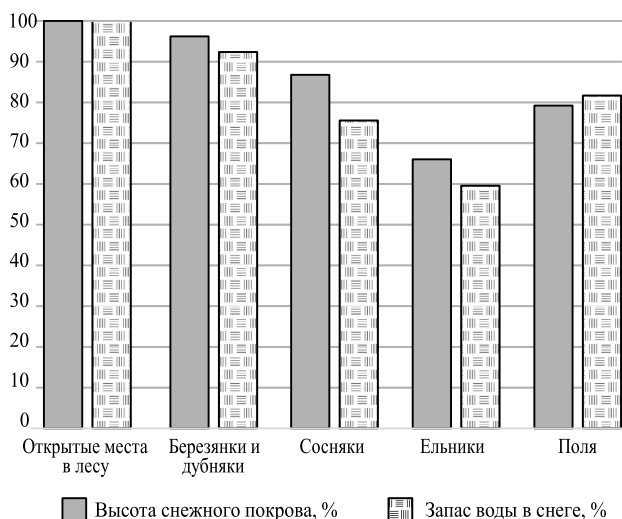
Табл. 3. Распределение атмосферных осадков, достигших почвы, по сезонам года

Объект наблюдений	Осадки, достигшие почвы, %				
	зима	весна	лето	осень	год
Лесной питомник	25,1	18,5	37,5	19,0	100,0
Березовое насаждение (78...84 лет)	27,5	16,4	39,7	16,4	100,0
Сосновое насаждение (68...112 лет)	26,8	18,3	36,8	18,1	100,0
Лесные культуры сосны (36...66 лет)	26,5	18,1	37,4	18,1	100,0
Лесные культуры ели (40...64 лет)	25,5	17,0	37,0	20,5	100,0

лении, в качестве критерия которого принимается разница между максимальным и минимальным расходами воды с водосбора [14].

В среднем на долю снега из годового количества осадков, достигших почвы, приходится 24,2 %. В отдельные зимы величина этого показателя может возрастать до 35...45 %. Наибольшая высота снежного покрова и запасы воды в снеге формируются на открытых местах, окруженных стеной леса (поляны, вырубки и др.). На открытых полях из-за ветрового воздействия и интенсивного таяния снега во время оттепелей высота снежного покрова и запасы воды в снеге ниже: соответственно 79 и 82 %, относительно открытых мест в лесу (см. рисунок). Наименьшим количеством снега, по сравнению с открытыми местами в лесу, характеризуются еловые насаждения (66 %), наибольшим – березовые и дубовые (96 %). Плотность снежного покрова в конце зимы варьирует в разные годы от 25 до 60 %. Кроме того, она сильно зависит от породного состава лесных насаждений.

Река Жабенка характеризуется следующими средними величинами гидрологических показателей, установленными по рядам данных многолетних наблюдений: расход воды – $2,44 \pm 0,16$ л/с, модуль сто-



Высота снежного покрова и запасы воды в снеге относительно открытых мест в лесу.

ка – $2,18 \pm 0,14$ л/(с×км²), годовой сток – 77120 ± 5079 м³, слой стока – $67,9 \pm 4,7$ мм, коэффициент стока – $13,7 \pm 1,1$. Результаты исследований свидетельствуют, что годам, которые характеризуются повышенным расходом воды, предшествуют наиболее засушливые.

Распределение годового стока реки Жабенка по сезонам года не равномерно. Наибольшая его доля приходится на весну (81,9 %). Величина зимнего стока очень тесно связана с состоянием почвы. Многолетние наблюдения показывают, что если снежный покров устанавливается на незамерзшей почве, то зимний сток продолжается без остановки в течение всей зимы. А если верхние почвенные горизонты промерзают и снежный покров отсутствует, то зимний сток может совсем прекращаться [12, 15].

Размер весеннего половодья связан, главным образом, с накоплением снега, запасами воды в снеге и метеорологическими условиями. Начало весеннего половодья характеризуется сильным подъемом суточного расхода воды, который может в десятки раз превышать величину этого показателя в предшествующие дни. Конец весеннего половодья наступает постепенно, переходя в межень.

Грунтовые воды считают одним из важных компонентов, который оказывает влияние на размер внутрипочвенного стока. Для территории Лесной опытной дачи с изменением абсолютных отметок рельефа происходит изменение глубины залегания грунтовых вод: при высоте 166 м над уровнем моря она составляет 5 м, при высоте 172 м над уровнем моря – 10 м. Результаты многолетних исследований свидетельствуют, что самый высокий уровень грунтовых вод наблюдается в марте, далее в течение апреля и мая он постепенно опускается, так как в это время увеличивается потребление воды деревьями. В течение летнего периода уровень грунтовых вод практически не меняется, а на протяжении осени происходит его медленный подъем из-за ослабления транспирации воды лесом. В зимний период грунтовые воды поднимаются к поверхности земли максимально близко. Уровень грунтовых вод снижается после засушливых годов, но под лесом это происходит на следующий после засухи год. После засушливого года атмосферные осадки могут пополнить убыль внутрипочвенного стока, и в облесённом бассейне поля и реки не испытают острого недостатка влаги.

Таким образом, результаты анализ многолетних наблюдений свидетельствуют, что лесная растительность оказывает существенное влияние на подземные воды и распределение атмосферных осадков, через которое проявляется водоохранная роль лесов. В облесённых бассейнах рек наблюдается снижение недостатка влаги после засушливых лет. Кроны лесных насаждений способствуют перераспределению в пространстве выпадающих осадков, в молодом возрасте леса увеличивают сток воды, а к возрасту спелости уменьшают.

Литература.

1. Keleş S. An assessment of hydrological functions of forest ecosystems to support sustainable forest management

- // *Journal of Sustainable Forestry*. 2019. № 38 (4). P. 305–326. doi: 10.1080/10549811.2018.1547879
2. Carvalho-Santos C., Honrado J.P., Hein L. Hydrological services and the role of forests: Conceptualization and indicator-based analysis with an illustration at a regional scale // *Ecological Complexity*. 2014. № 20. P. 69–80. doi: 10.1016/j.ecocom.2014.09.001.
3. Hewlett J.D. Comments on the catchment experiment to determine vegetal effects on water yield // *Water Resour. Bull.* 1971. № 7. P. 376–681.
4. Бурматова О.П. Законодательные проблемы охраны окружающей среды в России (на примере лесных и водных ресурсов) // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. 2019. Т. 24. № 3. С. 119–129. doi 10.33764/2411-1759-2019-24-3-119-129.
5. Hibbert A.R. Water yield improvement potential by vegetation management on Western rangelands // *Water Resour. Bull.* 1983. № 19. P. 375–381.
6. Stednick J. D. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield // *J. Hydrol.* 1996. № 176. P. 79–95.
7. Мухамедишин К.Д., Родин С.А., Неволин Ю.И. Влияние сплошных концентрированных рубок на водоохранно-защитные функции лесов Ветлужско-Унженской равнины // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*. 2003. №3. С. 85–93.
8. Yannian Yu. Hydrological effects of forests. *The Hydrological Basis for Water Resources Management (Proceedings of the Beijing Symposium, October 1990)*. IAHS Publ. 1990. № 197. P. 413–423.
9. Бурматова О.П. Законодательные проблемы охраны окружающей среды в России (на примере лесных и водных ресурсов) // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. 2019. Т. 24. № 3. С. 119–129. doi 10.33764/2411-1759-2019-24-3-119-129.
10. Дубенок Н.Н., Кузьмичев В.В., Лебедев А.В. Результаты экспериментальных работ за 150 лет в Лесной опытной даче Тимирязевской сельскохозяйственной академии. М.: Наука, 2020. 382 с.
11. Наумов В.Д., Поляков А.Н. 150 лет Лесной опытной даче РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева: Монография / под общ. ред. В.Д. Наумова. М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2015. 345 с.
12. Эйтинген, Г.Р. Лесная опытная дача 1865-1945. М.: Государственное лесотехническое издательство, 1946. 176 с.
13. Kusman C., Sunkar A. Role of Vegetation in Forest Hydrology // *Proceedings of the 4 Kyoto University-Southeast Asian Forum*. P. 153–159.
14. Soemarwoto O. *Indonesia dalam Kancah ISu Lingkungan Global*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta. 1991.
15. Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Гидрологическая характеристика территории Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2018. № 2. С. 5–17. doi: 10.26897/0021-342X-2018-2-5-17.

Поступила в редакцию 13.04.2021

После доработки 30.04.2021

Принята к публикации 12.05.2021

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОШИ

А.Н. Салугин, доктор сельскохозяйственных наук,
А.В. Кулик, А.И. Узолин, кандидаты сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН,
400062, г. Волгоград, Университетский просп., 97
E-mail: kulik-a@vafanc.ru

Исследование динамики природных объектов в пространстве и времени тесно связано с их стохастическим поведением, обусловленным климатическими и антропогенными факторами. Случайные явления в агролесомелиорации мало изучены. Теорию вероятности используют в этом разделе сельскохозяйственной науки в контексте формальной статистической обработки данных и не более. Распределения вероятностей случайной переменной в пространстве и времени принимают на веру без физического обоснования, используя методы правдоподобия или моментов. Вместе с тем природа случайных явлений может быть математически сформулирована с соответствующей функцией распределения: Пуассона – для вероятности осадков; Гаусса – при описании древостоя; Стьюдента – для малых выборок и др. Распределение Коши, как и нормальное распределение, относится к классическим и имеет своеобразную геометрическую интерпретацию, что весьма важно для практики агролесомелиорации. Оно описывает протяженное в пространстве поведение случайной величины с плотностью вероятности, зависящей от угла наблюдения за источником ее появления. С учетом этого обстоятельства авторы попытались аппроксимировать воздействия лесозащитных насаждений на межполосное пространство. Удаленность от лесной полосы – основной фактор защиты от ветра, эрозии и др. При этом для описания стохастического ветрового воздействия следует принимать во внимание не только удаленность, но и протяженность лесозащитных насаждений. В работе описана процедура регрессии на кривую распределения Коши данных снегопереноса в межполосном пространстве. Зависимость ветрового воздействия лесополос отражена в кумулятивном распределении. Высокая аппроксимирующая способность этого распределения определяет его неоспоримую ценность в практическом приложении.

STOCHASTIC MODELING OF THE INFLUENCE OF PROTECTIVE FOREST BELTS. THE CAUCHY DISTRIBUTION

Salugin A.N., Kulik A.V., Uzolin A.I.

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration, and Protective Afforestation Russian Academy of Sciences,
400062, Volgograd, Universitetskii prosp., 97
E-mail: kulik-a@vafanc.ru

The studies of natural objects behavior dynamics in space and time are closely related to their stochastic behavior, due to climatic and anthropogenic factors. Random phenomena in agroforestry have been studied insufficiently. Probability theory in this section of agricultural science is used in the context of formal statistical data processing and no more. The probabilities distributions of a random variable in space and time are taken to faith without physical explanation, using likelihood or moment methods. However, the random phenomena nature can be mathematically formulated with the corresponding distribution function: Poisson distribution – for the probability of precipitation; Gauss distribution – when describing a tree stand; Student – for small samples, etc. The Cauchy distribution, as well as the normal one, belongs to the classical distribution and has a peculiar geometrical interpretation, which is very important for the practice of agroforestry. This distribution describes the random variable behavior extended in space with a probability density depending on the observation angle for its occurrence source. This circumstance forced the authors to attempt the approximation of the forest protection plantations effects on the interband space by the Cauchy distribution. Distance from the forest strip is the main factor of protection against wind, erosion, etc. At the same time for the stochastic wind impact describing, not only the distance, but also the extent of forest protection plantations should be taken into account. The paper describes a regression procedure on the Cauchy distribution curve of snow transport data in the interstrip space. The dependence of the wind impact of forest belts is reflected in the cumulative distribution. The high approximation ability of this distribution determines its undeniable value in practical applications.

Ключевые слова: защитные лесные полосы, стохастическое моделирование, снегоотложение, снегозапасы, распределение Коши

Key words: protective forest shelter-belts, stochastic modeling, snow deposition, snow reserves, Cauchy distribution

В научных исследованиях по агролесомелиорации встречаются задачи по изучению пространственного влияния защитных лесных насаждений (ЗЛН) на биотические факторы защищаемых территорий, к числу которых относятся плодородие почвы, влажность, водная эрозия, дефляция и др. [1]. Как правило, при оценке влияния ЗЛН учитывают их конструкцию, высоту и расстояние до точки наблюдения. Математическое аналитическое моделирование в этом случае затруднено сложностью аэро- и гидродинамики процессов, а также неоднородностью среды. В связи с этим может оказаться весьма плодотворным использование стохастических приемов. При изучении хаотического по-

ведения природных объектов используют нормальное распределение случайных величин, хотя метод правдоподобия может дать иные результаты [2, 3, 4]. К оригинальным, на наш взгляд, можно отнести наблюдения по определению влияния лесозащитных насаждений в зависимости от удаленности до точки наблюдения. Одна из основных задач агролесомелиорации – изучение эффективности ЗЛН в связи с ее конструкцией, представляющей собой протяженную пространственную линейную систему насаждений с заданными параметрами строения, и выявление механизма влияния насаждения на межполосное пространство.

Цель исследований – стохастическое моделиро-

вание процесса снеготранспортировки на межполосном пространстве защитных лесополос различных конструкций с использованием распределения Коши.

Методика. Наблюдатель, находящийся в межполосном пространстве ЗЛН, отмечает изменения ее влияния по мере удаления от наблюдаемого элементарного участка dx (рис. 1), видимого под некоторым элементарным углом da . Поскольку мы рассматриваем процессы, имеющие случайный характер, можно перейти к поиску закономерностей проявления такой случайности как функции расположения элемента dx . В нашем случае это может быть, например, воздействие ветроломной полосы на дефляционные потери гумуса или интенсивность снеготранспортировки. Такое влияние выражается зависимостью элементарного угла da , под которым виден элемент dx . Будем считать, что для углов α нет выделенного направления (значения направлений α равновероятны – изотропность пространства). Тогда для функции распределения по углам наблюдения вдоль ЗЛН слева направо можно записать (см. рис. 1) [5]: $f(a) \cdot da = \frac{da}{\pi}$; $-\frac{\pi}{2} \leq a \leq \frac{\pi}{2}$, где $f(a)$ – вероятность проявления действия элементарного участка dx , видимого под углом da .

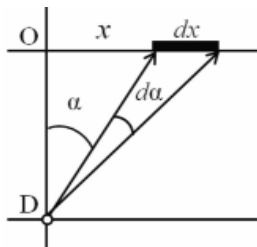


Рис. 1. Пространственное распределение влияния ЗЛН.

Чтобы перейти к межполосному пространству, рассмотрим связь между элементом dx и углом α (расстояние до полосы OD примем равным единице). Элемент угла da при этом связан с x равенством:

$\frac{da}{dx} = \frac{d}{dx} (\arctg x) = \frac{1}{1+x^2}$. Таким образом, плотность распределения вероятности случайной величины как функции от x равна:

$$f(x)dx = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{dx}{1+x^2}; -\infty \leq x \leq +\infty. \quad (1)$$

Формула (1) переводит равномерное распределение по углам к нелинейному распределению с ярко выраженным максимумом по координате x вдоль ЗЛН. Нетрудно подсчитать, что полная вероятность при охвате всех углов наблюдения равна единице, что соответствует адекватности полученной плотности распределения:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} \frac{1}{1+x^2} dx = \frac{1}{\pi} \arctg x \Big|_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} = \frac{\frac{\pi}{2} - (-\frac{\pi}{2})}{\pi} = 1.$$

Зависимость кумулятивного влияния лесозащитных насаждений от их протяженности можно представить в виде:

$$F(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x \frac{dx}{1+x^2} = \frac{2}{\pi} \arctg x. \quad (2)$$

Множитель 2 в этом выражении появился из-за четности подынтегральной функции. Это важно в практическом приложении, так как исследователю предоставляется возможность изучать одну из симметричных ветвей дифференциального распределения $f(x)$.

Из рисунка 1 видно, что влияние ЗЛН возрастет по мере удаления от нее. Это происходит из-за увеличения угла обзора (угла наблюдения, под которым видна полоса). Непосредственное (контактное) влияние полосы убывает по закону: $1/\pi \cdot 1/(1+x^2)$. Полученное пространственное распределение относится к числу классических [2], будучи частным случаем распределения Стюдента и близким по своим параметрам к нормальному распределению. Однако практического применения оно не получило. Вместе с тем существуют более общие формы такого распределения, которые включают в себя параметр медианы (аналог среднего в нормальном распределении) и параметр размерности (дисперсии). Рассмотрим это более подробно.

Общий вид плотности распределения будет двухпараметрическим:

$$f(x) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{b}{(x-a)^2 + b^2}; \quad (3)$$

где a и b – параметры (a – медиана, b – аналог дисперсии).

Интегральная (кумулятивная) кривая выражается формулой:

$$F(x) = \frac{2}{\pi} \cdot \arctg x \left(\frac{x-a}{b} \right) \quad (4)$$

Воздействие лесополосы на любой агрофизический параметр объектов, расположенных в межполосном пространстве, определяет так называемый геометрический фактор стохастического происхождения. В рассмотренном варианте расстояние до лесной полосы было взято равным единице, и фактически рассматривали одну точку, из которой осуществлялось наблюдение. При изменении положения наблюдателя (приближение к ЗЛН или удаление) реализуется перемещение по кумулятивной кривой Коши.

Определение параметров a и b в (3) на множестве наблюдений за случайной величиной $Y=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ представляет некоторые трудности. Это объясняется тем, что стандартные методы здесь не применимы [6, 7]. А.Н. Колмогоров [8] отмечает важность применения такой характеристики, как медиана. По определению медиана $m(Y)$ случайной величины Y есть такое число t , когда вероятность $p(Y < m) = p(Y \geq m) = 1/2$. В работе [6] показано, что если имеется распределение Коши с параметрами a и b , то для Y медиана будет равна $m(Y)=a$, а для распределения $|Y-a|$, $m|Y-a|=b$. Таким образом, если экспериментальные данные значений какой-либо случайной величины упорядочить по возрастанию: $y_1 \leq y_2 \leq y_3 \leq \dots \leq y_n$, то медиана принимается равной y_k при $n=2k-1$ и $(y_k + y_{k+1})/2$, если n четно $n=2k$. Для двухпараметрического распределения Коши можно получить, что выборочная медиана распределена нормально при $n \rightarrow \infty$ с математическим ожиданием a и среднеквадратичным отклонением $\sigma = \pi b / (2\sqrt{n})$ [2]. Таким образом, параметры a и b двухпараметрического распределения по данным наблюдений равны $a = \text{median}(y_1, y_2, y_3, \dots, y_n)$, $b = a = \text{median}(|y_1 - a|, |y_2 - a|, |y_3 - a|, \dots, |y_n - a|)$ с дисперсией $\sigma = \pi b / (2\sqrt{n})$.

Результаты анализа двухпараметрических кривых Коши с различными параметрами a и b свидетельствуют о качественном совпадении распределения Коши с нормальным распределением (рис. 2). При этом большей чувствительностью для анализа данных обладает плотность распределения $f(x)$ (рис. 2 а). Положение центра (максимума) распределения определяется как медиана, что соответствует математическому ожиданию распределения Гаусса (нормальному распределению).

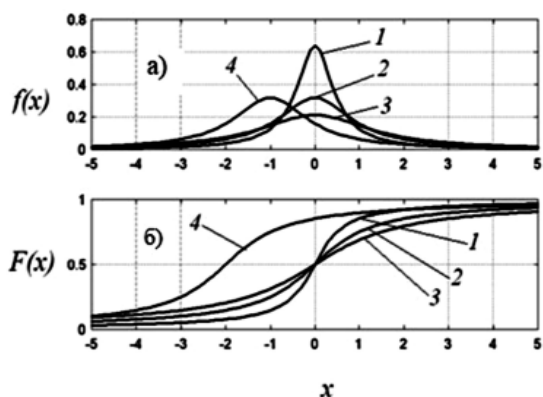


Рис. 2. Двухпараметрическое распределение Коши:
а) дифференциальное, б) кумулятивное; 1 – $a=0$, $b=0,5$;
2 – $a=0$; $b=1$; 3 – $a=0$; $b=1,5$; 4 – $a=-1$; $b=1$.

нию). Дисперсию при переходе к нормальному распределению можно вычислить по формуле: $\sigma = \pi b / (2\sqrt{n})$, где n – число наблюдений, b – параметр распределения Коши, определяемый при обработке экспериментальных данных.

Приведем некоторые данные, отражающие справедливость отмеченного утверждения на примере распределения снегозапасов между лесными полосами. Объект исследования расположен на северо-восточном склоне с уклоном $2...3^\circ$ и длиной 1,5 км восточнее ст. Клетской Волгоградской области на 2,8 км. Лесные полосы двух-трехрядные (плотной, продуваемой и комбинированной конструкций) состоят из робинии лжеакакии (*Robinia pseudoacacia*), ясеня зеленого (*Fraxinus lanceolata*), смородины золотистой (*Ribes aureum*). Конструкцию насаждений формировали путем проведения необходимых рубок [9].

Снегомерные съемки проводили в 2014–2019 гг. После снегопадов перпендикулярно защитным лесным насаждениям прокладывали снегомерные профили. На их протяжении определяли высоту снежного покрова в трехкратной повторности снегомерной рейкой через каждые 4 м в полевой части, через 2 м в шлейфовых зонах и через 1 м внутри насаждения. В каждой зоне в трехкратной повторности весовым снегомером ВС-43М проводили замеры снегозапасов.

Результаты и обсуждение. При анализе метеоданных было установлено, что на долю метельных ветров (скорость ветра более 3 м/с) приходилось 58,6 %, то есть снегоперенос был достаточно активным. Наибольшие средние скорости характерны для метелей южного (6,6 м/с), юго-юго-восточного (5,5 м/с) и северо-северо-западного (5,1 м/с) направлений. Эффективность расположения лесной полосы по отношению к розе ветров оценивается углом подхода потока к лесонасаждению. Ветроломная эффективность при этом зависит от отклонения направления от перпендикуляра к направлению ветра. Дальность ветроломного влияния лесополосы также зависит от угла между направлением ветра и лесополосой. По результатам анализа расположения лесополосы относительно основных направлений снегопереноса установлено, что при отклонении на угол более 30° (при метелях восточного направления – 50° , северо-северо-западного – 65° , южного – 40°) дальность ветроломного влияния уменьшается на 20...30 %, при 30° – на 13 % (западно-юго-западные – 29°), при 20° – на 2...6 % (юго-западные – 6°).

Установленные закономерности можно интерпретировать как процесс формирования снегозапаса под

воздействием метельных ветров. При этом учет направления и скорости ветров описывается математической динамико-стохастической моделью. Суть этой модели состоит в том, что процесс переноса снега начинается с некоторой критической скорости ветра, при которой происходит его отрыв и перенос [10, 11]. Как уже отмечалось, ветроломное влияние ЗЛН зависит от угла между направлением ветра и лесной полосой. С учетом случайных ветровых направлений эффект от ЗЛН можно моделировать Коши-распределением, имеющим такую же физическую интерпретацию [5]. Используя двухпараметрическое распределение с привлечением медианы и дисперсии (см. рис. 2), представляется возможным описание влияния ЗЛН на снегозадержание.

Математический пакет Matlab имеет приложение Curve Fitting Toolbox для подгонки теоретических кривых к экспериментальным данным [12]. Этот инструмент позволяет выполнять предварительный анализ исходной информации и сравнивать результаты моделирования с использованием аппроксимаций. Программа позволяет проводить регрессионный анализ с применением линий нелинейного метода наименьших квадратов с заданными пользователем аналитическими функциями аппроксимации.

Результаты приближения распределения Коши к данным наблюдений показали, что оно достаточно точно описывает пространственное накопление снега для трех изученных типов конструкций ЗЛН (плотной, продуваемой и комбинированной), обладающих различными аэродинамическими свойствами [13, 14]. Отмечается сходная для всех типов ЗЛН картина – снижение скорости ветра при приближении к лесной полосе, что способствует осаждению снежных частиц и формированию сугробов (рис. 3). При этом кривые распределения Коши $F(x) = \text{atan}((x-a)/b)$ на графиках достаточно близко располагаются к данным по снегоотложению.

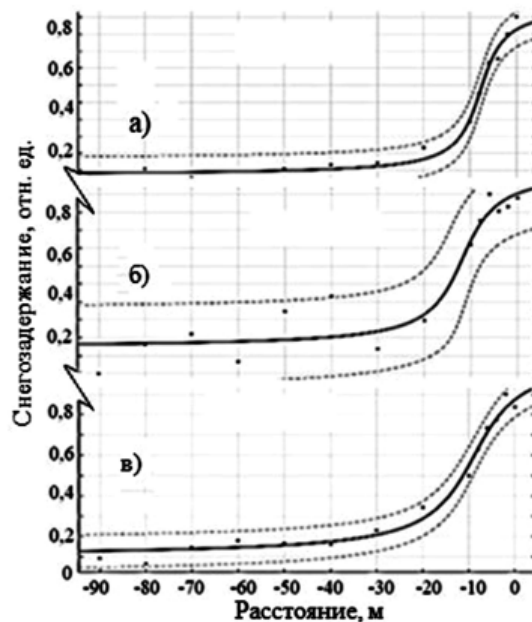


Рис. 3 Кумулятивные кривые влияния лесных полос на снегозадержание, полученные нелинейным методом наименьших квадратов с использованием распределения Коши для трех типов ЗЛН: а) – плотная; б) – продуваемая; в) – комбинированная; пунктиром на графиках отражены 95 %-ные доверительные интервалы.

**Параметры Коши-распределения
и точность аппроксимации**

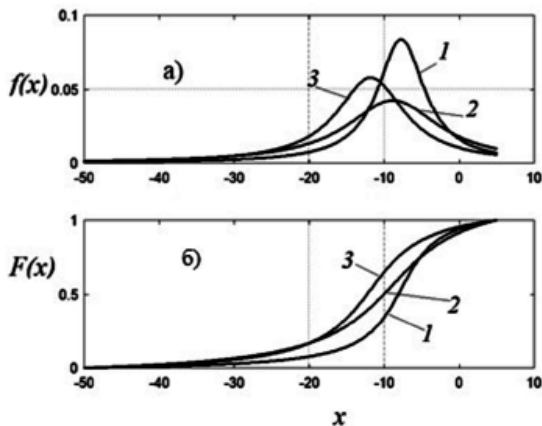
Конструкции ЗЛН	Параметры распределения		RMSE*	R ²
	a	b		
Плотная	-7,74 ± 1,2	3,8 ± 0,54	0,051	0,98
Продуваемая	-11,77 ± 2,2	5,5 ± 1,8	0,115	0,92
Комбинированная	-8,81 ± 2,3	7,5 ± 2,1	0,042	0,98

*среднеквадратичная ошибка метода наименьших квадратов.

Результаты анализа параметров Коши-распределения и точности аппроксимации свидетельствуют, что значения медианы (*a*) для разных типов конструкций существенно различаются, отражая дальность влияния ЗЛН. Значения дисперсий (*b*) изменяются от 3,8 до 7,5 (см. табл.).

Визуальный анализ регрессии (см. рис. 3) указывает на различие форм кривых распределения. Наиболее точно аппроксимируются кривые (а) и (в). Для плотной и комбинированной ЗЛН R² равен 0,98, в то время как для продуваемой R²=0,92. Параметр *a* для продуваемой конструкции принимает наибольшее значение, что свидетельствует о наибольшем отклонении распределения от нулевого значения.

Более наглядно видны различия для плотностей распределения при графическом отображении (рис. 4). Для плотной ЗЛН *f(x)* смещена вправо, относительно других конструкций, свидетельствуя о том, что ее влияние на снегоотложение начинается раньше и захватывает большее межполосное пространство.



**Рис. 4. Теоретические кривые распределений:
а) плотности вероятностей и
б) кумулятивные кривые; 1 – плотная, 2 – продуваемая,
3 – комбинированная конструкции ЗЛН.**

Таким образом, возможность использования распределения Коши при описании снегораспределения в межполосном пространстве обусловлено статистическим характером геометрического происхождения этого процесса. Угловые распределения влияния ЗЛН, моделируемые кривой Коши, как и распределения ветровой направленности снегопереноса необходимо учитывать одновременно. При выводе распределения Коши предполагается, что приоритетных направлений не существует – изотропность пространства. Это означает равновероятные угловые испытания. Вместе с тем полученные при переходе к пространственному распределению влияния ЗЛН результаты могут быть

использованы для измерения угловой корреляции между преимущественным направлением ветра из «розы ветров», снегозадержанием и распределением Коши. Для этого на кривой распределения Коши необходимо перейти от координаты x к соответствующим углам наблюдения α ($x=tg\alpha$). Таким образом, стохастическая природа снегопереноса и ее геометрический характер адекватно моделируются распределением Коши, позволяющим, как показано в статье, получать количественные данные при расчетах снегонакопления. Результаты, полученные по снегозадержанию – частный случай использования распределения Коши, которое может найти применение для динамико-стохастического моделирования в агроэкологии.

Литература.

- Кулик К.Н., Салугин А.Н. Математические модели процессов деградации почвенно-растительных систем// Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. 2016. № 67. С. 261–264.
- Ван дер Варден. Математическая статистика. М.: изд-во Иностранной литературы, 1960. 436 с.
- Анализ данных и математическое моделирование в экологии и природопользовании / И.С. Белюченко, А.В. Смагин, Л.Б. Попок и др. Краснодар: КубГАУ, 2015. 313 с.
- Шинкеев М.Л. Оценка параметров распределения Коши // Научное обозрение. 2012. № 3. С. 77–80.
- Худсон Д. Статистика для физиков: лекции по теории вероятностей и элементарной статистике. М.: Мир, 1970. 296 с.
- Галкин В.М., Ерофеева Л.Н., Лещева С.В. Оценки параметров распределения Коши // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2014. №2(104). С. 314–319.
- Некоторые оценки параметров распределения Коши / Е.Д. Галкина, С.В. Лещева, Н.С. Лукичев и др. // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. 2015. № 3(110). С. 322–325.
- Колмогоров А.Н. Метод медианы в теории ошибок // Матем. сб. 1931. Т. 38. №3-4. С. 47–50.
- Узолин А.И., Кулик А.В. Эффективность защитных лесных полос в формировании и перераспределении снежного покрова на водосборах // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. №2 (50). С. 100–106.
- Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 294 с.
- Гельфан А.Н., Морейдо В.М. Динамико-стохастическое моделирование формирования снежного покрова на Европейской территории России // Лёд и снег. 2014. Т. 54. №2. С.44–52. doi: 10.15356/2076-6734-2014-2-44-52.
- Matlab // MathWorks om 02.12.2019. URL: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>.
- Барабанов А.Т., Кулик А.В. Роль стокорегулирующих лесополос в регулировании снегоотложения и промерзания почв в европейской части РФ // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. №2 (46). С. 85–90.
- Иващенко Н.Н. Влияние лесных полос различных конструкций на ветро-вой поток и снегораспределение // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2013. №3 (41). С. 16–19.

Поступила в редакцию 24.02.2021
После доработки 30.03.2021
Принята к публикации 12.05.2021

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.13:631.527

DOI: 10.31857/S2500262721030030

**СЕЛЕКЦИЯ ОВСА ПЛЕНЧАТОГО
В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ*****Г.А. Баталова¹, С.Н. Шевченко²**, доктора сельскохозяйственных наук, академики РАН,
О.А. Жуйкова¹, А.А. Бишарев², кандидаты сельскохозяйственных наук, **М.В. Тулякова¹**¹Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина, 166а
E-mail: g.batalova@mail.ru²Самарский научно-исследовательский институт Самарского научного центра РАН,
446254, Безенчук, ул. Карла Маркса, 41
E-mail: samniish@mail.ru

В Кировской (ФАНЦ Северо-Востока) и Самарской (Самарский НИИСХ) областях проведены исследования с целью создания перспективных линий овса пленчатого с улучшенными признаками урожайности и качества зерна, а также кормовой продуктивности в условиях неустойчивости агроклиматических ресурсов. По результатам изучения в 2018–2020 гг. отобрано 13 линий овса пленчатого, сочетающих урожайность с другими хозяйственно-ценными признаками. В том числе перспективная линия 325h12 со средней урожайностью в Кирове 6,94 т/га и ценным по качеству зерном (натура – 592 г/л, масса 1000 зерен – 39,9 г, пленчатость – 23,3 %, белок – 12,25 %, жир – 6,2 %), а также 178h13 для производства зерна (урожайность – 5,15–7,69 т/га) и кормовой массы (сбор сухого вещества – до 14,0 т/га, белок – 10,47 %, жир – 2,16 %, клетчатка – 3,99 %). Урожайная по зерну линия 325h12 уступала линии 178h13 по кормовой продуктивности и наоборот. Фактор год оказывал более значимое влияние на урожайность (46,7 %), чем генотип (11,1 %) и состояние агроклиматических ресурсов в точке исследований. Урожайность линии 325h12 в Кировской области в 2019 г. составила 8,31 т/га, в 2020 г. варьировала от 6,78 т/га в Кировской до 3,25 т/га в Самарской области.

**BREEDING OF COVERED OATS
IN CONDITIONS OF INSTABILITY OF AGROCLIMATIC RESOURCES****Batalova G.A.¹, Shevchenko S.N.², Zhuikova O.A.¹, Bisharev A.A.², Tulyakova M.V.¹**¹Federal Agricultural Research Center of the North-East,
610007, Kirov, ul. Lenina, 166a
E-mail: g.batalova@mail.ru²Samara Agricultural Research Institute, Samara Scientific Center of RAS,
446254, Bezenchuk, Samarskaya obl., ul. K. Marksa, 41
E-mail: samniish@mail.ru

Researches had been carried out in the Kirov (FARC of the North-East) and Samara (Samara ARI) regions with the aim of obtaining of covered oats with improved parameters of grain yield and quality as well as fodder productivity in conditions of instability of agro-climatic resources. According to the results of 2018–2020, thirteen lines of covered oats were selected, combining yield with other economic and valuable signs. Among these lines are promising ones: 325h12 (having average yield in Kirov about 6.94 t/ha) with a quality-valuable grain (test weight 592 g/l; 1000-grain mass 39.9 g; huskiness 23.3%; protein content 12.25%; fat content 6.2%); and 178h13 - for production of grain (yield capacity 5.15–7.69 t/ha) and feed mass (dry matter yield up to 14.0 t/ha; protein content 10.47%; fat content 2.16%; fiber content 3.99%). The grain high-yield line 325h12 is inferior in feed productivity to the line 178h13 and vice versa. It was established that the factor «year» had more significant effect on the yield (46.7%) than «genotype» (11.1%), as well as “the state of agro-climatic resources” at the research point. The yield capacity of the line 325h12 in the Kirov region was 8.31 t/ha in 2019; in 2020 it ranged from 6.78 t/ha in the Kirov region to 3.25 t/ha in the Samara regions.

Ключевые слова: линия, урожайность, сухое вещество, качество, факторы окружающей среды, температура, осадки, экологическая точка

Key words: line, yield capacity, dry matter, quality, environmental factors, temperature, precipitation, ecological point

Надежное обеспечение населения страны безопасной и качественной сельскохозяйственной продукцией, перерабатывающей промышленности – сырьем, животноводство – кормами в условиях глобальных изменений климата и неустойчивой обеспеченности агроклиматическими факторами в пространстве и времени базируется на непрерывном совершенствовании и обновлении сортимента сельскохозяйственных, в первую очередь зерновых, культур. Устойчивость и/или толерантность к стрессовым экологическим факторам определяет способность сорта формировать экономически значимую урожайность при изменении условий окружающей сре-

ды и его востребованность в производстве [1, 2]. Селекция на стресс-устойчивость предполагает проведение исследований в различных эколого-географических точках.

Волго-Вятский регион Приволжского федерального округа относится к территориям с достаточным увлажнением и средними температурами в период вегетации, многоснежной с низкими температурами зимой. При этом в период вегетации практически ежегодно отмечают 20...35 засушливых дней, в отдельные годы их число достигает 60 дней [3].

Овес – влаголюбивая культура, недостаточное увлажнение и повышенные температуры вызывают сни-

* Исследования выполнены в рамках Госзадания по теме № 0528-2019-0093

жение его урожайности на 60 % и более, особенно при засухе в репродуктивной стадии развития растений [4, 5]. Поэтому к наиболее важным направлениям селекционного улучшения культуры относят увеличение засухоустойчивости и способности переносить дефицит влаги без существенного снижения урожая. Повышенные температуры ускоряют прохождение растением фенологических фаз, в результате они используют меньше солнечной радиации на формирование вегетативных и генеративных органов, что приводит к снижению продуктивности [6].

В селекции сортов, сочетающих высокую урожайность и устойчивость к лимитирующим ее уровень неблагоприятным факторам окружающей среды актуально проведение исследований в различных эколого-географических точках [2, 7].

Овес выращивают на зерно и кормовую массу. Зерно культуры обладает рядом уникальных свойств, которые отличают его от других злаков, что обеспечивает более высокую калорийность и востребованность овса в качестве продовольственной культуры. Зерно овса характеризуется большим, чем у других хлебных злаков, содержанием диетических пищевых волокон, высокой концентрацией жира, наличием авентрамидов, оказывающих антиоксидантное воздействие [8, 9]. Белок овса полноценен по аминокислотному составу. Зерно не содержит клейковины и пригодно для использования при производстве продуктов, предназначенных для людей, страдающих глютеновой энтеропатией [10, 11]. Начиная с 2014 г. в мире увеличивается спрос на продукты питания из овса, как «здоровую» пищу, что способствует расширению их ассортимента [12].

Цель исследований – создать перспективные для использования в производстве линии овса пленчатого с улучшенными признаками урожайности и качества зерна, а также кормовой продуктивности в условиях нестабильности агроклиматических ресурсов.

Методика. Работу проводили 2018–2020 гг. В соответствии с действующей методикой [13] изучены 43 селекционные линии и сорта овса пленчатого селекции ФАНЦ Северо-Востока, созданные методами гибридизации и отбора с использованием генофонда овса ФИЦ ВИР. Стандарты – сорта, используемые в качестве стандартов на сортоучастках Кировской и Самарской областей – Кречет и Конкур соответственно. Исследования выполняли в экологических точках, различающихся по состоянию агроклиматических ресурсов: Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудникова (ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров и п. Фаленки) Кировская область, Самарский НИИСХ – филиал Самарского НЦ РАН (Самарская обл., пгт. Безенчук) Самарская область. Климат Кировской области умеренно-континентальный с продолжительной, многоснежной и холодной зимой и умеренно теплым летом, продолжительность активного роста растений составляет в среднем 116...120 дней. В Самарской области климатические условия характеризуются выраженной континентальностью – холодная и малоснежная зима сменяется короткой весной, сухим и жарким летом [14]. Почва опытных участков ФАНЦ Северо-Востока дерново-подзолистая среднесуглинистая на элювии пермских глин, Самарского НИИСХ – чернозем террасовый обыкновенный малогумусный, среднесуглинистый с показателями качества соответственно по экологическим точкам: гумус 2,43...2,51 % и 3,4...5,0 %, (по ГОСТ 26213-91), подвижный фосфор – 334...339 мг/кг и 170...200 мг/кг почвы, калий – 200...245 мг/кг и 150...200 мг/кг по-

чвы (по ГОСТ 26207-91), pH – 5,7...6,0 и 6,05...6,48 ед. Качество зерна (содержание белка, жира) определяли по соответствующим методикам [15]. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета селекционно-ориентированных программ AGROS 2.07, пакета прикладных программ Microsoft Excel из стандартного набора Microsoft Office.

Результаты и обсуждение. В питомниках конкурсного испытания овса в 2020 г. на фоне атмосферной и почвенной засухи в период выметывания и с учетом результатов исследований 2018 и 2019 гг. выделены 13 линий овса пленчатого, сочетающих урожайность с другими хозяйственно-ценными признаками: 325h12, 178h13, 4h14, 46h14, 79h14, 174h15, И-4595, И-4794, И-4818, И-4828, И-4857, И-4935, И-4946. Их урожайность варьировала по годам и экологическим точкам в зависимости от тепло- и влагообеспеченности периода вегетации. Известно, что на продуктивность растений влияет не только изменение обобщенных годовых показателей температур и осадков, но и их распределения по фазам вегетации [16, 17].

Условия периода вегетации 2020 г. в Кировской области (ГТК в Кирове – 1,81 в Фаленках – 1,26) были в целом достаточно благоприятны для развития овса, однако повышенные температуры (до 34° и 35...36°, или на 3...12° больше нормы) и недостаточное увлажнение в первой – второй декадах июля (период цветения и формирования зерна) спровоцировали стерилизацию верхних цветков метелки, сокращение продолжительности периода «выметывание – созревание» и снижение зерновой продуктивности. В этих условиях значительно более высокую урожайность в Кирове и Фаленках (6,78 т/га и 5,26 т/га соответственно) сформировали растения линии 325h12 (табл. 1). При ее создании использовали сорта отечественной селекции (урожайный толерантный к эдафическому стрессу Фауст, урожайный крупнозерный Конкур и адаптивный Скакун) и ценный по качеству зерна голозерный образец 1153 Manu (Германия) из генофонда ФИЦ ВИР. Условия периода вегетации 2019 г. по температуре и осадкам были наиболее благоприятными для формирования высокой урожайности за анализируемый период. В результате в Кирове она составила 8,31 т/га, в Фаленках – 8,29 т/га. В 2018 г. отсутствие или дефицит осадков в мае негативно отразились на состоянии всходов и закладке узла кушения. В июне из-за частых дождей, неустойчивой от холодной до очень теплой и жаркой сухой погоды отмечали образование непродуктивного подгона и уплотнение почвы. В таких условиях линия 325h12 сформировала урожайность 5,74 и 6,54 т/га соответственно по экологическим точкам.

Более значимое влияние на урожайность овса оказал фактор «год» (46,7 %) и меньшее генотип (11,1 %), аналогичные зависимости отмечали другие исследователи [18, 19]. Показана значимая положительная зависимость урожайности от длины стебля растений и метелки, верхнего, среднего и нижнего междоузлий ($r = 0,38...0,54$ при $p \leq 0,05$), а также зависимость озерненности ($r = 0,55$ при $p \leq 0,05$) и продуктивности ($r = 0,62$ при $p \leq 0,05$) метелки от высоты стебля, отмечен значимый вклад в продуктивность длины и диаметра верхнего, среднего и нижнего междоузлий ($r = 0,70...0,88$ при $p \leq 0,05$), а также площади листьев стебля ($r = 0,56$ при $p \leq 0,05$). Зависимость урожайности от продуктивности, высоты растений и размеров надземной биомассы показана рядом других исследователей [20, 21, 22].

Совокупность признаков качества основной продукции и урожайности линии 325h12 указывает на воз-

Табл. 1. Характеристика линий пленчатого овса по урожайности, т/га

Линия	2020 г.		2018–2020 гг.		
	показатель	± к стандарту	варьирование	среднее	± к стандарту
Киров					
325h12	6,78	+0,93	5,74...8,31	6,94	+0,91
178h13	5,53	+0,09	5,15...7,69	6,12	+0,19
4h14	5,74	+0,30	5,22...7,74	6,23	+0,20
46h14	5,54	+0,10	5,54...7,15	6,41	+0,37
79h14	6,09	+0,32	6,09...8,51	6,77	+0,75
2019–2020 гг.					
174h15	5,67	+0,23	5,67...8,21	6,94	+0,34
HCP ₀₅	0,31			0,26/0,33*	
Фаленки					
2020 г.			2018–2020 гг.		
325h12	5,26	+0,41	5,26...8,29	6,66	+0,76
И-4595	5,58	+0,48	5,58...8,19	6,74	+0,80
И-4794	6,21	+1,11	6,21...8,30	6,96	+1,02
И-4818	5,45	+0,35	5,45...8,42	6,91	+0,93
И-4828	5,47	+0,37	5,47...7,90	6,61	+0,63
И-4857	5,54	+0,69	5,54...6,51	6,14	+0,29
2019–2020 гг.					
И-4935	5,85	+1,00	5,85...7,84	6,85	+1,30
И-4946	5,08	+0,23	5,08...7,36	6,22	+0,67
HCP ₀₅	0,38			0,46/0,59*	

*HCP₀₅ для 2018–2020 гг. и 2019/2020 гг.

возможность ее использования для производства зерна на пищевые и кормовые цели. По данным ФАНЦ Северо-Востока линия созревает одновременно или на 1...2 дня позднее стандарта – сорта Кречет, резистентна к корончатой ржавчине, формирует ценное по качеству зерно – натура более 520 г/л, пленчатость – 20,2...23,3 % (табл. 2).

В засушливых условиях Самарского НИИСХ в 2020 г. ее урожайность составила 3,25 т/га и находи-

лась на уровне стандарта – сорта Конкур (+0,14 т/га). В 2019 г. величина этого показателя (1,26 т/га) была ниже стандарта на 0,41 т/га, при массе 1000 зерен у линии и стандарта – 34,8 г, тогда как в 2020 г. она была равна соответственно 27,5 г и 27,0 г. Кроме того, в Самарской области наблюдали повышенное содержание белка в зерне линии 325h12 (14,5 %) и в целом по выделенным формам (13,0...15,6 %), относительно уровня Кировской области, при этом показатели натурной массы зерна были более низкими (426...478 г/л).

Для северных территорий актуально выращивание овса на кормовую массу в чистом виде и в смеси с другими зерновыми, а также зернобобовыми культурами, чаще горохом. Кормовую, как и зерновую продуктивность в исследованиях определяли факторы среды и генотип. Наибольшая урожайность зеленой массы отмечена при благоприятных условиях увлажнения и температурного режима в период всходы – выметывание. Установлена значимая зависимость урожайности зеленой массы и сухого вещества от его продолжительности ($r = 0,77$ и $0,73$ при $p \leq 0,05$), отмечена достоверная корреляция между сбором сухого вещества и показателем ГТК ($r = 0,63$ при $p \leq 0,05$).

Сорт Медведь и линия 325h12, отличавшиеся высокой урожайностью зерна, характеризовались меньшей кормовой продуктивностью, по сравнению с линией 178h13, при создании которой использовали отечественные сорта – высокорослый Дамсинский кормовой и урожайный по зерну Конкур (табл. 3).

В исследованиях показано положительное влияние высоты растений на кормовую продуктивность ($r=0,43$

Табл. 2. Характеристика линий пленчатого овса по качеству зерна

Сорт, линия	Содержание белка, %	Содержание жира, %	Натура, г/л	Масса 1000, г	Пленчатость, %
Киров					
325h12	12,25	6,20	592	39,9	23,3
178h13	11,80	8,77	595	37,8	24,4
4h14	9,93	7,21	573	34,7	25,6
Кречет, стандарт	10,56	5,98	577	36,6	24,2
HCP ₀₅	1,03	0,76	16	1,2	0,6
Фаленки					
325h12	10,52	5,82	523	36,1	20,2
И-4595	10,57	5,71	477	32,0	25,7
И-4794	9,12	6,15	503	32,7	27,0
И-4818	9,43	6,21	493	32,0	24,6
И-4828	9,56	6,19	499	32,8	24,6
Кречет, стандарт	8,55	6,03	511	35,2	24,0
HCP ₀₅	0,76	0,43	21	1,1	0,8

Табл. 3. Характеристика перспективной линии овса пленчатого 178h13 по кормовой продуктивности (Киров), т/га

Линия	2020 г.		2018–2020 гг.		
	показатель	± к стандарту	варьирование	среднее	± к стандарту
Урожайность зеленой массы					
178h13	57,8	+31,8	27,1...57,8	40,1	+19,9
325h12	39,8	+13,8	12,6...39,8	23,7	+3,5
Медведь	35,5	+9,5	18,2...51,1	34,9	+14,7
Кречет, стандарт	26,0		16,0...26,0	20,2	
НСР ₀₅	4,6			2,8	
Сбор сухого вещества					
178h13	14,0	+7,1	5,2...14,0	8,8	+3,1
325h12	12,0	+5,1	3,8...12,0	7,7	+2,0
Медведь	10,4	+3,5	5,1...10,4	8,2	+2,5
Кречет, стандарт	6,9		4,2...6,9	5,7	
НСР ₀₅	2,3			0,9	

при $p \leq 0,05$), что отмечали и другие исследователи [23, 24, 25]. Урожайность зерна перспективной линии 178h13 по данным ФАНЦ Северо-Востока была на уровне стандарта (+0,19 т/га), но уступала по величине этого показателю линии 325h12 на 0,82 т/га, сорту Медведь – на 0,75 т/га. В то же время линия 178h13 превосходила их по урожайности зеленой массы (соответственно на 16,4 т/га и 5,2 т/га) и сухого вещества (на 1,1 т/га и 0,6 т/га).

В условиях Самарского НИИСХ урожайность зерна линии 178h13 (3,16 т/га) в 2020 г. была значимо выше стандарта – сорта Конкур (3,11 т/га, НСР₀₅=0,03) и выше показателя 2019 г. – 1,29 т/га (при 1,37 т/га у стандарта, НСР₀₅=0,19). Урожайность изученных сортов и линий варьировала в 2020 г. от 3,25 т/га у линии 325h12 до 2,55 т/га у 79h14, в 2019 г. – от 1,62 т/га до 1,10 т/га. Низкая урожайность 2019 г. связана с неблагоприятными для роста и развития овса агроклиматическими факторами. В фазе кущения колебания температуры на поверхности почвы в течение суток составляли 0,6...60,4° при отсутствии существенных осадков, это привело к гибели части всходов. Жаркая и сухая погода в оба года исследований негативно отразилась на ряде показателей качества. Так, в 2020 г. масса 1000 зерен у линии 325h12 составила 28,5 г, у сорта Конкур – 27,0 г, Медведь – 27,5 г. В 2019 г. величина этого показателя была несколько выше и достигала у сортов Конкур и Медведь 34,8 г, а у линии 46h14 – 37,2 г. Зерно изученных генотипов имело высокую пленчатость: в 2019 г. – от 29,0 % у линии 79h14 до 37,0 % у 46h14, в 2020 г. – от 21,0 % у линии 325h12 до 34,0 % у стандарта. Содержание белка в зерне выращенного в Самарской области было выше, чем в Кировской, на 13,0...14,7 %. Концентрация жира, наоборот, была пониженной. В 2020 г. у линии 178h13 величина этого показателя составила 4,5 %, у сорта Медведь – 3,7 %, Конкур – 3,8 %, в 2019 г. соответственно 5,5 %, 6,0 % и 6,7 %. Наименьшей (4,3 %) она была у линии 325h12. Результаты исследований указывают на наличие реакции генотипа и культуры на факторы окружающей среды конкретной экологической точки, а также на влияние фактора «год».

Таким образом, в различных экологических условиях на фоне нестабильности агроклиматических ресурсов выделены перспективные для передачи на государственное сортоиспытание линии овса пленчатого: 325h12 с высокой урожайностью (до 8,31 т/га, в среднем 6,94 т/га) ценного по качеству зерна (белок – 12,25 %, жир – 6,20 %, натура – 592 г/л, пленчатость – 23,3 %) и 178h13 для производства кормовой массы (средний сбор зеленой массы – 40,1 т/га, сухого вещества 8,80 т/га) и ценного по качеству зерна (жир – 8,77 %, натура – 595 г/л, пленчатость – 24,43 %). Наибольшая их урожайность отмечена в Кировской области в 2019 г. на фоне достаточного увлажнения, наименьшая – в засушливых условиях Самарской области в 2020 г. Результаты исследований указывают, что для создания генотипов, способных формировать стабильно высокую урожайность в варьирующих условиях среды, необходимо проводить селекцию овса в различных экологических точках.

Литература

- Admas S., Tesfaye K. Genotype-by-environment interaction and yield stability analysis in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes in North Shewa, Ethiopia // *Acta Universitatis Sapientiae. Agriculture and Environment*. 2017. No.9. P. 82–94.
- Genetic, environmental and genotype x environment interaction effects on the common bean grain yield and commercial quality / H.S. Pereira, R.C. Alvares, F.C. Silva, et al. // *Semina: Ciencias Agrarias, Londrina*. 2017. Vol. 38. No. 3. P. 1241–1250.
- Batalova G.A., Shchennikova I.N., Lisitsyn E.M. Breeding of grain crops in extreme climatic conditions // *Temperate Crop Science and Breeding: Ecological and Genetic Studies*. Waretown, NJ: Apple Academic Press, 2016. P. 3–16.
- Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches / Z. Ahmad, E.A. Waraich, S. Akhtar et al. // *Acta Physiol. Plant*. 2018. Vol. 40. No. 80. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-018-2651-6> (дата обращения: 12.01.2021) doi: 10.1007/s11738-018-2651-6.
- Daryanto S., Wang L., Jacinthe P.A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review // *Agric. Water Manag.* 2017. Vol. 179. P. 18–33.
- Impacts of climatic and varietal changes on phenology and yield components in rice production in Shonai region of Yamagata Prefecture, Northeast Japan for 36 years / T. Nguyen-Sy, W. Cheng, K. Tawarayama, et al. // *Plant Production Science*. 2019. Vol. 22(3). P. 382–394.
- Вус Н. О., Кобизева Л. Н., Безугла О. М. Селекційна цінність зразків нуту за посухостійкістю в умовах східного лісостепу України // *Наукові доповіді НУБіП України*. 2017. № 4(68). С. 943–946.
- Decker E.A., Rose D.J., Stewart D. Processing of oats and the impact of processing operations on nutrition and health benefits // *British Journal of Nutrition*. 2014. Vol. 112. P. 58–64 doi:10.1017/S000711451400227X;
- Girardet N., Webster F.H. Oat milling: specifications, storage, and processing // *Oats: Chemistry and Technology*. Eds: F.H. Webster, P.J. Wood. AACC International Press, 2011. P. 301–319. doi: 10.1094/9781891127649.014
- Consumption of pure oats by individuals with celiac disease: a position statement by the Canadian Celiac Association / M. Rashid, D. Butzner, V. Burrows, et al. // *Can. J. Gastroenterol*. 2007. Vol. 21(10). P. 649–651.

11. Zimmer K.-P. Nutrition and celiac disease // *Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health Care*. 2011. No. 41(9). P. 244–247.
12. Oats as a functional food: A review / W.S. Ahmad, S.T. Rouf, B. Bindu, et al. // *Universal Journal of Pharmacy*. 2014. Vol. 3(1). P. 14–20.
13. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Общая часть / под ред. М.А. Федина. М.: Колос, 1985. Вып 1. 269 с.
14. Горянин О.И. Возделывание полевых культур в Среднем Заволжье. Самара: Самарский НИИ сельского хозяйства, 2019. 345 с.
15. Методы биохимического исследования растений. Практикум. / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош и др. изд. 2-е, перераб. и доп. Ленинград: Колос. Ленингр. отд-ние, 1972. 456 с.
16. Chen Y., Zhang Z., Tao F. Impacts of climate change and climate extremes on major crops productivity in China at a global warming of 1.5 and 2.0 °C // *Earth Syst. Dynam.* 2018. Vjl. 9. P. 543–562.
17. Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review / A. Raza, A. Razaq, S.S. Mehmood, et al. // *Plants (Basel, Switzerland)*. 2019. Vol. 8(2). 34. doi: 10.3390/plants8020034
18. Comparative performance study of different oat varieties under Agro-Climatic conditions of Sibi / M. Y. Lodhi, I. B. Marghazani, K. Hamayun et al. // *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2009. №19 (1). P. 34–36.
19. Stability Analysis for Yield and Yield Related Traits in Fodder Oats (*Avena sativa* L.) / F.A. Nehvi, A. W. Shafiq, H. Altaf, et al. // *Asian Journal of Plant Sciences*. 2007. №6 (4). P. 628–632. doi: 10.3923/ajps.2007.628.632
20. Косенко С.В. Хозяйственно-биологическая оценка линий озимой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании // *Таврический вестник аграрной науки*. 2019. № 2(18). С. 53–59. doi: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-53-59
21. Корреляция урожайности с элементами продуктивности сортов яровой мягкой пшеницы в условиях степной зоны Омской области / Д.В. Пушкарев, А.С. Чурсин, О.Г. Кузьмин и др. // *Вестник ОмГАУ*. 2018. №3 (31). С. 26–35.
22. Correlation, path analysis and stepwise regression in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under rainfed conditions / A. Hannachi, Z. E. A. Fellahi, H. Bouzerzour, et al. // *J. of Agriculture and Sustainability*. 2013. Vol. 3 (2). P. 122–131.
23. Николаева Л.С., Кардашина В.Е. Зерновая и кормовая продуктивность сортов овса универсального использования в зависимости от метеорологических факторов // *АПК России*. 2017. Т. 24. №3. С. 618–623.
24. Сорокина А. В., Комарова Г. Н. Влияние климатических факторов на развитие и формирование хозяйственно-ценных признаков овса // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2014. №6. С. 55–61.
25. Kim D.A., Seo S. Comparative study of introduced oats for forage production, growth characteristics and yield of spring oats // *Korean J. Anim. Sci.* 1988. № 30. P. 269–275.

Поступила в редакцию 08.02.2021

После доработки 15.03.2021

Принята к публикации 28.04.2021

НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЯЧМЕНЯ ПИВОВАРЕННОГО НАПРАВЛЕНИЯ

О.А. Юсова¹, П.Н. Николаев¹, кандидаты сельскохозяйственных наук,
М.А. Кузьмич², доктор сельскохозяйственных наук, Л.С. Кузьмич², кандидат биологических наук

¹Омский аграрный научный центр,
644012, Омск, просп. Королева, 26,
E-mail: ksanajusva@rambler.ru

²Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,
143026, Московская обл., Одинцовский район, р.п., Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6
E-mail: m-kuzmich@yandex.ru

Представлены результаты изучения сортов и линий ячменя пивоваренного направления селекции Омского АНЦ с 2017 по 2020 гг., в том числе, внесенных в Госреестр РФ, сортов Омский 90, Омский 100, переданного на ГСИ – Омский 102 и широко возделываемого – Беатрис. Биохимическую оценку качества зерна проводили совместно с Федеральным исследовательским центром «Немчиновка» по следующим показателям: массовая доля в зерне белка и крахмала, экстрактивность, масса 1000 зерен, пленчатость. Для интерпретации результатов многомерных наблюдений использовали кластерный анализ. Пивоваренные сорта омской селекции по результатам исследований отнесены к разным кластерам. Выделены перспективные генотипы, которые входят в одни кластеры с пивоваренными сортами Омский 100 и Омский 102, соответствуют требованиям ГОСТ и превышают по урожайности стандарт двурядной пленчатой группы Омский 95. Это линии Медикум 4910, Нутанс 4883 и Медикум 4897, массовая доля белка в зерне которых составила соответственно 12,2; 12,8 и 12,4 %, крахмала – 58,0; 56,0; 57,0 %, пленчатость – 7,6; 8,2; 8,7 %, экстрактивность – 79,9; 80,5; 80,4 %, масса 1000 зерен – 47,6; 59,3; 52,6 г, урожайность – 5,7; 6,3; 5,7 т/га.

NEW PROMISING SOURCES OF BARLEY BREWING DIRECTION

Yusova O.A.¹, Nikolaev P.N.¹, Kuzmich M.A.², Kuzmich L.S.²

¹Omsk Agrarian Scientific Center,
644012, Omsk, prosp. Koroleva, 26
E-mail: ksanajusva@rambler.ru

²Federal Research Center «Nemchinovka»,
143026, Moskovskaya obl., Odintsovskii raion, r.p., Novoivanovskoe, ul. Agrokhimikov, 6
E-mail: m-kuzmich@yandex.ru

The results of studies of varieties and lines of barley brewing direction of selection Omsk of the Federal state scientific institution «Omsk Agrarian Scientific Center» are presented 2017 to 2020, including varieties Omskiy 90, Omskiy 100 (included in the State Register of the Russian Federation), Omskiy 102 (transferred to the GSE) and the widely cultivated variety Beatrice. Biochemical assessment of grain quality was carried out jointly with FSBSI Federal Research Center «Nemchinovka» according to the following indicators: mass fraction of protein, starch, extractivity; mass of 1000 grains; film content. Cluster analysis is used to interpret the obtained multivariate observations. Highlighted promising genotypes, which are included in the same clusters with the brewing varieties Omskiy 100 and Omskiy 102, meet the requirements of GOST and exceed the yield standard of the double-row film group Omsk 95. These are the lines Medicum 4910, Nutans 4883 and Medicum 4897: the mass fraction of protein was 12.2; 12.8 and 12.4 %, respectively, starch – 58.0; 56.0; 57.0 %, grain film content 7.6; 8.2; 8.7 %, extractivity 79.9; 80.5; 80.4 %, weight of 1000 grains 47.6; 59.3; 52.6 g, yield 5.7; 6.3; 5.7 t/ha.

Ключевые слова: пивоваренный ячмень, массовая доля белка и крахмала, экстрактивность, урожайность, кластер

Key words: malting barley, mass fraction of protein, starch, extractivity, yield, cluster

Ячмень рода *Hordeum* вида *Vulgare* L. – старейший культурный злак, важнейшая фуражная и продовольственная культура, используемая для производства пивоваренного солода [1]. Как правило, пивоваренным называют двухрядный ячмень.

В связи с модернизацией пивоваренной промышленности в России в последние годы резко повысился спрос на зерно ячменя для пивоварения. Потребность в таком сырье составляет около 2 млн т, но удовлетворяется она в основном зерном зарубежных сортов и импортом солода [2]. В связи с этим остро стоит задача обеспечения пивоваренной промышленности России солодом, отвечающим современным требованиям [3]. На сегодняшний день в России производство пивоваренного ячменя в основном сконцентрировано в Центрально-Черноземном районе и на юге Сибири. В последние годы отмечено продвижение его посевов на

север – в Ленинградскую и Ярославскую области [4].

Производство пивоваренного ячменя в значительной степени зависит от погодных условий. Результаты мониторинга климата на территории Российской Федерации указывают на наличие тренда на потепление. Важнейшая негативная особенность такого изменения – повсеместное увеличение засушливости, а также связанных с этим процессом резких перепадов температур, аномального количества выпадающих осадков [2, 5, 6,] и размножения вредителей.

Одно из основных ограничений для пивоваренного ячменя в соответствии с требованиями ГОСТ – массовая доля белка в зерне, которая должна составлять от 9 до 12 %. Белковость ниже указанного диапазона отрицательно влияет на качество пива [7], выше – создает трудности при солодоращении, что приводит к снижению выхода экстракта [2].

Основная масса углеводов зерна ячменя представлена крахмалом, который превращается в сбраживаемый экстракт (декстрин) [8]. Повышенное содержание крахмала увеличивает пивоваренную ценность ячменя, поскольку экстрактивные вещества солода состоят на две трети из сахаров, образовавшихся из крахмала под действием амилолитических ферментов, и только на одну треть – из других сахаров. По сведениям из литературных источников оптимальное содержание крахмала в зерне пивоваренного ячменя варьирует от 60...70 % [7] до 73...82 % [2].

Важное значение также имеют сорт, качество семян и применение соответствующих технологий. В России на сегодняшний день высевают более 100 сортов ячменя, но качественного сырья для пивоварения не достаточно [7]. Ученые ФГБНУ «Омский АНЦ» проводят многолетние исследования по селекции пивоваренного ячменя, итогом которых стал ряд сортов, внесенных в Госреестр РФ (Омский 90 и Омский 100), а также переданный на ГСИ новый перспективный сорт Омский 102.

Выращивание ячменя при воздействии в определенные сроки его развития лимитирующих факторах приводит к недобору урожая, формированию жесткой стекловидной структуры эндосперма и повышенному содержанию белка. Такое зерно плохо разрыхляется при солодоращении и имеет низкую экстрактивность, обусловленную, в основном, недоступностью его компонентов для действия ферментов. При неблагоприятной для пивоваренного ячменя погоде, в первую очередь, при дефиците осадков в период формирования и налива зерна, возрастает риск производства продукции с высоким содержанием белка (более 12 %) [4]. Согласно литературным данным, продвижение посевов культуры на север сопровождается снижением содержания белка и повышением количества крахмала в зерне, что соответствует требованиям пивоваренного производства. Например, в Республике Башкортостан благоприятные условия для формирования высококачественного зерна пивоваренного ячменя складываются в районах северной, северо-восточной и южной лесостепных зон, где предпосылками для этого служат умеренно тёплый и достаточно влажный климат в сочетании с малогумусными почвами [1].

Перечисленные закономерности подтверждают результаты исследований Омского АНЦ. В Омской области лучшие гидротермические условия для производства зерна необходимого качества складываются в зоне подтайги и тайги. Вероятность производства ячменя с низким содержанием белка на этой территории составляет 80 %. В северной лесостепи она снижается до 60...70 %, в южной лесостепи – до 50...60 %, в степной зоне – до 30...50 %. Между среднесуточной температурой воздуха и содержанием белка в зерне ячменя установлена прямая корреляция средней силы ($r=0,670\pm0,192$) [8]. Для формирования зерна с содержанием белка не более 12 %, согласно уравнению регрессии ($y = 0,858x + 7,2$), среднесуточная температура воздуха в период колошение–восковая спелость не должна превышать 17,5 °С. Сопряженность между содержанием белка в зерне и количеством осадков сильная прямая ($0,772\pm0,165$). При умеренных температурах (14...16 °С) для накопления белка в зерне, соответствующего ГОСТу на пивоваренный ячмень, достаточно 26 мм осадков [9].

Климат южной части Западной Сибири типично континентальный. Его отличительная черта – доволь-

но продолжительный зимний период, краткий и жаркий – летний, а также возможные заморозки поздней весной и ранним летом. Безморозный период длится 115...125 суток. Значительное влияние на метеосостояние оказывают воздушные массы из других регионов (холодные арктические, сухие из Казахстана и Средней Азии). Ценность континентального сухого климата обусловлена формированием в таких условиях зерна повышенного качества, что связано с обилием света и тепла, а также с пониженной влажностью воздуха в период налива и созревания [10].

Цель исследований – выделить перспективные генотипы ячменя пивоваренного направления.

Методика. Работу проводили с 2017 по 2020 гг. на опытных полях Омского аграрного научного центра, расположенных в южной лесостепи Западной Сибири. Объект исследований – 27 сортов и линий ярового ячменя селекции ФГБНУ ОмАИЦ, в том числе стандарт Омский 95.

Почва опытного участка – лугово-черноземная среднеомощная среднегумусовая тяжелосуглинистая с содержанием гумуса 6,68...6,75 % [11], подвижного фосфора и калия [12] – 101...120 мг/кг и 250...320 мг/кг почвы соответственно, рНКCl почвенного раство-

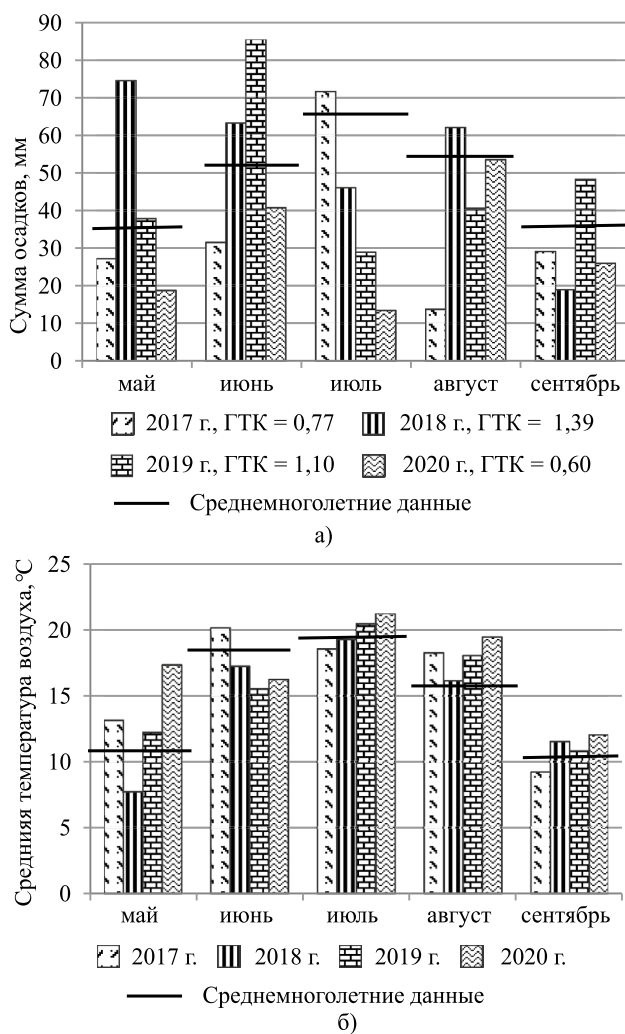


Рис. 1. Характеристика периодов вегетации 2017–2020 гг.: а) сумма осадков, мм; б) средняя температура воздуха, °С.

ра – 6,4...6,7 ед. Сумма поглощенных оснований составляла 32,10 мг-экв/100 г почвы, заметно уменьшаясь вниз по профилю. В составе катионов преобладал кальций (88,7 % от общей емкости поглощения) и магний (10,6 %), на долю натрия приходилось менее 1 %.

Площадь деланки 10 м², повторность в 4-кратная, норма высева – 4 млн всхожих зерен на 1 га. Все наблюдения, оценки и учеты в питомнике проводили согласно методике ВИР [13], математическую обработку данных осуществляли методом дисперсионного анализа [14].

В годы исследований наблюдали контрастные условия (рис. 1): 2017 и 2020 гг. были засушливыми (ГТК = 0,77 и 0,60), в 2018 и 2019 гг. отмечали близкую к оптимальной влагообеспеченность (ГТК = 1,39 и 1,10). Май и июнь в период исследований (2017–2020 гг.) характеризовались значительным переувлажнением (+3,8...+65,5 мм к среднемуголетним данным). Аналогичная картина наблюдалась и в последующие месяцы, за исключением июля 2020 г., когда выпало 13,5 мм осадков, что составило 64,5 % к норме, а также августа 2017 г. (14 мм; 87,5 % к норме). На этом фоне отмечен недостаток тепла в мае и августе в 2017–2019 гг. (-0,2...-5,8 °С к среднемуголетним), июне 2018–2020

гг. (-2,1...-3,8 °С к среднемуголетним), июле 2017 и 2019 гг. (-1,0...-6,9 °С к норме). Перечисленные климатические особенности оказали непосредственное влияние на формирование урожайности и качества зерна исследуемых генотипов ячменя.

Биохимическую оценку качества зерна выполняли совместно с учеными Федерального исследовательского центра «Немчиновка». Определяли следующие показатели: массовая доля белка (ГОСТ 10846-91) и крахмала (ГОСТ 10845-76) в зерне; экстрактивность (ГОСТ 12130-77); масса 1000 зерен (ГОСТ 10842-89); пленчатость (ГОСТ 10843-91).

Кластерный анализ осуществляли по методу Варда [15] с использованием пакета STATISTICA 6.

Результаты и обсуждение. Массовая доля белка в среднем по генотипам за период исследований составила 12,9 % (Lim. = 10,7...15,7 %), в зерне сорта-стандарта группы двурядных пленчатых сортов – 12,8 % (табл. 1). Содержание белка достоверно ниже стандарта отмечено у нового перспективного сорта Омский 102 (передан на Государственное сортоиспытание РФ в 2020 г.), линий Нутанс 4899 и Нутанс 4898 (от -0,7 до -0,6 %). На уровне стандарта величина этого показателя находилась у сорта Омский 100 (внесен в Госре-

Табл. 1. Характеристика сортообразцов ячменя пивоваренным качествам зерна (в среднем за 2017–2020 гг.)

Сорт, линия	Массовая доля белка, %		Массовая доля крахмала, %		Пленчатость зерна, %		Экстрактивность, %	
	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$
Омский 95, st.	11,9...13,3	12,8	54,0...60,0	57,0	6,7...9,3	7,8	77,8...82,0	79,7
Омский 90	12,6...14,4	13,4	54,0...62,0	58,0	8,1...9,0	8,5	78,1...81,7	79,7
Омский 100	10,7...13,4	12,3*	56,0...59,0	58,0	6,1...9,4	7,7	79,4...81,3	80,6*
Омский 102	11,1...13,1	12,1*	53,0...58,0	56,0	6,6...9,0	7,7	72,4...81,8	78,2
Медикум 4867	11,5...13,6	12,7	55,2...62,1	58,5	7,4...9,1	8,4	70,9...81,3	77,3
Медикум 4891	11,1...13,6	12,3*	56,0...63,0	59,0	7,4...9,3	8,3	79,2...81,1	80,1*
Медикум 4895	13,2...14,3	13,7	53,0...61,0	57,0	7,8...9,6	8,5	78,2...81,0	79,3
Медикум 4897	12,1...12,8	12,4*	55,0...59,0	57,0	7,8...9,7	8,7	79,6...81,7	80,4*
Нутанс 4871	12,5...15,3	13,8	60,0...61,0	60,7*	8,3...9,1	8,6	71,1...79,8	76,2
Нутанс 4873	12,2...13,7	12,9	59,0...63,0	61,0*	6,3...9,3	7,9	71,8...80,5	76,8
Медикум 4901	12,6...14,1	13,3	53,0...60,0	56,0	6,3...8,4	7,3**	70,9...80,1	76,6
Медикум 4907	12,3...14,3	13,2	54,0...58,0	56,0	6,6...8,4	7,5	78,5...80,3	79,6
Медикум 4908	11,6...14,1	12,6	54,0...62,0	57,0	7,6...9,2	8,3	80,0...81,1	80,5*
Медикум 4909	12,1...14,0	13,0	53,0...62,0	57,0	7,8...8,8	8,3	78,9...80,7	80,1*
Медикум 4910	11,9...12,5	12,2*	54,0...61,0	58,0	6,0...9,3	7,6	78,8...81,5	79,9
Медикум 4913	12,2...13,7	13,0	53,0...59,0	56,0	6,7...9,3	7,8	78,8...81,9	80,4*
Нутанс 4812	12,6...13,5	13,1	54,0...63,0	58,0	6,9...8,5	7,6	78,2...81,6	79,8
Нутанс 4883	11,9...13,8	12,8	53,0...58,0	56,0	7,4...8,8	8,2	78,8...82,3	80,5*
Нутанс 4887	13,3...13,6	13,4	58,0...63,0	60,0*	7,1...9,4	8,2	78,5...81,5	79,8
Нутанс 4898	11,8...12,5	12,2*	55,0...65,0	59,0	7,8...9,7	8,8	78,9...82,7	80,7*
Нутанс 4899	11,5...12,9	12,1*	56,0...61,0	58,0	8,3...9,3	8,9	78,6...82,8	80,1*
Нутанс 4902	11,5...12,8	12,3*	55,0...61,0	59,0	6,9...9,3	8,1	78,6...81,4	80,0*
Нутанс 4906	12,3...15,7	13,6	56,0...60,0	58,0	6,3...8,4	7,5	78,6...80,6	79,5
Нутанс 4911	12,5...14,3	13,3	56,0...59,0	57,0	6,1...8,4	7,3**	78,6...81,7	80,1*
Нутанс 4912	13,0...14,9	14,0	56,0...58,0	57,0	6,6...9,2	7,6	79,3...80,0	79,7
Нутанс 4923	12,7...14,6	13,6	53,0...56,0	55,0	6,9...8,8	7,8	78,6...80,5	79,6
Нутанс 4919	12,9...13,4	13,2	55,0...58,0	57,0	7,9...9,3	8,6	78,3...80,1	79,2
Беатрис	10,8...14,5	12,7	57,0...66,0	61,0*	5,7...7,7	6,7**	81,0...91,7	85,3*
По питомнику	10,7...15,7	12,9	53,0...66,0	57,8	5,7...9,7	8,0	70,9...91,7	79,6
НСР ₀₅		0,5		3,0		0,4		0,71

*достоверно выше стандарта, **достоверно ниже стандарта.

естр РФ), линий Медикум 4891, Медикум 4897, Нутанс 4902 (от 12,3 до 12,4 %), при этом она была незначительно выше требований ГОСТ 10846-91 для зерна пивоваренного ячменя (не более 12 %). Средняя массовая доля белка у широко возделываемого пивоваренного сорта Беатрис в условиях Западной Сибири составляла 12,7 % (Lim. = 10,8...14,5 %).

В среднем за период исследований массовая доля крахмала в зерне исследуемых генотипов составила 57,8 %. У пивоваренных сортов Омский 90 (внесен в Госреестр РФ), Омский 100 и Омский 102 она изменялась от 56,0 до 58,0 %, что находится на уровне стандарта группы Омский 95 (57,0 %). У линий Нутанс 4871, Нутанс 4873, Нутанс 4887 и сорта Беатрис величина этого показателя достигала 60,0...61,0 %, что позволяет отнести их к категории пивоваренных.

Пленчатость – пивоваренных сортов ячменя должна составлять около 9 % с вариацией в зависимости от года от 8 до 10 % [16]. Тонкопленчатым считается ячмень с содержанием пленок 6...7 %, толсто- и грубопленчатым – 10 % (ГОСТ 5060-49). Избыточная пленчатость увеличивает горечь пива из-за большого количества дубильных веществ в оболочке, чрезмерно низкая пленчатость также отрицательно сказывается на технологическом процессе (размолотые пленки создают необходимый естественный фильтр), вкусе, цвете и букете пива [17]. Для производства светлых сортов пива предпочтительно зерно с тонкой оболочкой, для темных сортов желательна толстая цветковая оболочка, так как она усиливает полноту вкуса и интенсивность окраски [17].

Пленчатость – сортовой признак, но она также изменяется в зависимости от почвенно-климатических и агротехнических условий выращивания [16]. Средняя пленчатость зерна ячменя в нашем опыте составила 8 %. Минимальную величину этого показателя отмечали у сорта Беатрис (6,7 %), линий Медикум 4901 и Нутанс 4911 (7,3 %). На уровне стандарта пленчатость зерна наблюдали у линий Нутанс 4873, Медикум 4910, Медикум 4913, Нутанс 4812, Нутанс 4906, Нутанс 4912, Нутанс 4923 (7,5...7,9 %), что нежелательно для пивоваренного сырья. Остальные исследованные линии характеризовались оптимальной пленчатостью на уровне 8,1...8,9 %.

Основной критерий высоких пивоваренных качеств ячменя – экстрактивность, которая определяется как количество сухих веществ, способных перейти из размолотого зерна в водный раствор под действием ферментов солода при определенном гидротермическом режиме. Чем больше в зерне ячменя экстрактивных веществ, тем выше его пивоваренные качества. Этот признак зависит главным образом от количества крахмала – чем его больше, тем выше экстрактивность [17]. Согласно ГОСТ-5060-86, величина этого показателя должна составлять не менее 75...78 %. В наших исследованиях в среднем она была равна 79,6 % (Lim. = 70,9...82,8 %). Все изученные линии соответствовали требованиям ГОСТ – в среднем экстрактивность изменялась от 76,2 до 85,3 %. Повышенная экстрактивность отмечена у сорта Омский 100 и линий Медикум 4891, Медикум 4897, Медикум 4908, Медикум 4909, Медикум 4913, Нутанс 4883, Нутанс 4898, Нутанс 4899, Нутанс 4902, Нутанс 4911 (80,0...80,7 %). Пивоваренный сорт Беатрис характеризовался максимальной по опыту величиной этого показателя (85,3 %).

Согласно ГОСТ-5060-86 масса 1000 зерен пивоваренного ячменя должна быть не менее 40 г. Этому требованию соответствовали все исследуемые сорта,

с варьированием признака в зависимости от условий года в интервале от 40,7 до 58,0 г (табл. 2). Наиболее крупным было зерно нового перспективного сорта Омский 102 (масса 1000 зерен – 54,2 г) и линии Нутанс 4883 (59,3 г).

Урожайность – интегральный признак, который определяет эффективность использования того или иного сорта в производстве [18, 19]. Средняя по опыту величина этого показателя составила 5,8 т/га (Lim. = 3,2...7,4 т/га). У стандартного сорта Омский 95 она находилась на уровне 5,2 т/га. Достоверная прибавка к стандарту отмечена у линий Медикум 4901, Медикум 4907, Медикум 4908, Медикум 4909, Медикум 4913, Нутанс 4883, Нутанс 4911, Нутанс 4912, Нутанс 4919 (+0,7...+1,2 т/га), а максимальной в опыте она была у линии Нутанс 4923 (+1,8 т/га). У пивоваренных сортов Омский 100, Омский 102 и Беатрис урожайность находилась на уровне стандарта (5,3...5,9 т/га).

По результатам кластерного анализа [15] пивоваренные сорта омской селекции сгруппированы в несколько кластеров (рис. 2). В один кластер со стандартом вошли линии Нутанс 4902, Медикум 4891, Нутанс 4898 и Нутанс 4899 со средней массовой долей белка в зерне 12,5 %, крахмала – 58,0 %, пленчатостью зер-

Табл. 2. Характеристика сортообразцов ячменя по продуктивности (в среднем за 2017–2020 гг.)

Сорт, линия	Масса 10000 зерен, г		Урожайность, т/га	
	Lim.	$\bar{x}$	Lim.	$\bar{x}$
Омский 95, st.	40,7...45,1	42,9	5,1...5,4	5,2
Омский 90	46,7...52,4	49,5	4,2...5,1	4,7
Омский 100	50,0...53,6	51,8	5,0...6,5	5,8
Омский 102	51,7...57,2	54,2*	3,2...6,7	5,3
Медикум 4867	45,2...53,8	49,5	4,4...6,4	5,4
Медикум 4891	47,2...52,1	49,6	4,8...6,5	5,9
Медикум 4895	45,7...53,2	49,9	3,7...6,6	5,6
Медикум 4897	48,6...58,0	52,6	5,0...6,1	5,7
Нутанс 4871	48,7...50,2	49,5	5,0...5,7	5,3
Нутанс 4873	47,5...52,1	49,8	5,6...5,9	5,7
Медикум 4901	47,4...56,0	52,3	4,7...7,1	6,0*
Медикум 4907	44,4...51,3	48,0	5,7...6,9	6,3*
Медикум 4908	48,4...56,2	51,9	5,8...6,2	6,0*
Медикум 4909	48,4...54,7	50,9	5,9...6,4	6,2*
Медикум 4910	42,0...52,6	47,6	5,3...6,0	5,7
Медикум 4913	44,1...53,1	48,8	5,8...6,4	6,2*
Нутанс 4812	49,6...53,6	51,5	4,5...6,7	5,7
Нутанс 4883	55,9...62,5	59,3*	5,3...7,1	6,3*
Нутанс 4887	50,2...54,7	52,4	5,7...5,8	5,7
Нутанс 4898	42,3...53,8	49,1	5,5...6,3	5,8
Нутанс 4899	41,9...50,5	46,5	4,8...6,6	5,8
Нутанс 4902	45,9...46,5	46,2	4,2...5,8	5,1
Нутанс 4906	42,7...53,6	48,9	4,2...6,5	5,6
Нутанс 4911	45,5...49,7	47,6	6,3...6,6	6,4*
Нутанс 4912	49,4...52,1	50,8	6,1...6,2	6,1*
Нутанс 4923	45,5...47,6	46,5	6,6...7,4	7,0*
Нутанс 4919	44,7...52,5	48,6	6,0...6,4	6,2*
Беатрис	49,1...54,0	51,6*	4,8...7,0	5,9*
По питомнику	40,7...58,0	49,9	3,2...7,4	5,8
НСР ₀₅		9,4		1,1

*достоверно выше стандарта

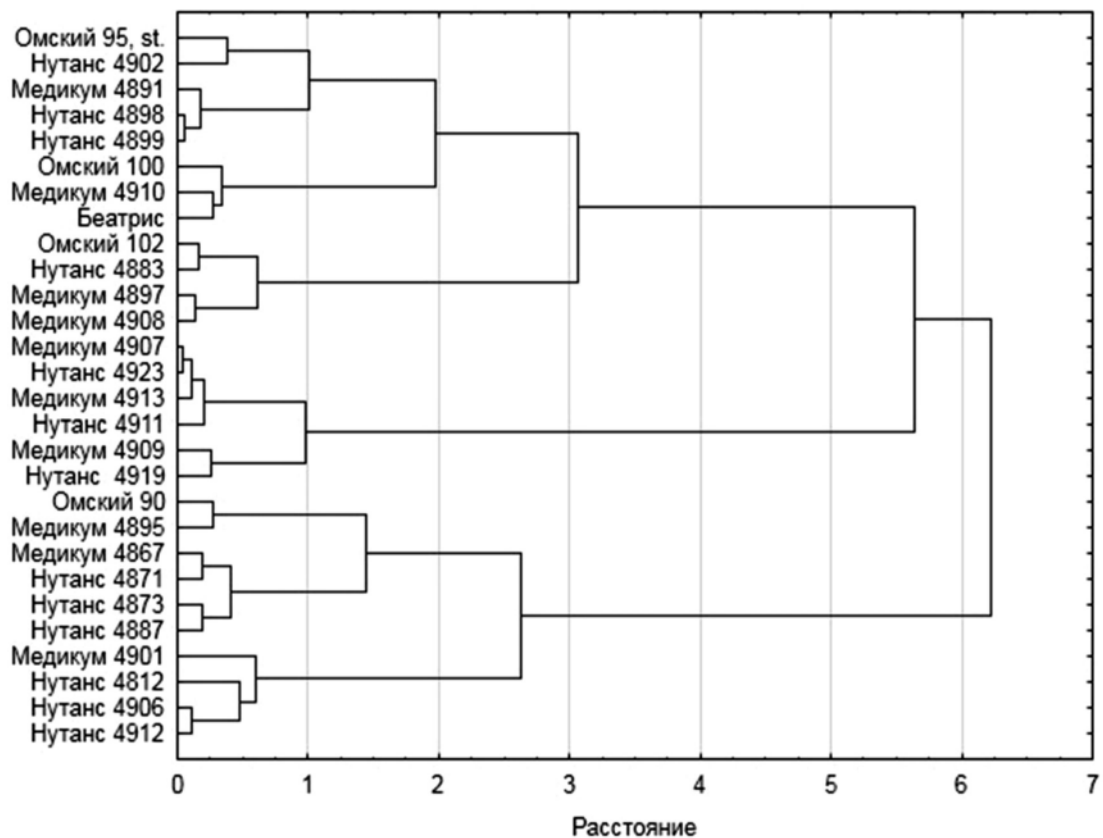


Рис. 2. Распределение сортов и линий ячменя по кластерам.

на – 8,3 %, экстрактивностью – 79,4 %, массой 1000 зерен – 48,5 г, урожайностью – на уровне 5,7 т/га.

Ко второму кластеру отнесены сорта – Омский 100 и Беатрис, линия Медикум 4910 со средней массовой долей белка в зерне на уровне первого кластера (12,4 %), повышенной крахмалистостью (59,0 %), экстрактивностью (81,9 %), массой 1000 зерен (50,3 г) и урожайностью (5,8 т/га) при пониженной пленчатости зерна (7,3 %).

В третий кластер вошли переданный на ГСИ пивоваренный сорт Омский 102, линии Нутанс 4883 и Медикум 4897 с массовой долей белка (в среднем 12,4 %) и урожайностью (5,8 т/га) на уровне первых двух кластеров, пониженной долей крахмала (56,3 %), экстрактивностью (79,7 %) при более высокой пленчатости зерна (8,2 %).

К четвертому кластеру отнесены стародавний пивоваренный сорт Омский 90, линии Медикум 4895, Медикум 4867, Нутанс 4871, Нутанс 4873 и Нутанс 4887. Эта группа характеризуется повышенным качеством зерна (массовая доля белка – 13,3 %, крахмала – 59,2 %), пленчатостью – 8,4 % и наименьшей, по сравнению с сортами 1...3 кластеров, урожайностью (5,4 т/га).

Таким образом, в результате исследований выделены перспективные линии ячменя пивоваренного направления, которые входят в одни кластеры с пивоваренными сортами Омский 100 и Омский 102 по качеству зерна – Медикум 4910, Нутанс 4883 и Медикум 4897 (массовая доля белка – соответственно 12,2; 12,8 и 12,4 %; крахмала – 58,0; 56,0; 57,0 %; пленчатость – 7,6; 8,2; 8,7 %; экстрактивность – 79,9; 80,5; 80,4 %; масса 1000 зерен – 47,6; 59,3; 52,6 г). По урожайности они превосходят стандарт – сорт Омский 95 на 0,5...1,1 т/га.

Литература.

1. Гусев А.Н., Кадиков Р.К. Соответствие качества зерна сортов ячменя требованиям пивоваренной индустрии Башкортостана // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (69). С. 43–45.
2. Продуктивность и качество пивоваренных сортов ярового ячменя в Центральном регионе РФ / Л.М. Ерошенко, А.Н. Ерошенко, М.М. Ромахин и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 2. С. 40–43.
3. Кротова Ю.И. Оптимизация условий получения солода из пивоваренных сортов ячменя с использованием инновационных технологий // Евразийский союз ученых. 2015. № 4-4 (13). С. 113–114.
4. Пономарёва Ю.Н., Захарова О.А. Действие минеральных удобрений и регулятора роста на урожайность и качество пивоваренного ячменя в условиях засухи // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2015. № 3 (27). С. 36–42.
5. Потапова Г.Н., Галимов К.А., Зобнина Н.Л. Влияние изменения климата осенью и зимой на возделывание озимой ржи // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 6. С. 18–21.
6. Contamination with Mycotoxins Produced by *FusariumGraminearum* and *Fusariumpoae* in Malting Barley in Argentina / M.S. Nogueira, M. Martinez, M.V. Moreno, et al. // Toxins. 2018. Vol. 10. No. 2. P. 78. doi: 10.3390/toxins10020078.
7. Система оценки пивоваренных свойств селекционного ячменя / К.В. Кобелев, А.В. Данилян, И.В. Селина и др. // Пиво и напитки. 2015. № 2. С. 40–41.

8. Хоконова М.Б. Влияние способа уборки ячменя на урожайность и пивоваренные качества зерна // *Инновационная наука*. 2015. № 8-2 (8). С. 86–89.
9. Хоконова М.Б. Совершенствование приемов возделывания ячменя для пивоваренного производства // *Инновационная наука*. 2016. № 8-3. С. 42–44.
10. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области / О.А. Юсова, П.Н. Николаев, Н.И. Аниськов и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 2. С. 24–28. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10205.
11. Евдокимов М.Г., Юсов В.С. Яровая твердая пшеница в Сибирском Прииртышье. Омск: ООО «Издательско-полиграфический центр "Сфера"». 2006. 220 с.
12. Тюрин, И.В. Курс почвоведения для лесных ВТУЗов. М., Л.: Гос. изд-во колх. и совх. лит., 1933. 311 с.
13. Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб.: ВИР, 2012. 63 с.
14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.
15. Holland J. B., Bjornstad A., Frey K. J. Recurrent selection for broad Adaptation Affects Stability of Oat // *Euphytica*. 2002. Vol. 126. No. (2). P. 265–274.
16. Dextrin as the Main Turbidity Components in wort Produced from Major Malting Barley cultivars of Jiangsu province in China / G. Cai, X. Li, C. Zhang, et al. // *Journal of the Institute of Brewing*. 2016. Vol. 122. No. 3. P. 543–546.
17. Хоконова М.Б. Влияние способа уборки ячменя на урожайность и пивоваренные качества зерна // *Инновационная наука*. 2015. № 8-2 (8). С. 86–89.
18. Изменение урожайности и качества зерна овса с повышением адаптивности сортов / О.А. Юсова, П.Н. Николаев, И.В. Сафонова и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020. № 181(2). С. 42–49. doi: 10.30901/2227-8834-2020-2-42-49.
19. Агробиологическая характеристика многолетних голозерных сортов ячменя селекции Омского АНЦ / Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И. и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019. № 180 (1). С. 37–43. doi: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43.

Поступила в редакцию 01.03.2021

После доработки 09.04.2021

Принята к публикации 11.05.2021

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА СОДЕРЖАНИЯ БЕЛКА В ЗЕРНЕ ПШЕНИЦЫ

А.В. Пасынков¹, доктор биологических наук, **А.А. Завалин²**, академик РАН,
Е.Н. Пасынкова¹, доктор биологических наук,
В.Л. Андреев³, доктор технических наук

¹Ленинградский НИИСХ «Белогорка» – филиал ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха,
188338, Ленинградская обл., Гатчинский район, д. Белогорка

²ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова,
127434, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а

³Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,
603340, Нижегородская обл., Княгинино, ул. Октябрьская, 22
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

По результатам множественного регрессионного анализа получено уравнение второго порядка, отражающее зависимость содержания белка ($Y = N_{\text{total}} \times 5,7; \%$) в зерне пшеницы от содержания сырой клейковины ($X_1, \%$) и массы 1000 зерен ($X_2, \text{г}$): $Y = 16,0570 + 0,6768X_1 - 0,0032X_1^2 - 0,7891X_2 + 0,0083X_2^2$. В представленном уравнении содержание белка приведено в пересчете на абсолютно сухое вещество (а.с.в.), а содержание клейковины и масса 1000 зерен – на 12 %-ную влажность или на воздушно-сухое вещество (в.с.в.). В тех случаях, когда содержание белка определено без учета влажности зерна (в.с.в.), а масса 1000 зерен – на а.с.в., при использовании разработанного уравнения для прогноза содержания белка в зерне пшеницы проводится их перерасчет с применением коэффициента 1,136. Приведены данные по сравнительной оценке прогностических возможностей и точности прогноза уравнения, разработанного авторами и предложенного для казахстанской пшеницы: $Y = 5,3270 + 0,3159X_1$. Линейное уравнение, разработанное для казахстанской пшеницы, отражает зависимость содержания белка от содержания сырой клейковины у различных сортов только в сравнительно узком интервале варьирования белковости зерна 12,0...17,0 %, а разработанное авторами статьи – практически во всем его биологическом интервале – 7,9...21,1 % а.с.в.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF VARIOUS METHODS OF PROTEIN CONTENT PREDICTION IN WHEAT KERNELS

Pasynkov A.V.¹, Zavalin A.A.², Pasynkova E.N.¹, Andreev V.L.³

¹Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre,
188338, Leningradskaya obl., Gatchinskii raion, p. Belogorka

²All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov,
127434 Moskva, ul. D.N. Pryanishnikova, 31a

³Nizhny Novgorod Engineering and Economics University,
603340, Nizhegorodskaya obl., Knyaginino, ul. Oktyabr'skaya, 22
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

Multiple regression analysis made it possible to obtain a second-order equation reflecting the dependence of the protein content ($Y = N_{\text{total}} \times 5,7; \%$) in the wheat grain on the content of raw gluten ($X_1, \%$) and the 1000-kernels weight (X_2, g): $Y = 16,0570 + 0,6768X_1 - 0,0032X_1^2 - 0,7891X_2 + 0,0083X_2^2$. In the presented equation, the protein content is reduced to absolutely dry matter (d. m.), and the gluten content and the 1000-kernels weight - to 12% moisture or air-dry matter (a.d.m.). In cases where the protein content is determined without taking into account the moisture of the kernel (a.d.m.), and the 1000-kernels weight - on d.m., when using the developed equation to predict the protein content in kernel of wheat, they are recalculated using coefficient 1,136. The data on the comparative assessment of the predictive capabilities and predict accuracy of the equation developed by the authors of the article and proposed for Kazakhstan wheat are presented: $Y = 5,3270 + 0,3159X_1$. Checking the accuracy of the predict of the protein content in grain showed that the most accurate linear equation developed for Kazakhstan wheat reflects the dependence of the protein content on the content of raw gluten in different varieties only in a relatively narrow range of variation in the protein content of kernel: 12,0 ... 17,0, and the developed by the authors of the article - practically in its entire biological interval: 7,9 ... 21,1%.

Ключевые слова: пшеница, белок, сырая клейковина, масса 1000 зерен, множественный регрессионный анализ, прогноз содержания белка

Key words: wheat, protein, raw gluten, 1000-kernels weight, multiple regression analysis, protein content prediction

Содержание белка в зерне пшеницы – изменчивый признак, величина которого в зависимости от условий возделывания может варьировать в очень широких пределах: от 6 до 25 % у отечественных и от 8 до 20 % у западноевропейских сортов. Примерно в таких же пределах содержание белка может изменяться в зависимости от генотипа [1]. Считается, что определение содержания белка в зерне пшеницы – сравнительно трудоемкий и длительный химический анализ, который возможен только в хорошо оснащенных лабораториях, имеющих подготовленный и квалифицированный персонал. Содержание

белка (Y) в зерне пшеницы находится в определенной взаимосвязи с количеством сырой клейковины (X). Статистическая зависимость между величинами этих показателей для зерна казахстанской пшеницы можно выразить формулой, предложенной АО «КазАгроИнновация» и «Алматинским технологическим университетом» (рис. 1) [2]. Она представляет собой уравнение парной линейной регрессии и может использоваться не только для косвенного определения белковости зерна яровой пшеницы в условиях Республики Казахстан, но и для тех же целей в условиях западной Сибири РФ [3]:

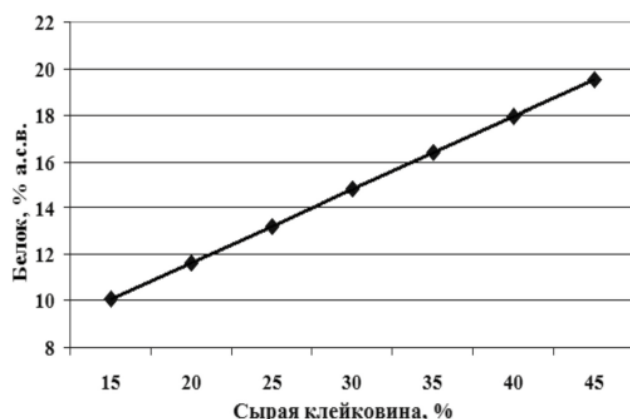


Рис. 1. Зависимость содержания белка (Y, % а.с.в. – % на абсолютно сухое вещество) в зерне пшеницы от содержания сырой клейковины (X_p , %).

$$Y = 5,3270 + 0,3159X_1 \quad (1) \text{ (рис. 1)}$$

Известно, что наиболее точно линейные уравнения отражают связи между зависимой (Y) и независимой (X) переменной только в узком их (переменных) интервале варьирования. Признано, что в подавляющем большинстве случаев зависимости между различными показателями в биологических системах наиболее точно отражают нелинейные уравнения (логарифмические, половинной степени, второго, третьего порядка и др.). При этом максимальная точность (по величине коэффициента детерминации – R^2) отмечена у уравнений множественной нелинейной регрессии [4].

Ранее была показана возможность сравнительно точного прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы после определения содержания белка и массы 1000 зерен [5, 6]. Для этих целей разработаны и используются уравнения второго порядка. Поэтому было сделано предположение, что и зависимость содержания белка наиболее точно будет отражать уравнение второго порядка с двумя независимыми переменными: X_1 – содержание сырой клейковины и X_2 – масса 1000 зерен.

Цель исследования – разработать уравнение множественной нелинейной регрессии, адекватно отражающее зависимость содержания белка в зерне пшеницы от содержания сырой клейковины и массы 1000 зерен и провести сравнительную оценку прогностических возможностей и точности прогноза разработанного уравнения и предложенного для казахстанской пшеницы.

Методика. Для разработки уравнения множественной нелинейной регрессии использовали экспериментальные данные по содержанию белка, сырой клейковины и массе 1000 зерен, полученные при проведении исследований с яровой пшеницей и опубликованные ранее [7, 8]. Для расчета уравнения, отражающего зависимость содержания белка в зерне пшеницы (Y) от содержания сырой клейковины (X_1) и массы 1000 зерен (X_2) использовали метод множественного регрессионного анализа, алгоритм которого реализован в пакете статистических программ «Statistica 6» (Stat-Soft Inc., США).

Следующим этапом исследований стала проверка эффективности ориентировочного определения (прогноза) белковости зерна пшеницы. При сравнительной оценке эффективности прогноза содержания белка ($Y = N_{\text{общ}} \times 5,7$, % а.с.в.) в зерне пшеницы по

содержанию сырой клейковины (X_1) уравнения (1) и по содержанию сырой клейковины (X_1) и массе 1000 зерен (X_2) уравнения (2) множественной нелинейной регрессии, разработанного авторами статьи, использовали независимые экспериментальные данные по величине технологических качеств зерна, полученные авторами из Белоруссии, Болгарии, Казахстана, Литвы, Польши и Украины при проведении полевых опытов с иными сортами пшеницы в различных почвенно-климатических условиях. Подставляя эти экспериментальные данные в соответствующие уравнения, рассчитывали теоретическое (Y_t) содержание белка в зерне пшеницы. Следующий шаг – сравнение рассчитанных по уравнениям (1) и (2) теоретических величин белковости зерна пшеницы с экспериментальными данными ($Y_{\text{э}}$) или ($Y_{\text{э}} - Y_t$). При оценке точности каждого из разработанных уравнений ориентировались на регламент ГОСТ 10846-91 «Метод определения белка», согласно которому допускаемые отклонения при контрольных определениях общего азота ($N_{\text{общ}}$) не должны превышать $0,045X + 0,04$, где X – среднее арифметическое первоначального (в нашем случае экспериментального или $N_{\text{э}}$) и контрольного определений (в нашем случае – N_t).

Первый критерий сравнительной оценки точности уравнений (1) и (2) между собой: сумма квадратов отклонений экспериментальных величин содержания общего азота ($N_{\text{э}}$) в зерне от теоретических (N_t рассчитанных по соответствующему уравнению) или $\sum (N_{\text{э}} - N_t)^2$.

Второй критерий – точность (оправдываемость) прогноза или отношение количества значений, когда отклонения экспериментальных величин содержания общего азота в зерне пшеницы от теоретических ($N_{\text{э}} - N_t$) не превышали допускаемых ГОСТ 10846-91 отклонений к общему числу наблюдений (n), выраженное в % [4, 6].

Результаты и обсуждение. Проведение статистической обработки экспериментальных данных, полученных при проведении исследований с яровой пшеницей и опубликованных ранее в работах [7, 8] методом множественного регрессионного анализа, позволило вывести уравнение второго порядка, отражающее зависимость содержания белка (Y, %) от содержания сырой клейковины и массы 1000 зерен (независимые переменные) – соответственно X_1 (%) и X_2 (г):

$$Y = 16,0570 + 0,6768X_1 - 0,0032X_1^2 - 0,7891X_2 + 0,0083X_2^2 \quad (2)$$

В представленном уравнении содержание белка приведено в пересчете на а.с.в., сырой клейковины и масса 1000 зерен – на 12 %-ную влажность или на воздушно-сухое вещество (в.с.в.). При использовании разработанного уравнения для прогноза в тех случаях, когда содержание белка определено без учета влажности зерна (в.с.в.), а масса 1000 зерен – в пересчете на а.с.в., предварительно проводили их перерасчет с применением коэффициента 1,136.

Анализ графического изображения разработанного уравнения (2) или поверхность отклика функции свидетельствует, что зависимость содержания белка в зерне пшеницы как от содержания сырой клейковины, так и от массы 1000 зерен носит нелинейный характер (рис. 2).

С увеличением содержания сырой клейковины содержание белка возрастает ($+X_1$), однако каждое последующее ее (сырой клейковины) повышение (на единицу) приводит к меньшему увеличению содержания

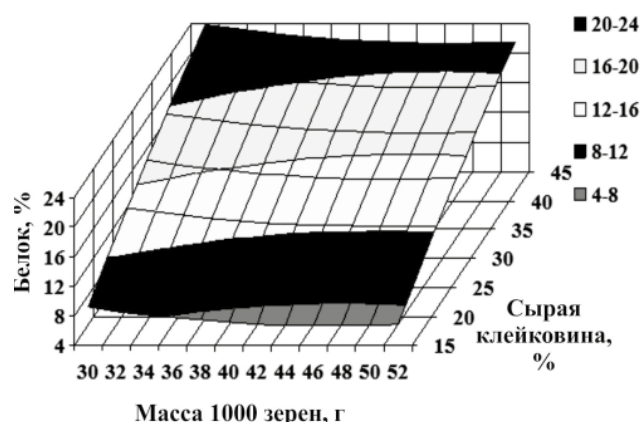


Рис. 2. Зависимость содержания белка (Y, % а.с.в.) в зерне пшеницы от содержания сырой клейковины (X_1 , %) и массы 1000 зерен (X_2 , г).

белка, по сравнению с предыдущим ($+X_1 - X_1^2$). Необходимо отметить, что точка экстремума по содержанию сырой клейковины находится вне пределов полученных экспериментальных данных. Независимо от содержания клейковины, с возрастанием массы 1000 зерен от ее минимальных величин содержание белка снижается ($-X_2$), при этом каждое последующее увеличение массы 1000 зерен (на единицу) замедляет темпы снижения содержания белка в зерне ($-X_2 + X_2^2$). После того, как масса 1000 зерен достигает точки экстремума (47,5 г), каждое последующее ее повышение приводит к большему увеличению содержания белка в зерне пшеницы по сравнению с предыдущим.

В табл. 1, 3 и 5 представлен алгоритм проверки прогностических возможностей уравнений (1) и (2), а в табл. 2, 4 и 6 – результаты точности прогноза содер-

жания белка в зерне пшеницы в зависимости от содержания клейковины и массы 1000 зерен в сравнительно широком биологическом интервале варьирования зависимой (Y) и независимых переменных (X_1 и X_2).

Ввиду того, что объем публикации ограничен и не позволяет привести все случаи отклонений, в табл. 1...6 приведены лишь некоторые типичные примеры, обнаруженные при проведении сравнительной оценки прогностических возможностей уравнений.

Проверка точности прогноза белковости зерна пшеницы показала, что уравнение (1) при содержании белка в зерне менее 12,0 % и сырой клейковины в интервале 16,2...25,4 % дает завышенные результаты (табл. 1, 2) по сравнению, как с экспериментальными данными, так и с уравнением (2). В рассматриваемом случае точность (оправдываемость) прогноза у уравнения (2) выше, чем у уравнения (1) в 3,4 (86,7% против 25,6%), а $\sum (Nэ - Nт)^2$ ниже в 8 раз (0,8266 и 6,6088 соответственно).

Проверка точности прогноза содержания белка в зерне при величине этого показателя в пределах 12,7...17,6 % и сырой клейковины в интервале 23,0...34,6 % показала (табл. 3 и 4), что уравнение (1) дает практически одинаковые результаты по сравнению, как с экспериментальными данными, так и с уравнением (2). Однако точность прогноза при использовании уравнения (1) в рассматриваемом диапазоне белковости зерна ниже, чем у уравнения (2), в 1,2 (79,1 % и 97,8 %), а $\sum (Nэ - Nт)^2$ выше в 2,1 раза (1,2418 и 0,5788 соответственно).

По результатам проверки точности прогноза белковости зерна при величине этого показателя в пределах 14,9...21,1 % и содержании сырой клейковины в интервале 25,7...42,6 % уравнение (1) дает заниженные результаты (табл. 5 и 6), по сравнению как с экспериментальными данными, так и с уравнением (2). При этом оправдываемость прогноза при использовании уравнения (1) в рассматриваемом диапазоне белковости зерна ниже, чем у уравнения (2), в 7,0 (12,6 % и 88,4 %), а

Табл. 1. Алгоритм сравнительной оценки точности прогноза уравнений

По уравнению (1)					По уравнению (2)			
данные по X_1 , X_2 и $Y_{э}$ из работы [9], $n^1 = 12$								
X_1	$Y_{э}$	Y_{T_1}	$(N_{э}-N_{T_1})$	ДО	X_2	Y_{T_2}	$(N_{э}-N_{T_2})$	ДО
22,8	11,2	12,53	- 0,233*	0,134	41,6	11,36	- 0,028	0,129
23,4	11,9	12,72	- 0,144*	0,137	38,0	12,14	- 0,042	0,135
24,7	13,3	13,13	0,030	0,144	36,5	13,08	0,039	0,144
21,5	10,2	12,12	- 0,337*	0,128	40,2	10,82	- 0,109	0,123
23,4	12,0	12,72	- 0,126	0,138	39,1	11,98	0,004	0,135
20,8	10,1	11,90	- 0,315*	0,127	40,0	10,47	- 0,064	0,121
23,6	11,6	12,78	- 0,207*	0,136	42,1	11,74	- 0,024	0,132
24,4	12,3	13,03	- 0,129	0,140	39,8	12,41	- 0,019	0,138
24,8	13,5	13,16	0,059	0,145	38,5	12,80	0,124	0,144
21,9	10,3	12,25	- 0,341*	0,129	40,1	11,05	- 0,121	0,124
23,7	12,3	12,81	- 0,090	0,139	41,5	11,85	0,080	0,135
21,7	10,2	12,18	- 0,348*	0,128	40,6	10,88	- 0,119	0,123
ЧЗ = 7	ОП = 41,7 %		Σ = 0,6133		ЧЗ = 0	ОП = 100 %	Σ = 0,0741	

(здесь и в остальных таблицах) n^1 – общее число наблюдений; X_1 – содержание сырой клейковины, %; $Yэ$ – экспериментальное содержание белка ($N_{э\text{фн}} \times 5,7$), % а.с.в.; $Yт$ – теоретическое содержание белка, % а.с.в. (расчет по уравнению 1 или 2); $(Nэ - Nт)$ – отклонения экспериментальных величин содержания общего азота от теоретических, % а.с.в.; ДО – допускаемые отклонения (ГОСТ 10846-91); X_2 – масса 1000 зерен, г; ЧЗ – число значений, выходящих за пределы ДО; ОП – оправдываемость (точность) прогноза, %; $\sum$ – сумма квадратов отклонений экспериментальных величин от теоретических; * – значения выходят за пределы допускаемых отклонений.

Табл. 2. Результаты проверки точности прогноза в интервале белковости зерна пшеницы 7,9...15,1 %

Источник	Уравнение	n	Интервал варьирования (min ... max)			ЧЗ	Σ	ОП, %
			X ₁	X ₂	Y			
[9]	(1)	12	20,8...24,8	36,5...42,1	10,1...13,5	7	0,6133	41,7
	(2)					0	0,0741	100,0
[10]	(1)	26	16,4...27,7	42,8...47,9	8,65...12,40	26	2,2369	0
	(2)					8	0,3441	69,2
[11]	(1)	20	16,2...25,6	36,9...48,7	7,89...12,1	20	2,8998	0
	(2)					2	0,1494	90,0
[12]	(1)	8	22,3...25,4	39,2...42,7	11,3...12,9	3	0,1362	62,5
	(2)					0	0,0370	100,0
[13]	(1)	18	23,5...31,7	39,2...48,8	11,2...15,1	7	0,5486	61,1
	(2)					1	0,1511	94,4
[14]	(1)	6	24,7...27,5	40,1...42,7	11,8...14,7	4	0,1740	33,3
	(2)					1	0,0709	83,3
Всего	(1)	90	16,2...31,7	36,5...48,8	7,89...15,1	67	6,6088	25,6
	(2)					12	0,8266	86,7

Табл. 3. Алгоритм сравнительной оценки точности прогноза уравнений

По уравнению (1)					По уравнению (2)			
данные по X ₁ , X ₂ и Yэ из работы [15], n = 12								
X ₁	Yэ	Y _{T1}	(Nэ-N _{T1})	ДО	X ₂	Y _{T2}	(Nэ-N _{T2})	ДО
29,2	15,0	14,55	0,079	0,157	41,5	14,64	0,063	0,157
28,3	14,5	14,27	0,041	0,154	40,2	14,34	0,028	0,154
27,5	14,1	14,01	0,015	0,151	38,1	14,23	- 0,023	0,152
26,3	13,8	13,64	0,029	0,148	37,5	13,72	0,013	0,149
29,7	15,2	14,71	0,086	0,158	43,3	14,73	0,083	0,158
28,6	14,8	14,36	0,077	0,155	40,8	14,42	0,067	0,155
27,7	14,5	14,08	0,074	0,153	39,4	14,14	0,063	0,153
26,8	14,0	13,79	0,036	0,150	38,7	13,79	0,037	0,150
30,0	15,1	14,80	0,052	0,158	42,4	14,94	0,027	0,159
28,6	14,7	14,36	0,059	0,155	41,5	14,34	0,063	0,155
27,8	14,5	14,11	0,069	0,153	40,0	14,11	0,068	0,153
27,0	14,2	13,86	0,060	0,151	39,0	13,85	0,062	0,151
ЧЗ = 0	ОП = 100%		Σ = 0,0436		ЧЗ = 0	ОП = 100%	Σ = 0,0353	

Табл. 4. Результаты проверки точности прогноза в интервале белковости зерна пшеницы 12,7...17,6 %

Источник	Уравнение	n	Интервал варьирования (min ... max)			ЧЗ	Σ	ОП, %
			X ₁	X ₂	Y			
[15]	(1)	12	26,3...30,0	37,5...43,3	13,8...15,2	-	0,0436	100
	(2)					-	0,0353	100
[16]	(1)	5	25,5...29,8	40,1...46,3	12,7...14,2	-	0,0443	100
	(2)					-	0,0107	100
[17]	(1)	16	27,4...30,9	39,9...45,1	13,3...15,5	1	0,1085	93,8
	(2)					1	0,1049	93,8
[18]	(1)	15	23,8...30,6	49,2...51,6	12,8...14,4	-	0,1635	100
	(2)					-	0,1429	100
[19]	(1)	11	28,8...34,6	35,1...43,2	14,5...17,6	2	0,1298	81,8
	(2)					-	0,0889	100
[20]	(1)	32	23,0...32,4	30,3...34,9	12,9...15,9	16	0,7521	50,0
	(2)					1	0,1961	96,9
Всего	(1)	91	23,0...34,6	30,3...51,6	12,7...17,6	19	1,2418	79,1
	(2)					2	0,5788	97,8

Табл. 5. Алгоритм сравнительной оценки точности прогноза уравнений

По уравнению (1)					По уравнению (2)			
данные по X_1 , X_2 и Y_{Σ} из работы [21], $n = 12$								
X_1	Y_{Σ}	Y_{T1}	$(N_{\Sigma}-N_{T1})$	ДО	X_2	Y_{T2}	$(N_{\Sigma}-N_{T2})$	ДО
29,0	17,6	14,49	0,546*	0,167	29,9	16,82	0,137	0,176
32,0	19,2	15,44	0,660*	0,177	29,2	18,47	0,128	0,189
31,0	18,5	15,12	0,593*	0,173	29,8	17,82	0,120	0,183
35,0	20,2	16,38	0,670*	0,184	29,5	19,77	0,076	0,198
31,0	18,1	15,12	0,523*	0,171	29,5	17,91	0,034	0,182
34,0	19,5	16,07	0,602*	0,180	29,8	19,22	0,048	0,193
31,0	18,5	15,12	0,593*	0,173	29,2	18,00	0,088	0,184
34,0	19,6	16,07	0,620*	0,181	29,7	19,25	0,061	0,193
28,0	16,9	14,17	0,479*	0,163	29,3	16,50	0,070	0,172
31,0	18,3	15,12	0,558*	0,172	29,2	18,00	0,053	0,183
28,0	17,4	14,17	0,566*	0,165	28,4	16,78	0,108	0,175
33,0	18,5	15,75	0,482*	0,175	29,7	18,79	- 0,051	0,187
27,0	15,0	13,86	0,201*	0,154	29,4	15,97	- 0,171*	0,162
31,0	16,5	15,12	0,242*	0,165	28,8	18,12	- 0,284*	0,177
29,0	16,2	14,49	0,300*	0,161	28,8	17,15	- 0,167	0,172
31,0	17,4	15,12	0,400*	0,168	29,2	18,00	- 0,105	0,180
ЧЗ = 16	ОП = 0%	$\Sigma = 4,3483$			ЧЗ = 2	ОП = 87,5%	$\Sigma = 0,2408$	

Табл. 6. Результаты проверки точности прогноза в интервале белковости зерна пшеницы 14,9...21,1 %

Источник	Уравнение	n	Интервал варьирования (min ... max)			ЧЗ	Σ	ОП, %
			X_1	X_2	Y			
[21]	(1)	16	27,0...35,0	28,4 -29,9	16,2...20,2	16	4,3483	0
	(2)					2	0,2408	87,5
[22]	(1)	11	31,7...38,6	31,6...37,2	16,5...19,4	7	0,4689	36,4
	(2)					1	0,0882	90,9
[23]	(1)	23	30,2...35,7	32,2...38,8	16,3...18,5	17	1,1369	26,1
	(2)					3	0,4254	87,0
[24]	(1)	16	25,7...31,2	29,1...31,2	14,9...18,9	16	3,9465	0
	(2)					4	0,3129	75,0
[25]	(1)	21	28,4...42,6	39,7...52,5	14,9...21,1	19	1,9628	9,5
	(2)					2	0,3394	90,5
[26]	(1)	8	30,2...33,5	29,1...33,6	17,1...18,3	8	1,1419	0
	(2)					0	0,0549	100
Всего	(1)	95	25,7...42,6	28,4...52,5	14,9...21,1	83	13,005	12,6
	(2)					12	1,4616	87,4
Итого (табл. 2, 4, 6)	(1)	276	16,2...42,6	28,4...52,5	7,89...21,1	169	20,856	38,8
	(2)					26	2,8669	90,6

Σ (Nэ-Nт)² выше в 8,9 раза (13,0050 и 1,4616 соответственно).

Таким образом, для более точного и корректного изучения взаимосвязей содержания белка с содержанием сырой клейковины в зерне пшеницы необходимо учитывать величину массы 1000 зерен. Линейное уравнение, разработанное для казахстанской пшеницы, отражает зависимость содержания белка от содержания сырой клейковины в зерне только в сравнительно узком интервале варьирования белковости зерна 12,0 ... 17,0 %, а предложенное авторами статьи уравнение множественной нелинейной регрессии – практически во всем его биологическом интервале – 7,89 ... 21,1% а.с.в. и при более высокой точности прогноза.

Литература

1. Павлов А.Н. Повышение содержания белка в зерне. М.: Наука. 1984. 119с.
2. Шаймерденова Д., Тастанбеков С. Метрологическое обеспечение качества зерна в Казахстане // Хлебопродукты. 2009. № 4. С. 49–51.
3. Скрыбин В.А., Сухарева В.П. Об оценке качества зерна яровой пшеницы Западной Сибири // Современные методы, средства и нормативы в области оценки качества зерна и зернопродуктов: сборник материалов 16-й Всеросс. научно-практич. конф. (3–7 июня 2019 г., Анапа). Краснодар: Кубанский филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН», 2019. С. 63–67.

4. Иванова Т.И. Прогнозирование эффективности удобрений с использованием математических моделей. М.: Агропромиздат, 1989. С. 32–42.
5. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Эффективность прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 4 (64). С. 19–26. doi: 10.31367/2079-8725-2019-64-4-19-26.
6. Пасынков А.В., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н. Совершенствование способа прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 2. С. 7–12. doi: 10.31857/S2500-2627-2020-2-7-12.
7. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Статистические зависимости основных показателей качества зерновых культур // *Агрохимия*. 2011. № 2. С. 24–40.
8. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистого почвы, продуктивность севооборота и качество зерна / А.В. Пасынков, Е.В. Светлакова, Н.В. Котельникова и др. // *Агрохимия*. 2016. № 10. С. 38–47.
9. Вплив елементів технологій вирощування на врожайність та якість зерна пшениці озимої / К.М. Оліник, Г.В. Давидюк, Л.Ю. Блажевич и др. // *Plant Varieties Studying and Protection*. 2016. No. 4 (33). Vol. 33. P. 45–50.
10. Masauskienė A., Masauskas V., Peltonen J. The impact of phosphorus seed coating on winter wheat at different fertilization practices // *Agronomy Research*. 2007. No. 5 (2). P. 123–133.
11. Урожайність та якість зерна пшениці озимої залежно від удобрення та попередників / І.М. Тимчишин, О.І. Качмар, М.М. Щерба и др. // *Збірник наукових праць Національного наукового центру «Інститут землеробства УАН»*. К.: ВД «ЕКМО», 2008. Вип. 3-4. С. 61–66.
12. Заходи підвищення урожайності та якості зерна озимої пшениці в умовах Присивашія / І.І. Гасанова, І.В. Костиця, М.А. Остапенко и др. // *Бюл. ін. с. г. степової зони НААН України*. 2012. № 2. С. 98–102.
13. Торицов В.Е., Куликович С.Н. Технологии возделывания и качество зерна озимой пшеницы. Брянск: Издательство Брянской ГСХА, 2013. С. 158–160.
14. Мельник А.Ф., Кондрашин Б.С. Биологизированные технологии – фактор повышения продуктивности озимой пшеницы // *Зерновое хозяйство России*. 2018. № 5 (59). С. 3–6.
15. Предшественники, урожай и качество зерна озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии / Х.А. Малкандуев, А.Х. Малкандуева, Р.И. Шамурзаев и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2015. № 4. С. 122–128.
16. Sulek A., Podolska G. Planowanie i wartasc technologiczna ziarna pszenicy jarej odmiany Nawra w zalezności od dawki i terminy stosowania azotem // *Acta Sci. Pol. Agricultura*. 2008. No. 7 (1). P. 103–110.
17. Сычев В.Г., Алметов Н.С., Козырев А.С. Эффективность средств химизации на посевах яровой пшеницы в условиях Волго-Вятского региона. М.: ВНИИА, 2009. С. 121–123.
18. Delchev G., Georgiev M., Petrova I. Influence of Some Mixtures between Stimulators and Antibroadleaved Herbicides on the Grain Yield and Grain Quality of Durum Wheat // *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences. Special Issue*. 2014. No. 1. P. 1123–1127.
19. Пахотина И.В., Колмаков Ю.В., Евдокимов М.Г. Эффективность систем оценки качества зерна твердой пшеницы // *Вестник Алтайского ГАУ*. 2015. № 8 (130). С. 14–18.
20. Действие минеральных удобрений на продуктивность новых сортов яровой пшеницы в условиях Прибайкалья / Ф.С. Султанов, А.А. Юдин, О.Б. Габдрахимов и др. // *Вестник ИРГСХА*. 2019. № 92. С. 81–88.
21. Джапаров Р.Ш., Баймуханов Е.Н., Тлепов А.С. Применение химических и биологических приемов в земледелии для повышения урожайности зерна яровой пшеницы в Предуралье республики Казахстан // *Известия Оренбургского ГАУ*. 2017. № 4 (66). С. 60–65.
22. Зыкин В.А., Колмаков Ю.В., Белан И.А. Роль отдаленной гибридизации в создании высококачественных сортов пшеницы // *Вестник Россельхозакадемии*. 2004. № 1. С. 47–49.
23. Особенности хозяйственно-ценных признаков линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, несущих пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL / И.А. Белан, Л.П. Россеева, Н.В. Трубочева и др. // *Вестник ВОГиС*. 2010. Т. 14. № 4. С. 632–640.
24. Дмитриев Н.Н. Влияние длительного внесения минеральных удобрений в стационарном севообороте на урожайность пшеницы и ячменя и динамику аммонийного азота // *Вестник ИРГСХА*. 2011. Вып. 46. С. 13–19.
25. Синтетическая пшеница как источник улучшения качества зерна в селекции пшеницы / И.Я. Потоцкая, В.П. Шаманин, С.С. Шепелев и др. // *Вестник Курской ГСХА*. 2019. № 2. С. 55–62.
26. Формирование урожайности и качества зерна яровой пшеницы под влиянием некорневых подкормок в условиях Саратовского Заволжья / И.С. Полетаев, А.П. Солодовников, Н.Н. Гусакова и др. // *Аграрный научный журнал*. 2019. № 9. С. 18–24.

Поступила в редакцию 20.03.2021

После доработки 18.04.2021

Принята к публикации 11.05.2021

СТРУКТУРА МИКРООРГАНИЗМОВ ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ
В УСЛОВИЯХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИТ.К. Шешегова, доктор биологических наук,
Л.М. Щеклеина, кандидат сельскохозяйственных наукФедеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
610007, Киров, ул. Ленина, 166а
E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Исследования проводили с целью определения лабораторной всхожести и видовой структуры микрофлоры оригинального и репродукционного зерна сортов озимой ржи в условиях Кировской области для оценки потенциальных фитосанитарных рисков в ржаных биоценозах. Работу выполняли в 2019–2020 гг. Материалом для исследований служили семена 8 тест-сортов озимой ржи различного эколого-географического происхождения. Проведён микробиологический анализ оригинальных (из пяти научно-исследовательских учреждений) и репродукционных (пересев в ФАНЦ Северо-Востока) семян. Заражение совокупной инфекцией репродукционных семян составляло в среднем 93,0 %, оригинальных – 51,6 %. В семенах идентифицированы представители 12 таксонов: *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *B. sorokiniana*, *Cladosporium* spp., *Stemphylium* spp., *Aspergillus* spp., *Acremoniella* spp., *Curvularia* spp., *Penicillium* spp., *Mucor* spp., *Xanthomonas* spp. и *Bacillus* spp. Установлена значительная неустойчивость микобиотических комплексов семян, обусловленная климатическими условиями и генотипом. На репродукционных семенах всех тест-сортов доминировала альтернариозная инфекция – в среднем 75,5 %; доля условно-патогенных грибов составляла 20,0 %, *B. sorokiniana* – 4,0 %, видов *Fusarium* spp. – 6,0 %, бактериальной инфекции – 1,6 %. Микобиота оригинальных семян имела следующие особенности: не выявлен грибок *B. sorokiniana*; фузариозная инфекция представлена только *F. avenaceum* со средней долей 8,4 %; бактериальная инфекция была доминирующей у сортов Саратовская 5 (75,0 %) и Эра (61,5 %), а в среднем находилась на уровне 28,3 %; альтернариозная инфекция выявлена только у сортов Чулпан 7 (50,0 %) и Пышма (71,4 %), доля условно-патогенных грибов составила в среднем 43,1 %. Установлена достоверная связь ($r = -0,70$) между лабораторной всхожестью семян и бактериальной инфекцией.

STRUCTURE OF WINTER RYE GRAIN'S MICROORGANISMS
IN THE CONDITIONS OF THE KIROV REGION

Sheshegova T.K., Shchekleina L.M.

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky,
610007, Kirov, ul. Lenin, 166a
E-mail: immunitet@fanc-sv.ru

Purpose of research: analysis of laboratory germination and species structure of microflora of original and reproductive grain varieties of winter rye in the Kirov region to assess potential phytosanitary risks in rye biocenoses. The research was carried out at the Federal Agricultural Research Center of the North-East in 2019–2020. Seeds of 8 winter rye test cultivars of various ecological and geographical origin were used as the material for study. Microbiological analysis of original (bred in five Research Institutes of the Russian Federation) and reproductive (passing in the FARC of the North-East) seeds was carried out. Contamination with cumulative infection of reproductive seeds averaged 93.0 %, original one - 51.6 %. Representatives of 12 taxa have been identified in seeds: *Alternaria* spp., *Fusarium* spp., *B. sorokiniana*, *Cladosporium* spp., *Stemphylium* spp., *Aspergillus* spp., *Acremoniella* spp., *Curvularia* spp., *Penicillium* and *Bacillus* spp. Significant instability of mycobiotic seed complexes has been established, due to climatic conditions and genotype. In reproductive seeds, alternarion infection was dominated in all test cultivars with an average proportion of 75.5 %; the proportion of conditionally pathogenic fungi was on average 20.0 %; *B. sorokiniana* - 4.0 %; *Fusarium* spp species - 6.0 %; and bacterial infection - 1.6 %. The mycobiota of the original seeds had the following features: the fungus *B. sorokiniana* was not revealed; fusarion infection is represented only by *F. avenaceum* with an average proportion of 8.4 %; bacterial infection was dominant in cultivars Saratovskaya 5 (75.0 %) and Era (61.5 %) and averaged 28.3 %; alternarion infection was detected only in the cultivars Chulpan 7 (50.0 %) and Pyshma (71.4 %); the proportion of conditionally pathogenic fungi averaged 43.1 %. A statistically significant association ($r = -0.70$) was established between laboratory germination of seeds and level of bacterial infection.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., сорта, оригинальные и репродукционные семена, микроорганизмы, заражённость зерна, всхожесть

Key words: *Secale cereale* L., cultivars, original and reproductive seeds, microorganisms, grain contamination, germination

Озимая рожь в Кировской области традиционно считается ведущей зерновой культурой [1]. На сегодняшний день только в 9 субъектах Российской Федерации, в том числе Кировской области, производят более 100 тыс. т зерна этой культуры в год, а селекцию ржи ведут 14 научных учреждений [2].

Известно, что через семена передаются более 60 % различных болезней [3]. Посев заражённым посевным материалом приводит к передаче болезней на вегетирующие растения, тем самым создавая и поддерживая очаги инфекции в полевых условиях. На зерне присутствует множество микроорганизмов, относящихся к различным таксономическим группам, которые успеш-

но выживают и сосуществуют в разнообразных экологических условиях. При этом, например, по данным А.С. Орино с соавторами [4], на зерне всех зерновых культур доминируют грибы рода *Alternaria*. Многие виды *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Cladosporium* spp., *Trichotecium* spp., *Aspergillus* spp. продуцируют хозяин-специфичные токсины, которые вызывают гибель растительных клеток, подавляют защитные реакции растений и рассматриваются как факторы патогенности [5, 6, 7]. Кроме того, биологическая опасность плесневых грибов обусловлена их канцерогенным, терратогенным и другими видами воздействия на организм человека и животных [8].

Особенно опасны возбудители фузариозов, альтернариозов и гельминтоспориозов, приводящие к потере более 40 % урожая зерновых культур [9]. Например, заражённое фузариозом зерно становится легковесным, щуплым и теряет жизнеспособность. В одном зерновом образце могут сосуществовать более 10 представителей рода *Fusarium* с доминированием одного или группы видов, наиболее адаптированных к конкретным условиям среды. В зависимости от преобладающих видов в зерне происходит накопление разных токсинов: дезоксиниваленол (ДОН), Т-2 и НТ-2 токсины, ниваленол и др. [5, 10, 11].

Семена, зараженные альтернариозом, как правило, физиологически недоразвиты и имеют низкую всхожесть [12]. По данным Т. Ю. Гагкаевой с соавторами [13], мицелий видов *Alternaria spp.* не проникает в зародыш, а локализуется в плодовой оболочке и эндосперме, чаще над зародышем. В этой связи может иметь место скрытая форма болезни. В случае значительного поражения прилегающей к зародышу зоны в благоприятных для возбудителя условиях может развиваться корневая гниль. Опасность видов *Alternaria spp.* заключается также в загрязнении сельскохозяйственной продукции вторичными метаболитами, более токсичными для человека и животных, поскольку частота встречаемости этого таксона в регионах РФ выше, чем других микроорганизмов. Кроме того, их сложно идентифицировать, поскольку между некоторыми видами этого рода нет четких границ по культурально-морфологическим признакам [14].

Термин «гельминтоспориоз» включает в себя проявление многих болезней, прежде всего, корневых гнилей, гельминтоспориозных пятнистостей листьев, чёрного зародыша. Известно около 47 видов гельминтоспориозных грибов, но на зерновых культурах чаще присутствует грибок *Bipolaris sorokiniana* Schoemaker [15, 16]. В зависимости от культуры встречаемость его может значительно меняться. По данным Е. Ю. Тороповой с соавторами [17, 18], в условиях Западной Сибири частота выявления представителей рода *Bipolaris* в зерне пшеницы обычно значительно ниже, чем грибов рода *Alternaria*. Потенциальная опасность семенной инфекции заключается в том, что грибок может активно развиваться внутри зерновки без проявления внешних признаков.

Как правило, состав микрофлоры зерна, сформировавшегося в той или иной географической местности, достаточно устойчив. В условиях Кировской области на семенах ржи наиболее распространены возбудители оливковой плесени или кладоспориоза (*Cladosporium herbarum*), черни колоса и зерна (*Alternaria spp.*, *Cladosporium spp.*, *Epicoccum spp.*, *Stemphyllium spp.* и др.), фузариоза колоса и зерна (*F. culmorum* (W.G.Sm.) Sacc., *F. sporotrichioides* Sherb. и др.), чёрного зародыша (чаще *Alternaria spp.*, реже – *B. sorokiniana*) и плесневения зерна (*Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Mucor spp.*, *Cladosporium spp.*, *Epicoccum spp.* и др.) [19]. В утрате или расширении биологического разнообразия прогнозистическое значение имеют и климатические факторы (температура, влажность, осадки) в период вегетации растений. Например, в засушливые годы среди контаминантов преобладают условно-патогенные грибы, а в тёплых и влажных условиях – более вредоносные виды, например, *Fusarium spp.* [14]. Кроме того, следует учитывать, что использование оригинальных семян в различных испытаниях в НИУ и системе Госсортсети чревато интродукцией эндемичных микроорганизмов и, возможно, нетипичным проявлением отдельных болезней.

В связи с изложенным, целью наших исследований был анализ лабораторной всхожести и видовой структуры микрофлоры оригинального и репродукционного зерна сортов озимой ржи в условиях Кировской области для оценки потенциальных фитосанитарных рисков в ржаных биоценозах.

Методика. Работу выполняли в 2019–2020 гг. на базе Федерального аграрного научного центра имени Н. В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока) в соответствии с планом НИР в рамках государственного задания № 0767-2019-0095. Объект исследований – оригинальные урожаи 2016–2019 гг. (из различных НИУ РФ) и репродукционные (урожаи 2019–2020 гг. пересев в ФАНЦ Северо-Востока) семена. Для анализа использовали отечественные сорта озимой ржи: Фалёнская 4 и Графиня (селекции ФАНЦ Северо-Востока), Эра и Волхова (Ленинградский НИИСХ), Исеть и Пышма (Уральский НИИСХ – филиал Ур ФАНИЦ УрО РАН), Саратовская 5 (ФАНЦ Юго-Востока) и Чулпан 7 (Башкирский НИИСХ).

Для микробиологического анализа отбирали по 10 зерновок каждого сорта в 4-х кратной повторности. Зерно стерилизовали в 0,5 %-ном растворе перманганата калия в течение 20 мин с последующей промывкой бидистиллированной водой. В ламинарном боксе зерновки раскладывали в четыре чашки Петри на картофельно-глюкозный агар (КГА) и инкубировали при температуре около +25 °С. Через 3 суток проводили пересев появившегося вокруг зерновок мицелия на новую среду КГА.

Идентификацию микромицетов проводили на 12...14 сутки после последнего посева путём прямого микроскопирования с помощью микроскопа Биолам с увеличением х40. При этом использовали общеизвестные методики и справочную литературу: В. И. Билай, Н. М. Подопличко [20]; В. И. Билай [21]; Н. М. Подопличко [22]; Б. Д. Ермакова [23]; Б. А. Хасанов [24] и др. Частоту встречаемости рода (вида) оценивали по числу зерновок, на которых его наблюдали, и выражали в процентах от количества инфицированных. Микробиологический таксон считали доминирующим, если его доля в контаминанте превышала 50 %. Для оценки характера заражённости разными видами микромицетов использовали шкалы, предложенные Т. Ю. Гагкаевой с соавторами [13]. Так, для грибов рода *Fusarium* инфицированность зерна до 4 % считали слабой, до 10 % – средней, до 15 % – высокой и более 15 % – очень высокой. Для другой грибной микрофлоры в связи с ее меньшей вредоносностью, использовали следующие градации: до 15 % – слабая заражённость, до 40 % – средняя, до 60 % – высокая, более 60 % – очень высокая.

Метеоусловия в период формирования и налива зерна в 2019 и 2020 гг. были схожими, о чём косвенным образом свидетельствует величина гидротермического коэффициента (ГТК) в межфазный период 75-91 (по шкале Цадокса), который находился на уровне соответственно 1,51 и 1,32 (13,4 °С и 15,1 °С – температура воздуха, 63 мм и 61 мм – осадки).

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

Результаты и обсуждение. Всхожесть оригинальных семян ржи варьировала от 60,0 % (Саратовская 5) до 90,0 % (Чулпан 7), а в среднем составила 78,3 %. Относительно низкие величины этого показателя могут быть связаны с длительным сроком хранения семян



Рис. 1. Общая инфицированность оригинальных и репродукционных семян озимой ржи.

(4...6 лет) в НИУ-оригинаторах, а также с доминированием бактериальной инфекции у отдельных сортов. Всхожесть репродукционных семян урожая 2019 г. в среднем составила 75,5 %, варьируя от 47,0 % (Исеть) до 96,0 % (Фаленская 4). Ухудшение посевных свойств, вероятно, обусловлено значительным инфицированием семян в условиях повышенной влажности во время налива зерна, о чём косвенно свидетельствует уровень ГТК, равный 1,81.

В ходе микробиологического анализа выявлено, что совокупная инфицированность репродукционных семян в среднем по четырём повторениям составила 93,0 % (рис. 1, 2), варьируя от 73,3 % (Исеть) до 100 % (Фаленская 4, Пышма) ($НСР_{05} = 20,1$), оригинальных – 51,6 % с вариацией от 26,7 % (Волхова, Саратовская 5) до 93,3 % (Пышма) ($НСР_{05} = 27,7$).

Несмотря на то, что разнообразие микрофлоры зерна довольно велико, её видовой идентификации в Российской Федерации уделяется недостаточное внимание [5]. В наших исследованиях во всех образцах идентифицировано 12 родовых таксонов, среди которых были виды *Alternaria spp.*, *Fusarium spp.*, *B. sorokiniana*, *Cladosporium spp.*, *Stemphylium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Acremonia spp.*, *Curvularia spp.*, *Penicillium spp.*, *Mucor spp.*, *Xanthomonas spp.* и *Bacillus spp.* Таким

образом, среди контаминантов оригинальных и репродукционных семян преобладали грибные культуры.

Выделенные сообщества микроорганизмов были условно разделены на 3 группы. Первая – грибы с темноокрашенным мицелием (*Alternaria spp.*, *B. sorokiniana*, *Cladosporium spp.*, *Penicillium spp.*, *Mucor spp.*, *Stemphylium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Acremonia spp.*, *Curvularia spp.*); вторая – грибы с розовоокрашенным мицелием, представленная видами рода *Fusarium* Link. (*F. oxysporum* Schlecht., *F. culmorum* (W.G.Sm.) Sacc., *F. avenaceum* (Fr.) Sacc., *F. sporotrichioides* Sherb.); третья – бактерии (*Xanthomonas spp.* и *Bacillus spp.*).

Доминирующими представителями эпифитной микрофлоры репродукционных семян были грибы рода *Alternaria* (75,5 %), которые образуют колонии с обильным воздушным мицелием различных оттенков: от светло-серого до темно-оливкового и почти черного. Различные виды этого рода идентифицированы на семенах всех тест-сортов с частотой от 53,6 % (Эра) до 90,0 % (Фаленская 4).

Высокая встречаемость их согласуется с данными Ф. Б. Ганнибала [14], который отмечал, что грибы рода *Alternaria* заражают зерно озимой ржи независимо от сорта почти в равной степени. При этом в наших исследованиях обнаружены значительные различия по зараженности. Относительно меньше альтернариозной инфекции (53,6...63,6 %) было на сортах Эра, Волхова и Исеть (рис. 3).

Второе место по встречаемости в темноокрашенной группе мицелиальных грибов занимали условно-патогенные виды *Cladosporium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.* и др., доля которых в совокупности составляла от 3,3 % (Фаленская 4, Пышма) до 25,0 % (Эра). Гриб *B. sorokiniana* выявлен на семенах сортов Чулпан 7 (3,7 %), Пышма (6,7 %), Саратовская 5 (10,3 %) и Эра (11,4 %). Гельминтоспориозная инфекция не выделена у сортов Фаленская 4, Графиня, Волхова и Исеть. Таким образом, можно полагать, что благодаря конкурентным отношениям внутри сообщества микроорганизмов преимущество получили виды *Alternaria spp.*, обладающие более высокой скоростью роста. Большинство тест-сортов характеризовались высокой и очень высокой зараженностью совокупной микрофлорой с темноокрашенным мицелием.

Среди грибов с розовоокрашенным мицелием в ре-

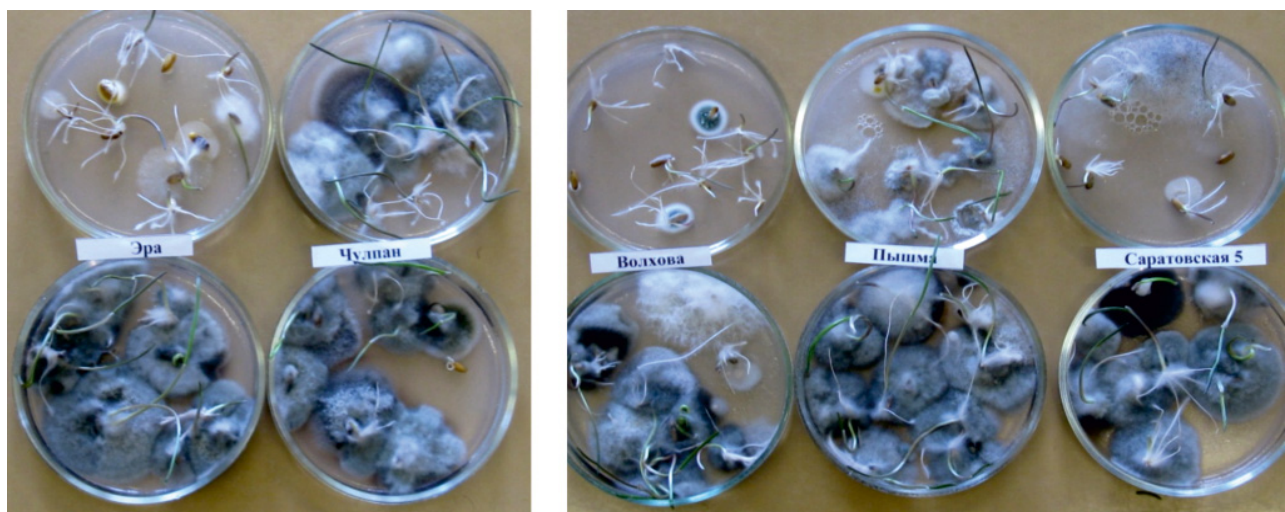


Рис. 2. Общий вид оригинальных (вверху) и репродукционных (внизу) семян ржи на 5-ый день инкубации на КГА (фрагмент опыта).

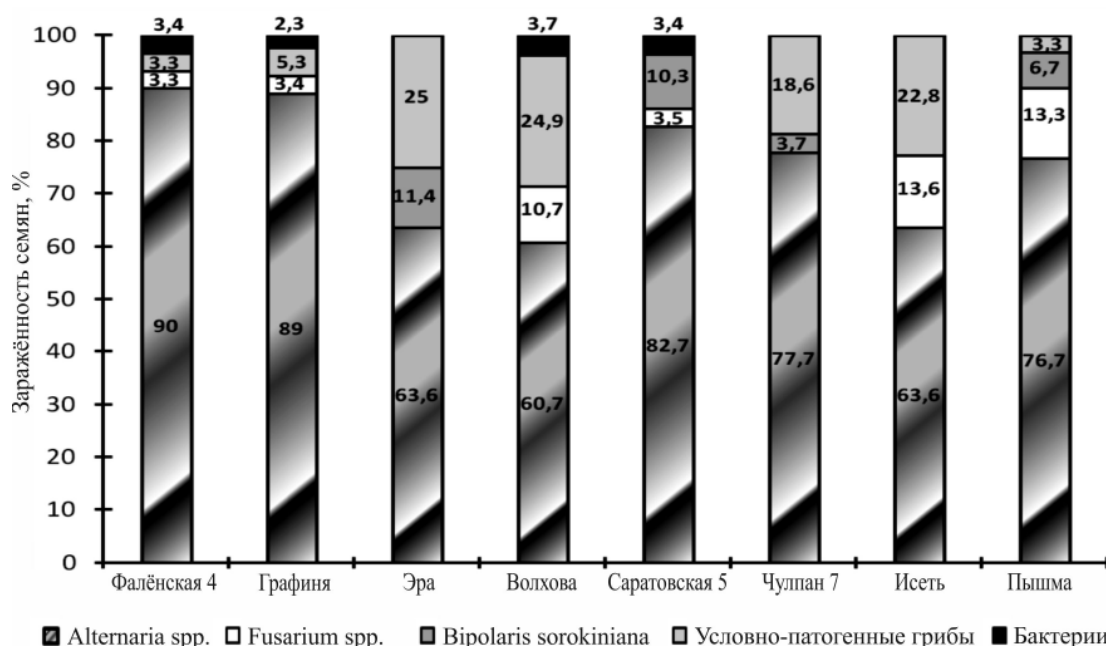


Рис. 3. Зараженность репродукционных семян ржи группами микроорганизмов.

продукционных семенах с частотой от 3,3 % до 13,6 % идентифицировано 3 вида *Fusarium spp.*: *F. oxysporum*, *F. culmorum* и *F. sporotrichioides*. Вид *F. oxysporum* изолирован из семян сортов Саратовская 5 (3,5 %), Волхова (7,1 %), Пышма (13,3 %) и Исеть (13,6 %); *F. culmorum* – из сортов Фалёнская 4 (3,3 %) и Графиня (3,4 %), а *F. sporotrichioides* – только из сорта Волхова (3,6 %). На зерновках сортов Эра и Чулпан 7 фузариозная инфекция не выделена. Оценивая семена по степени заражения видами *Fusarium spp.*, можно отметить сорта Эра, Чулпан 7, Фалёнская 4 и Графиня с отсутствием или слабым развитием фузариозной семенной инфекции.

Бактериальная инфекция в репродукционных семенах идентифицирована с небольшой частотой, которая у сорта Фалёнская 4 составила 3,4 %, Графиня – 2,3 %, Волхова – 3,7 %, Саратовская 5 – 3,4 %. Следует отметить, что отдельные виды *Xanthomonas spp.* и *Bacillus*

spp. вызывают чёрный бактериоз колосковых чешуек ржи и могут инфицировать формирующее зерно.

В микробиоте оригинальных семян идентифицированы преимущественно те же таксоны, что и у репродукционных. Однако в зависимости от эколого-географического происхождения сорта частота встречаемости того или иного вида (рода) была различной. Так, среди грибов с тёмноокрашенным мицелием виды *Alternaria spp.* изолированы только из семян сортов Чулпан 7 (50,0 %) и Пышма (71,4 %). Другие грибы этой группы (в основном виды *Cladosporium spp.* и *Acremonium spp.*) выделены из семян всех сортов с частотой от 7,7 % (Эра) до 87,5 % (Волхова). Гриб *B. sorokiniana* во всех образцах оригинальных семян не выявлен (рис. 4).

Фузариозная инфекция в оригинальных семенах была представлена одним видом – *F. avenaceum*, достаточно эндемичным для Кировской области. Гриб изолирован из образцов сортов Пышма (7,2 %), Волхова (12,5 %) и Эра (30,8 %).

Обращает на себя внимание доминирование бактериальной инфекции на сортах Саратовская 5 (75,0 %) и Эра (61,5 %), обусловленное, вероятно, специфическими климатическими условиями при формировании их зерновок. Бактериальная инфекция выявлена также у сортов Исеть (21,4 %), Пышма (7,1 %) и Чулпан 7 (4,5 %). На семенах сорта Волхова бактерии не обнаружены. В наших исследованиях среди всех групп микроорганизмов достоверное (при $P \geq 0,95$) влияние на лабораторную всхожесть тест-сортов оказала лишь совокупная бактериальная инфекция: $r = -0,70$. Несмотря на доминирование грибной семенной инфекции, её влияние на величину этого показателя статистически не доказано. В целом, среди контаминантов оригинальных семян озимой ржи превалирует микробиота с тёмноокрашенным мицелием (без *B. sorokiniana*) со средней долей 63,3 % и бактериальная инфекция с долей 28,3 %.

Таким образом, новые экспериментальные данные представляют интерес для фитопатологов и специали-

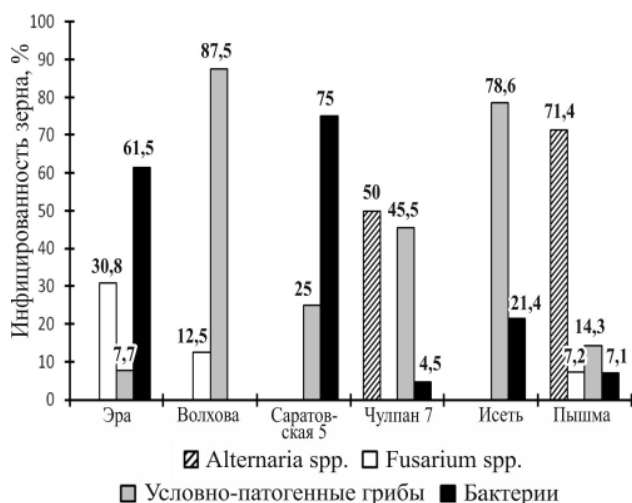


Рис. 4. Зараженность оригинальных семян ржи группами микроорганизмов.

стов по защите растений с целью выбора эффективных протравителей и целевого использования партий зерна. Выявленная в ходе исследований значительная нестабильность микобиотических комплексов оригинальных и репродукционных семян тест-сортов озимой ржи различного эколого-географического происхождения, вероятно, обусловлена специфичностью агроэкологических факторов в период формирования зерновок. В условиях повышенной влажности 2019 г. в микробиоте репродукционных семян всех сортов доминировала альтернариозная инфекция. У оригинальных семян, наряду с грибами с тёмноокрашенным мицелием, была выше доля бактериальной инфекции. Просматривается также изменчивость в структуре географических популяций фузариозных грибов и некоторая сортоспецифичность в заражении отдельными видами *Fusarium spp.* Так, Кировская популяция рода *Fusarium* представлена 3 видами: *F. culmorum*, *F. sporotrichioides* и *F. oxysporum*, северо-западная и уральская – *F. avenaceum*. Сорт Эра в сильной степени поражался *F. avenaceum*, но не имел другой фузариозной инфекции. В оригинальных семенах не обнаружено гелиминтоспориозной инфекции, а в репродукционных доля *B. sorokiniana* достигала 11,4 %. Установлено достоверное влияние ($r = -0,70$) бактериальной инфекции на лабораторную всхожесть семян.

Литература.

1. Сысоев В.А., Кедрова Л.И., Уткина Е.И. Значение озимой ржи для сохранения природного агроэкологического баланса и здоровья человека (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 14–20. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-014-020.
2. Гончаренко А.А. Состояние производства и селекция озимой ржи в Российской Федерации // Нива Урала. 2012. № 6. С. 4–6.
3. Лавринова В.А., Полунина Т.С., Гусев И.В. Фунгициды против комплекса микромицетов на семенах озимой ржи в северо-восточной части Центрального черноземного региона // Международный научно-исследовательский журнал (International research journal). 2018. № 10 (76). Ч. 1. С. 81–84. doi: 10.23670/IRJ.2018.76.10.016.
4. Микромицеты *Alternaria spp.* и *Bipolaris sorokiniana* и микотоксины в зерне, выращенном в Уральском Федеральном округе / А.С. Орина, О.П. Гаврилова, Т.Ю. Гагкая и др. // Микология и фитопатология. 2020. Т. 54. № 5. С. 365–377. doi: 10.31857/S0026364820050086.
5. Сравнение методов выявления в зерне токсинопродуцирующих грибов рода *Fusarium* / Т.Ю. Гагкая, О.П. Гаврилова, А.С. Орина, и др. // Микология и фитопатология. 2017. Т. 51. № 5. С. 292–298. doi: 10.15389/agrobiology.2017.5.98beng.
6. Симбиотические взаимоотношения грибов *Fusarium* и *Alternaria*, колонизирующих зерно овса / А.С. Орина, О.П. Гаврилова, Т.Ю. Гагкая и др. // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. С. 986–994. doi: 10.15389/agrobiology.2017.5.98brus.
7. New sesquiterpenoids from the plant fungal pathogen *Bipolaris sorokiniana* / C.-S. Phan, L. Hang, S. Kessler, et al. // Beilstein J. Org. Chem. 2019. Vol. 15. P. 2020–2028. doi:10.3762/bjoc.15.198.
8. Левитин М.М., Джавахия В.Г. Токсигенные грибы и проблемы продовольственной безопасности (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 12. С. 5–11.
9. Occurrence of beauvericin and enniatins in wheat affected by *Fusarium avenaceum* head blight / A. Logrieco, A. Rizzo, R. Ferracane, et al. // Appl. Environ. Microb. 2002. 68 (1). P. 82–85. doi: 10.1128/AEM.68.1.82-85.2002.
10. Rotem J. The genus *Alternaria*. Biology, epidemiology and pathogenicity. St. Paul: APS Press, 1994. 326 p.
11. Emerging *Fusarium* and *Alternaria* mycotoxins: occurrence, toxicity and toxicity and toxicity and toxicokinetics / S. Fraeyman, S. Croubels, M. Devreese, et al. // Tesis. 2017. Vol. 9 (7). P. 228. URL: <https://www.mdpi.com/2072-6651/9/7/228> (дата обращения: 20.12.202). doi: 10.3390/toxins9070228.
12. Семенов А.Я., Мухина М.Ю., Горденко В.И. Видовой состав микроскопических грибов на семенах озимой ржи в Горьковской области / Бюллетень ВИЗР. 1988. с. 84.
13. Гагкая Т.Ю., Дмитриев А.П., Павлюшин В.А. Микробиота зерна – показатель его качества и безопасности // Защита и карантин растений. 2012. № 9. С. 14–18.
14. Ганнибал Ф.Б. Изучение факторов, влияющих на развитие альтернариоза зерна у злаков, возделываемых в европейской части России // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 3. С. 605–615. doi: 10.15389/agrobiology.2018.3.605rus.
15. Zhong S., Steffenson B.J. Virulence and molecular diversity in *Cochliobolus sativus*. Phytopathol. 2001. Vol. 91. P. 469–476. doi: 10.1094/PHYTO.2001.91.5.469.
16. Зависимость грибной инфекции зерновых культур от сезонной динамики климатических факторов / Т.К. Шешегова, Л.М. Щеклина, И.Г. Щенникова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 4. С. 58–62.
17. Заселенность почвы засушливой Кулундинской зоны Алтая фитопатогеном *Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem. / Е.Ю. Торопова, А.Е. Кудрявцев, Г.Я. Стецов и др. // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 1. С. 12–15. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10102.
18. Взаимодействие консортов в агроценозах яровой пшеницы Западной Сибири / Е.Ю. Торопова, Г.Я. Стецов, И.Г. Воробьева и др. // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 9. С. 35–41. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10907.
19. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2019 году и прогноз развития вредных объектов в 2020 году. / Говоров Д.Н., А.В. Живых, Е.С. Новочёлов и др. М., 2020. 897 с. URL: https://rosselhocenter.com/files/users/42/Moskva/2020/%D0%9E%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80_2019_%D0%98%D0%A2%D0%9E%D0%93%D0%9E%D0%92%D0%AB%D0%99_29f29.pdf (дата обращения 28.12.2020).
20. Билай В.И., Подопличко Н.М. Токсикообразующие микроскопические грибы. Киев: Наукова Думка, 1970. 290 с.
21. Билай В.И. Фузариоз. Минск: Наукова Думка, 1977. 441 с.
22. Подопличко Н.М. Грибы – паразиты культурных растений. Определитель. Минск: Наукова думка, 1977. Т. 2. 299 с.
23. Ермекова Б.Д. Почвенные грибы и обыкновенная корневая гниль колосовых зерновых. Алма-Ата: Изд. «Наука» Казахской ССР, 1988. 144 с.
24. Хасанов Б.А. Определитель грибов – возбудителей «гельминтоспориозов» растений из родов *Bipolaris*, *Drechslera*, *Exserohilum*. Ташкент, 1992. 232 с.

Поступила в редакцию 26.01.2021
После доработки 20.03.2021
Принята к публикации 30.04.2021

ПОВЫШЕНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И СНИЖЕНИЕ ВРЕДНОСТИ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ БОЛЕЗНЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АКРИЛОВОГО ГИДРОГЕЛЯ И БЕЛКОВОГО СТИМУЛЯТОРА РОСТА

Л.Е. Колесников^{1,2}, кандидат биологических наук, М.В. Успенская², доктор технических наук,
М.И. Кременевская³, доктор технических наук,
А.Г. Орлова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, Е.В. Зувев⁴, кандидат сельскохозяйственных наук,
Ю.Р. Колесникова⁴, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
196601, Санкт-Петербург -Пушкин, Петербургское ш., 2
E-mail: kleon9@yandex.ru

²Национальный исследовательский университет ИТМО, Международный научный центр Биотехнологий,
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский просп., 49
E-mail: mv_uspenskaya@itmo.ru

³Национальный исследовательский университет ИТМО, факультет биотехнологий (БиоТех),
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
E-mail: mikremenevskaya@itmo.ru

⁴Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова,
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42-44
E-mail: e.zuev@vir.nw.ru

Исследование проводили с целью определения эффективности полимерного гидрогеля на основе акрилата калия и белкового стимулятора роста растений, выработанного из побочного продукта переработки крупного рогатого скота (спилок говяжьей говяжьей), на сортах мягкой пшеницы и тритикале. Оценку проводили по результатам измерения 19-и показателей, характеризующих морфологические особенности растений и структуру урожайности. Влияние изучаемых средств на снижение интенсивности развития гельминтоспориозной корневой гнили и желтой ржавчины определяли с использованием общепринятых и дополнительных (число пустул, число и длина полос с пустулами, площадь пустулы и др.) показателей. Препараты вносили в почву при посеве. Схема опыта предусматривала следующие варианты: без препаратов (контроль, К); гидрогель в дозах 30 кг/га (0,5Г) и 60 кг/га (1Г); гидрогель 30 кг/га + белковый стимулятор 20 кг/га (0,5Г:1С); гидрогель 60 кг/га + белковый стимулятор 40 кг/га (1Г:2С). Совместное применение препаратов в полифункциональном комплексе 1Г:2С способствовало максимальному повышению средней потенциальной урожайности мягкой пшеницы и тритикале. Это было обусловлено ростом полевой всхожести (на 32,1 %), ускорением созревания (на 9,1 %), а также снижением поражения растений корневой гнилью (на 8,1 %), по сравнению с контролем. В варианте опыта 1Г зарегистрирована максимальная в опыте урожайность единичного растения. Это можно объяснить наибольшим ростом продуктивной кустистости (на 26,5 %); массы корней (на 68,9 %), числа узловых корней (на 52,2 %); числа колосков в колосе (на 7,7 %) по сравнению с контролем, а также минимальным в опыте поражением растений желтой ржавчиной.

INCREASE IN THE YIELD OF CEREALS AND DECREASE IN THE HARMFULNESS OF PATHOGENS WHEN USING ACRYLIC HYDROGEL AND PROTEIN GROWTH STIMULATOR

Kolesnikov L.E.^{1,2}, Uspenskaya M.V.², Kremenevskaya M.I.³, Orlova A.G.¹, Zuev E.V.⁴, Kolesnikova Yu.R.⁴

¹Saint-Petersburg State Agrarian University,
196601, Sankt-Peterburg-Pushkin, Peterburgskoe sh., 2
E-mail: kleon9@yandex.ru

²ITMO University, International Scientific and Research Institute of Bioengineering,
197101, Sankt-Peterburg, Kronverkskii prosp., 49
E-mail: mv_uspenskaya@itmo.ru

³ITMO University, Faculty of Biotechnologies,
191002, Sankt-Peterburg, ul. Lomonosova, 9
E-mail: mikremenevskaya@itmo.ru

⁴Federal Research Center the Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR),
190000, Sankt-Peterburg, ul. Bol'shaya Morskaya, 42-44
E-mail: e.zuev@vir.nw.ru

The polymer hydrogel based on potassium acrylate and the protein plant growth stimulant developed from a beef shin split (as a by-product of cattle processing) effectiveness on soft wheat and triticale cultivars was studied. The preparations effect on the grain crops productivity was revealed by measuring 19 indicators that characterize the plants morphological features and the yield structure. Their effect on reducing the intensity of helminthosporous root rot and yellow (stripe) rust was evaluated using generally accepted and additional indicators (in particular the pustules number (the strips number and length (the pustule area, etc.). The preparations were introduced into the soil simultaneously with the sowing of wheat and triticale. The experience scheme included the following options: without preparations applying into the soil (control, K); hydrogel 30 kg / ha (0.5 G); hydrogel 60 kg/ha (1G); hydrogel 30 kg / ha + protein stimulant 20 kg / ha (0.5 G:1S); hydrogel 60 kg/ha + protein stimulant 40 kg/ha (1G:2S). The preparations combined application in the polyfunctional complex 1G:2S contributed to the maximum increase in the average potential yield of soft wheat and triticale. This effect was caused by an increase in field germination of seeds (by 32.1 %) and an acceleration of plant maturation (by 9.1%), as well as a decrease in plant damage by root rot (by 8.1%), compared with the control. In the 1G variant of the experiment (the maximum yield of a single plant in the experiment was registered. This can be explained by the maximal increase in the productive bushiness (by 26.5 %); the root weight (by 68.9%) (the number of nodal roots (by 52.2%); the number of spikelets per spike (by 7.7%) compared to the control, as well as the minimum plants damage by yellow rust in the experiment.

Ключевые слова: полимерный гидрогель, белковый стимулятор роста, мягкая пшеница, тритикале, элементы продуктивности, болезни зерновых культур

Key words: polymer hydrogel, protein growth stimulant, soft wheat (triticale, productivity elements, diseases of grain crops

Производство зерновых культур в Российской Федерации имеет стратегическое значение для обеспечения продовольственной безопасности страны [1]. Увеличение продуктивности зерновых может быть обеспечено при максимально возможной реализации их биологического потенциала и улучшении адаптации к условиям возделывания, в том числе повышении устойчивости к вредным организмам [2]. При этом особенно важно обеспечить увеличение качества зерна, в частности содержания белка и клейковины, а также улучшение его технологических свойств [1]. На сегодняшний день возможности сортов реализуются только на 40...50 %, что связано с низким уровнем технологичности производств и недостаточной интенсификации технологий [3, 4].

Важное место при возделывании сельскохозяйственных культур должны занимать инновационные полифункциональные средства интенсификации, включающие комплексы макро- и микроэлементов, аминокислоты, гуминовые вещества и др. [5]. Кроме того, внимание исследователей привлекают полимерные гидрогели, обладающие высокой водосорбирующей способностью, которые могут использоваться в растениеводстве для улучшения влагообеспечения растений [6]. Их применение снижает испаряемость, способствует сохранению продуктивной влаги в корнеобитаемом слое в течение всего вегетационного периода [7].

В исследованиях, выполненных в 2016–2019 гг., была показана перспективность использования белкового стимулятора роста из побочного продукта переработки крупного рогатого скота (спилок гольевой говьяж) при возделывании мягкой пшеницы [8, 9]. Его внесение обеспечивало достоверный рост урожайности пшеницы, преимущественно сортов российской селекции, и снижение вредоносности развития болезней.

Цель нашего исследования – обоснование перспективности использования полимерного гидрогеля на основе акрилата калия и белкового стимулятора роста из побочного продукта переработки крупного рогатого скота для повышения урожайности и снижения вредоносности возбудителей болезней пшеницы и тритикале.

Методика. Работу проводили на кафедре защиты и карантина растений Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, факультетов прикладной оптики и биотехнологий Университета ИТМО. Экспериментальные исследования выполняли в 2019–2020 гг. в условиях опытного поля научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР). В исследования были включены сорта мягкой пшеницы Ленинградская 97 (к-62935), Ленинградская 6 (к-64900), Trizo (к-64981, Германия) и сорт тритикале Dua (к-828, Австралия), предоставленные для изучения отделом генетических ресурсов пшениц ВИР.

Объектом исследования выступала влагопоглощающая полимерная гидрогелевая композиция на основе акрилата калия и N,N' -метиленбисакриламида в качестве сшивающего агента [10]. Полимерный гидрогель на основе акрилата калия был изготовлен по уникальной технологии в Международном научно-исследовательском институте биоинженерии Университета ИТМО.

Технологическую схему процесса синтеза композиционного супервлагоабсорбента можно представить

следующим образом: приготовление реакционной смеси; полимеризация; отмывка гидрогеля от мономеров (удаление золь-фракции); сушка акрилового гидрогелевого композита при температуре не более 40°C; дробление. Вспомогательная стадия – очистка исходных мономеров и реагентов: персульфат аммония (ПСА) предварительно перекристаллизуют по стандартной методике для удаления примесей [11], акриловую кислоту (АК) – перегоняют под вакуумом для удаления ингибитора полимеризации. При приготовлении 8N водного раствора гидроксида калия концентрацию КОН определяют титрованием 0,1N раствора соляной кислоты в присутствии фенолфталеина. В качестве окислительно-восстановительной системы используют ПСА – N,N,N',N' -тетраметилэтилендиамин в мольном соотношении 1:1 [10].

Белковый гидролизат изготовлен по уникальной технологии на мегафакультете пищевых биотехнологий и низкотемпературных систем Университета ИТМО из продуктов переработки убойных животных [12]. В его состав входят в различных сочетаниях полипептиды разной молекулярной массы и аминокислоты, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур и повышающие их устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды. Основной действующий компонент белкового гидролизата – аминокислота глицин, на долю которой в используемом белковом наполнителе приходится треть от общей массы всех присутствующих аминокислот.

Препараты вносили в почву, одновременно с посевом. Посев пшеницы и тритикале осуществляли в середине мая вручную на делянках площадью 1 м², рядовым способом посева с междурядьями 15 см и расстоянием в ряду 2 см. Повторность трехкратная. Учетная делянка состояла из 6 рядков, в каждом из которых при посеве размещали по 50 зерен. Норма высева – 300 зерен на 1 м², глубина заделки – 5...6 см. Уход за растениями и уборку осуществляли согласно методическим указаниям ВИР [13].

Схема опыта предусматривала следующие варианты: без внесения препаратов в почву (контроль) – К; гидрогель (в перерасчете на возможность связывания 200 мл влаги в почве), 30 кг/га – 0,5G; гидрогель (в перерасчете на возможность связывания 400 мл влаги в почве), 60 кг/га – 1G; гидрогель 30 кг/га + белковый стимулятор 20 кг/га – 0,5G:1S; гидрогель 60 кг/га + белковый стимулятор 40 кг/га – 1G:2S.

Механизм действия исследуемых препаратов на растения основан на том, что полимерные гранулы гидрогеля обволакивают корни пшеницы, образуя защитный чехол и препятствуют их пересыханию (рис. 1), а белковый стимулятор улучшает питание растений.

Продуктивность пшеницы описывали 19-ю показателями, характеризующими морфологические признаки растений в фазах колошения–цветения и созревания, а также структуру урожая выращиваемых культур [14]. В частности, учитывали общую и продуктивную кустистость растений, фазы онтогенеза, площадь флагового и предфлагового листьев (см²), массу вегетативной части растения (г) и др. Для определения структуры урожая учитывали число колосков в колосе (шт.), длину колоса (см), массу колоса с зерном (г), число зе-



Рис. 1. Полимерные гранулы гидрогеля на корнях мягкой пшеницы.

рен в колосе (шт.), массу зерен с колоса (г), массу 1000 зерен (г). Кроме того, определяли полевую всхожесть. Объем выборки по каждому варианту опыта составлял 20 растений.

Потенциальную (биологическую) урожайность единичного растения рассчитывали согласно данным по продуктивной кустистости и массе зерен колоса одного растения (г/растение). Применительно к площади посева потенциальную урожайность Y_n (т/га) определяли по продуктивной кустистости, массе зерен колоса и числу растений, сохранившихся к уборке на 1 м²:

$$Y_n = M_k \cdot K_n \cdot P_n \cdot 10000,$$

где M_k – масса зерен колоса одного растения, г; K_n – продуктивная кустистость, P_n – плотность посева, раст./м².

Интенсивность поражения болезнями определяли

с использованием общепринятых (развитие болезни, тип реакции) и дополнительных (число пустул на лист, площадь пустулы – для ржавчинных грибов, число пятен с налетом, площадь пятен с налетом – для мучнистой росы и др.) критериев. Характеристику показателей патогенеза давали по результатам изучения листьев растений в лаборатории с использованием бинокуляра МБС-9 и тринокуляра «Микромед» [15]. Оценка такого комплекса показателей патогенеза позволила расширить возможности статистического анализа данных и повысить точность опыта при определении биологической эффективности акрилового гидрогеля и белкового стимулятора роста, в том числе при совместном применении.

Оценку степени поражения растений гельминтоспориозной корневой гнилью *Bipolaris sorokiana* (Sacc.) Shoem. в фазы кущения (законченное кущение) и колошения–цветения проводили в лабораторных условиях в соответствии с общепринятой методикой [16]. Интенсивность поражения флаговых и предфлаговых листьев возбудителем мучнистой росы *Blumeria graminis* Spreng. определяли в соответствии с графической шкалой условной степени поражения растений [17], учитывали число и площадь пятен с налетом [9]. Интенсивность поражения возбудителем желтой ржавчины *Puccinia striiformis* West. син. *P. glumarum* Eriks. et Henn. оценивали по общепринятой шкале Маннерса. Кроме того, определяли суммарное число пустул на лист, число полос с пустулами, длину полос с пустулами, площадь пустулы и их число в полосе. Площадь пустул и пятен с налетом видов ржавчины и мучнистой росы рассчитывали с предположением об их эллиптической форме [9, 18].

Алгоритм статистической обработки результатов полевого опыта был основан на создании электронной базы данных сначала в электронных таблицах Microsoft Excel, далее в программной платформе IBM SPSS Statistics. При расчетах использовали методы параметрической статистики на основе расчета стандартных ошибок средних $\pm$ SEM, 95 %-ных доверительных интервалов и t-критерия Стьюдента.

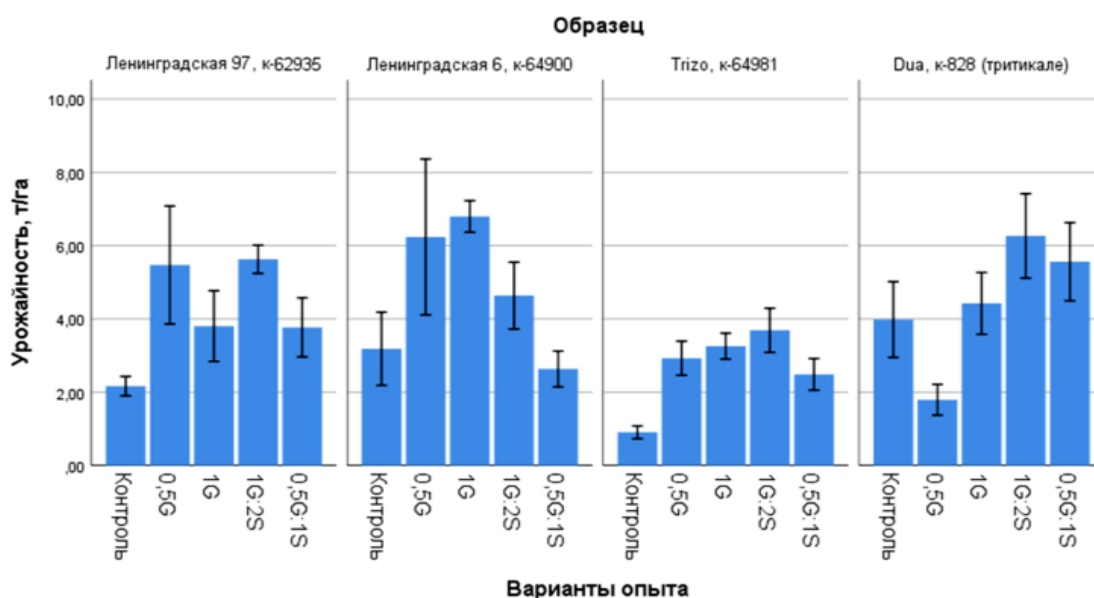


Рис. 2. Урожайность мягкой пшеницы и тритикале при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста.

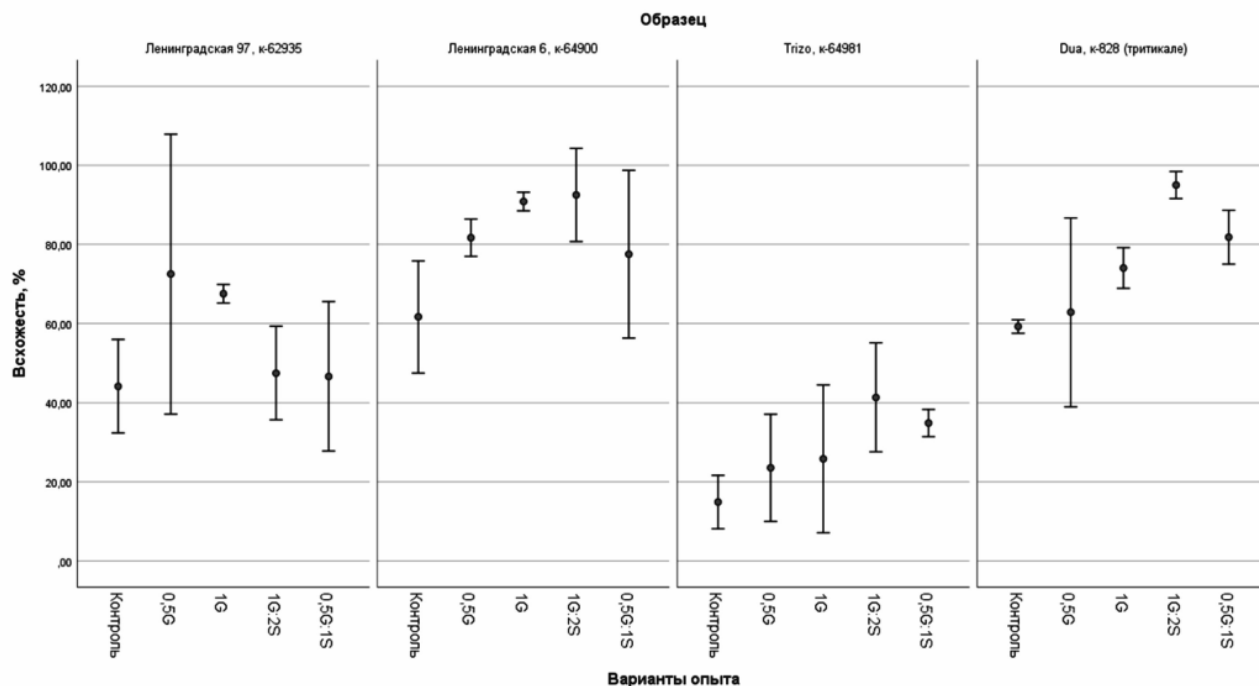


Рис. 3. Полевая всхожесть мягкой пшеницы и тритикале при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста.

Результаты и обсуждение. Максимальная в опыте и статистически достоверная прибавка урожая отмечена при использовании полифункционального комплекса из полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста в варианте 1G:2S: Ленинградская 97, к-62935 – 3,5 т/га, Trizo, к-64981 – 2,8 т/га, Dua, к-828 – 2,3 т/га. Исключение составил сорт Ленинградская 6, к-64900, урожайность которого сильнее всего увеличилась в варианте 1G – на 3,6 т/га (рис. 2).

В варианте 1G:2S у большинства генотипов отмечали и самое значительное повышение полевой всхожести ($p < 0,05$). У сорта Ленинградская 6, к-64900 она возросла на 30,8 % ($t=4,7$); Trizo, к-64981 – на 26,4 % ($t=18,1$); Dua, к-828 – на 35,8 % ($t=8,1$) (рис. 3).

При совместном применении полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста (1G:2S) отмечено ускорение прохождения этапов онтогенеза пшеницы. По сравнению с контролем, у сорта Ленинградская 97, к-62935 ($t=2,3$) оно составило 7,4 %; Ленинградская 6, к-64900 ($t=5,5$) – 15,1 %; Dua, к-828 ($t=4,1$) – 16,3 %. В этом же варианте растения пшеницы сортов Ленинградская 6, к-64900 и Dua, к-828, отличались большей, по сравнению с контролем, высотой растений – соответственно на 22,0 % ($t=3,6$) и на 18,7 % ($t=2,4$).

Продуктивность зерновых культур в значительной степени определяет мощность развития корневой системы. В нашем опыте наибольшая ее масса у мягкой пшеницы отмечена в варианте 1G, в котором она в среднем по сортам была выше, чем в контроле, на 0,9 г, а у тритикале при использовании полифункционального комплекса в соотношении 1G:2S, прирост составил 1,7 г (рис. 4).

Наибольшее увеличение, по сравнению с контролем ($p < 0,05$), числа узловых корней пшеницы, играющих важную роль в формировании урожая и развивающихся только при наличии влаги в зоне узла кущения, у сортов пшеницы отмечено преимущественно в ва-

риантах 1G (Ленинградская 97, к-62935 – на 102,5 %; $t=2,5$ и Trizo, к-64981 – на 72,4 %; $t=2,4$ и 0,5G:1S (Ленинградская 6, к-64900 – на 46,7 %; $t=2,4$ и Ленинградская 97, к-62935 – на 134,8 %; $t=4,4$).

Продуктивная и общая кустистость пшеницы – достаточно изменчивый признак, который зависит от факторов внешней среды, в том числе нормы высева, содержания влаги в почве и др. Совместное применение полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста (1G:2S) определяло статистически достоверное повышение продуктивной кустистости, по сравнению с контролем, у сортов Trizo, к-64981 и Ленинградская 97, к-62935 на 49,0 % ($t=4,7$) и 55,3 % ($t=2,6$) соответственно. У сорта Trizo, к-64981 величина этого показателя, кроме того, возрастала при внесении только гидрогеля в дозах 30 и 60 кг/га – на 33,3 % ($t=3,4$) и 49,2 % ($t=4,7$) соответственно. Общая кустистость образцов по вариантам опыта в наибольшей степени различалась на сорте Trizo, к-64981. При использовании смеси 0,5G:1S она была выше, чем в контроле, на 121,4 % ($t=6,6$); 0,5G – на 111,1 % ($t=8,2$); 1G:2S – на 69,6 % ($t=2,8$); 1G – на 42,3 % ($t=2,9$).

Применение полимерного гидрогеля в дозе 60 кг/га определяло существенное увеличение длины колоса у сортов Ленинградская 97, к-62935 и Trizo, к-64981 соответственно на 21,6 % ($t=2,5$) и 24,6 % ($t=3,3$), массы колоса – на 89,5 % ($t=4,5$) и 38,9 % ($t=2,3$), числа колосков в колосе – на 8,9 % ($t=2,6$) и 9,0 % ($t=2,3$), массы вегетативной части – на 69,1 % ($t=4,6$) и 46,0 % ($t=2,6$).

Площадь флагового листа пшеницы, влияющая, как известно, на озерненность колоса, сильнее всего (на 80,3 %; $t=2,8$) увеличивалась, по сравнению с контролем, у тритикале (Dua, к-828) в варианте 0,5G:1S. При использовании композиции 1G:2S на сорте Ленинградская 97, к-62935 она возрастала на 27 % ($t=2,6$), одновременно число зерен в колосе увеличилось на 37,7 % ($t=8,0$), масса зерен в колосе – на 47,4 % ($t=6,5$). Кроме

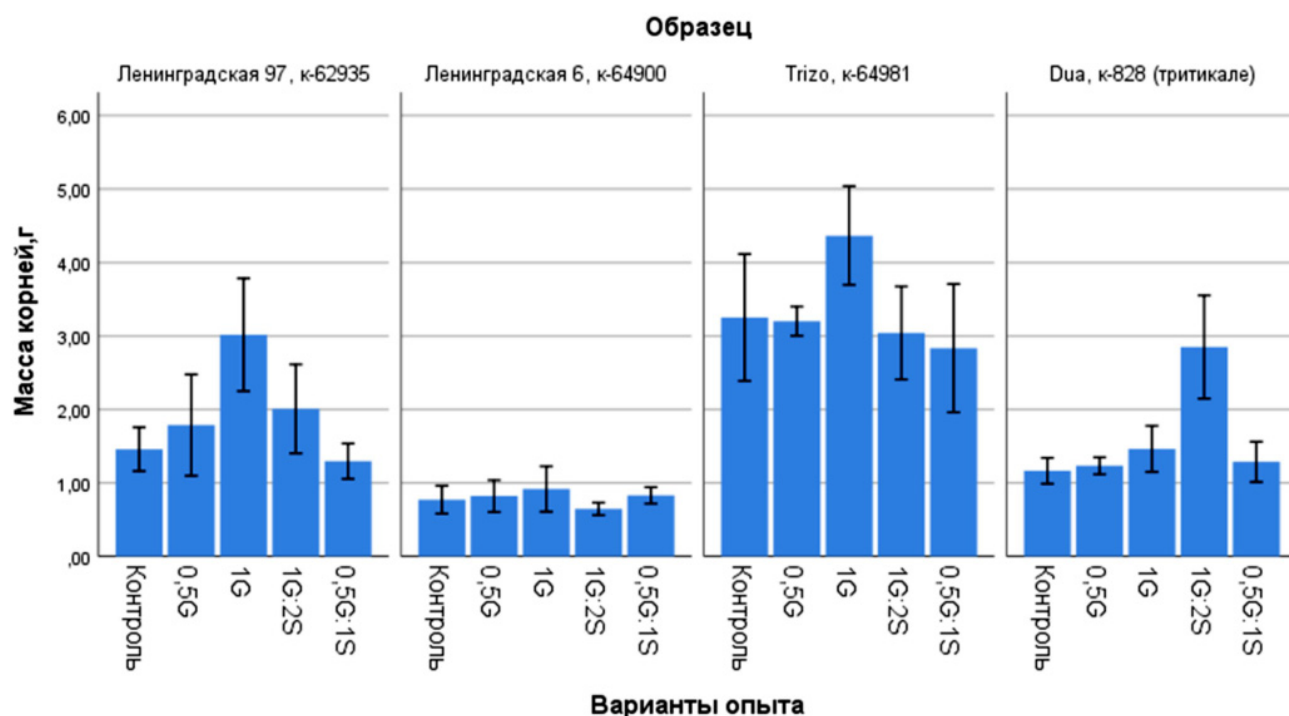


Рис. 4. Масса корней мягкой пшеницы и тритикале при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста.

того, на сорте Ленинградская 6, к-64900 в указанном варианте опыта зафиксирован наибольший рост массы 1000 зерен (на 16,1 %; $t=3,6$). На сортах Trizo, к-64981 и Dua, к-828 наибольшее повышение числа зерен в колосе отмечено при использовании 60 кг/га гидрогеля (на 24,2 %; $t=3,4$ и 22,6 %; $t=2,8$ соответственно), площадь флагового листа растений сорта Ленинградская 6, к-64900 в этом варианте увеличилась на 41,3 % ($t=3,0$).

Существенный рост наибольшего числа показателей продуктивности (31,6 %), по сравнению с другими

вариантами опыта, на сортах мягкой пшеницы Ленинградская 6, к-64900 и тритикале Dua, к-828 определяло совместное применение полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста (0,5G:1S). Использование только полимерного гидрогеля (1G) обуславливало преимущественный рост показателей, по сравнению с контролем, на сортах Ленинградская 97, к-62935 (47,4 %) и Trizo, к-64981 (52,6 %). В варианте 1G:2S выявлены следующие тенденции роста показателей продуктивности: Ленинградская 97, к-62935 – на 31,6 %; Ленинград-

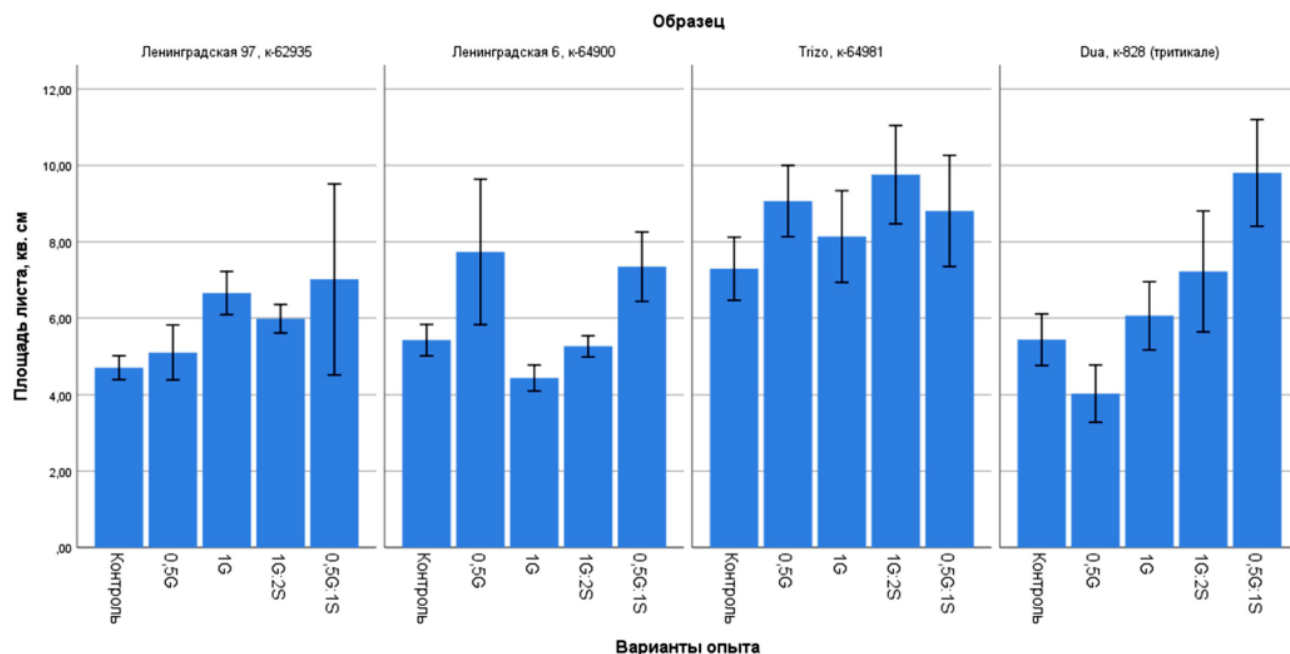


Рис. 5. Площадь флагового листа мягкой пшеницы и тритикале при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста.

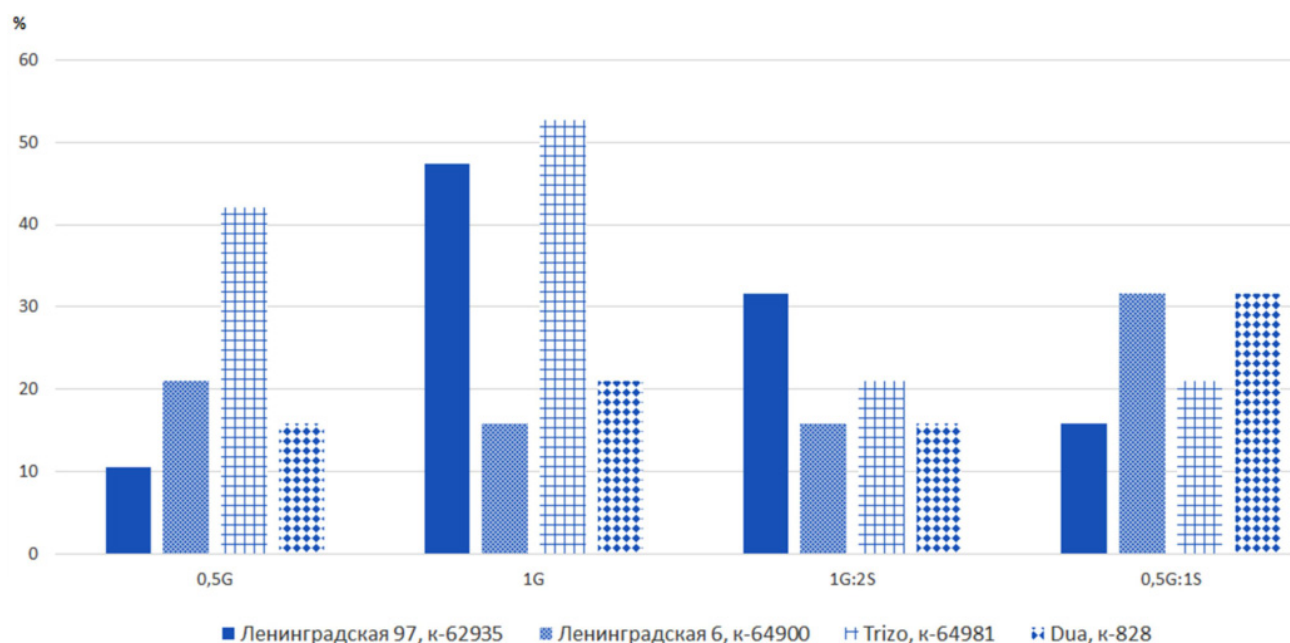


Рис. 6. Изменения (%) величин показателей продуктивности пшеницы и тритикале при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста.

ская 6, к-64900 – на 15,8 %; Trizo, к-64981 – на 21,1 %; Dua, к-828 – на 15,8 % (рис. 6).

В среднем развитие корневой гнили пшеницы и тритикале при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста (0,5G:1S) существенно снижалось, по сравнению с контролем (на 11,0 %; $t=2,4$) и другими вариантами опыта (рис. 7).

Наибольшее уменьшение развития желтой ржавчины (рис. 8) на мягкой пшенице отмечено в вариантах 0,5G:1S (сорт Ленинградская 97, к-62935 – на 30,5 %; $t=2,4$) и 1G (сорт Ленинградская 6, к-64900 – на 28,8 %;

$t=2,5$). При совместном использовании двух препаратов (0,5G:1S) на флаговых листьях сорта Ленинградская 97, к-62935 происходило достоверное, по сравнению с контролем, снижение числа полос желтой ржавчины – на 71,2 % ($t=2,3$). В варианте 1G на флаговых листьях сорта Ленинградская 6, к-64900 выявлено существенное уменьшение числа полос желтой ржавчины, по сравнению с контролем, на 52,3 % ($t=3,0$), длины полосы – на 40,9 % ($t=3,0$), числа пустул в полосе – на 68,4 % ($t=2,8$), суммарного числа пустул на лист – на 64,2 % ($t=2,3$).

Максимальное в опыте уменьшение площади пусту-

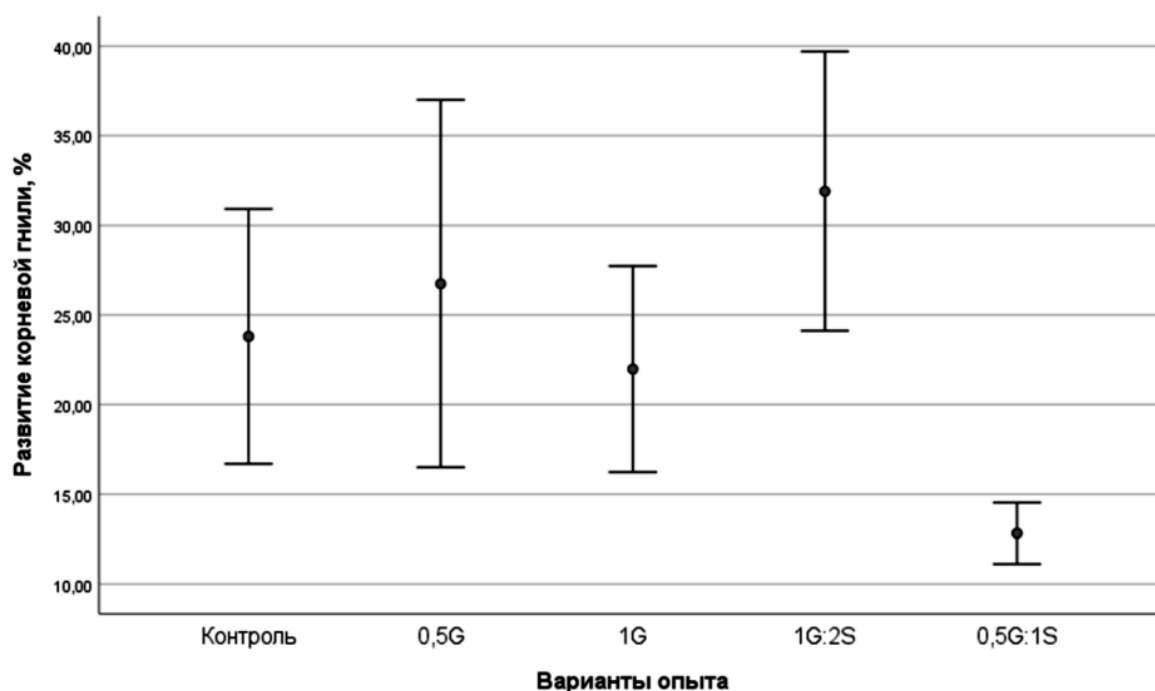


Рис. 7. Развитие корневой гнили мягкой пшеницы и тритикале при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста.

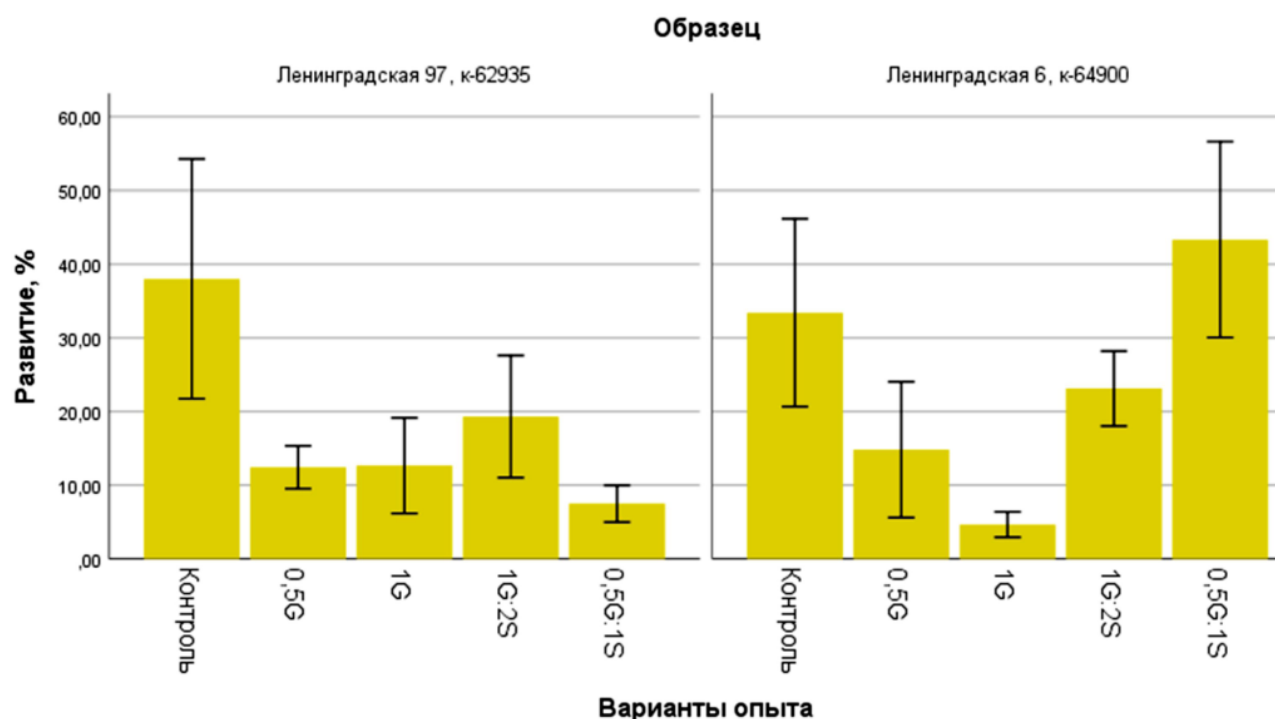


Рис. 8. Развитие желтой ржавчины на мягкой пшенице при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста.

лы желтой ржавчины (рис. 9) зарегистрировано на сорте Ленинградская 97, к-62935 в вариантах 1G (на 30,3 %; $t=2,6$) и 0,5G:1S (на 41,9 %; $t=2,3$), а также на сорте Ленинградская 97, к-62935 – в варианте 1G (на 52,4 %; $t=2,2$).

Таким образом, в результате исследований экспериментально показана перспективность использования полимерного гидрогеля на основе акрилата калия и нового белкового стимулятора роста и развития расте-

ний для повышения продуктивности и защиты растений пшеницы и тритикале от болезней. Разные дозы полимерного гидрогеля и различные его соотношения с белковым стимулятором роста обуславливали разную степень и выраженность тех или иных изменений показателей продуктивности зерновых культур. В частности, максимальное в опыте среднее увеличение урожайности пшеницы и тритикале, зарегистрированное в

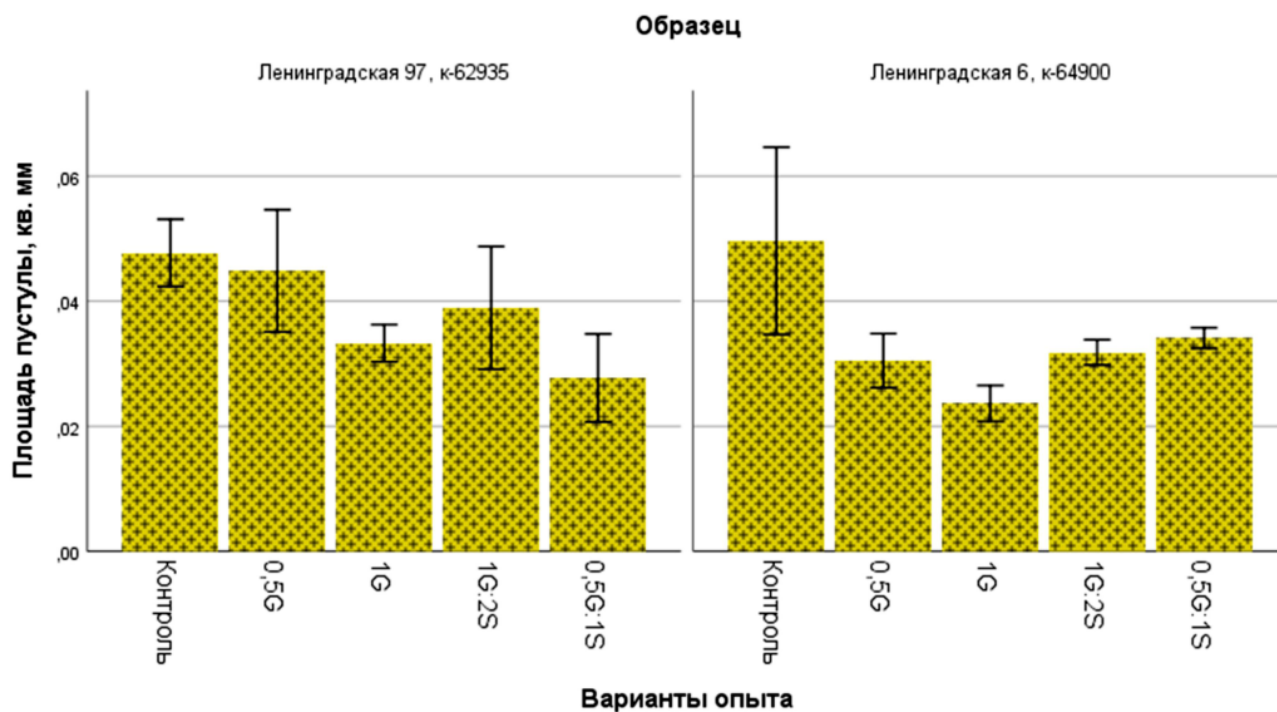


Рис. 9. Изменения значений площади пустулы желтой ржавчины на мягкой пшенице при использовании полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста.

варианте 1G:2S, может быть обусловлено наибольшим положительным воздействием полифункционального комплекса на полевую всхожесть семян (на 32,1 %; $t=6,8$), ускорение созревания пшеницы (на 9,1 %; $t=4,0$) и снижение поражения растений корневой гнилью (на 8,1 %). В то же время, при сравнительном анализе средних значений продуктивности единичного растения мягкой пшеницы и тритикале наибольшая величина этого показателя зарегистрирована при использовании только полимерного гидрогеля (1G). Это можно объяснить максимальным в опыте ростом в указанном варианте опыта, по сравнению с контролем, продуктивной кустистости (на 26,5 %; $t=2,5$); массы корней (на 68,9 %; $t=2,4$), числа узловых корней (на 52,2 %; $t=2,3$); числа колосков в колосе (на 7,7 %; $t=2,4$), а также снижением поражения растений желтой ржавчиной (степень поражения – на 9,2 %; $t=2,1$, площадь пустулы – на 39,0 %; $t=3,1$). Совместное применение полимерного гидрогеля и белкового стимулятора роста в варианте 0,5G:1S обуславливало увеличение урожайности пшеницы с единицы площади посева на 44,2 % ($t=3,1$) и оказывало преимущественное, по сравнению с другими вариантами опыта, влияние на рост общей кустистости (на 39,0 %; $t=2,2$), массы вегетативной части (на 28,9 %; $t=2,7$), площади флагового (на 45,3 %; $t=3,1$) и предфлагового листа (на 28,1 %; $t=3,2$). Кроме того, развитие корневой гнили в при использовании этой комбинации снизилось на 11 %. Внесение полимерного гидрогеля в дозе 0,5G способствовало достоверному росту урожайности пшеницы с единицы площади на 48,1 % ($t=2,7$) и с одного растения – на 31,1 % ($t=2,3$). По сравнению с контролем, в этом варианте выросла общая кустистость образцов (на 31,8 %; $t=2,2$) и полевая всхожесть (на 10,6 %; $t=2,5$). Полученные результаты свидетельствуют о наличии сортовых особенностей в реакции растений на применение изучаемых препаратов, поэтому необходимы более детальные исследования для уточнения их оптимальных доз и сочетаний.

Литература.

1. Сандухадзе Б.И. Селекция озимой пшеницы – важнейший фактор повышения урожайности и качества // *Достижения науки и техники АПК*. №11. 2010. С. 4–6.
2. Павлюшин В.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем: теория и практика // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55. № 3. С. 421–438.
3. Милащенко Н.З., Трушкин С. В. Резервы производства высококачественного зерна пшеницы в российской земледелии // *Земледелие*. 2018. № 7. С. 30–33. doi: 10.24411/0044-3913-2018-10708.
4. Горьков А.А. Агробиологическое обоснование применения биопрепаратов для озимой пшеницы // *Вестник аграрной науки*. 2019. №5(80). С. 133–139. doi: 10.15217/48484.
5. Можарова И.П., Коршунов А.А., Вознесенская Т.Ю. Влияние полифункциональных удобрений с включением гуминовых веществ, аминокислот, макро- и микроэлементов на урожайность и качество яровой и озимой пшеницы // *Агрохимический вестник*. 2018. № 6. С. 39–43. doi: 10.24411/0235-2516-2018-10058.
6. Тибирьков А.П., Филин В.И. Влияние полимерного гидрогеля и условий минерального питания на урожай и качество зерна озимой пшеницы на светло-каштановых почвах // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2012. № 3. С. 66–70.
7. Ревенко В.Ю., Агафонов О.М. Использование гидрогелей в растениеводстве // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2018. № 11-2. С. 59–65.
8. Биологическое обоснование использования белкового стимулятора роста для повышения урожайности пшеницы и оценка качества зерна методами микрофокусной рентгенографии и оптического анализа / Л.Е. Колесников, И.И. Кременевская, Н.С. Прияткин и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 3. С.21–27.
9. The biological basis for the use of protein growth stimulant made from cattle split for wheat foliar feeding and disease suppression / L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, I.E. Razumova, et al. // *Agronomy Research*. 2020. 18 (S2). P. 1336–1349. doi: 10.15159/AR.20.082.
10. Polymer acrylic hydrogels with protein filler: Synthesis and characterization / M. Baidakova, V. Sitnikova, M. Uspenskaya, et al. // *Agricultural Research*. 2019. V. 17. No. 1. P. 913–922.
11. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник / Под ред. А.А. Потехина, А.И. Ефимова. 3 изд., перераб. и доп. Л.: Химия, 1991. 432 с.
12. Кременевская М.И., Кременевская В.С., Соснина В.А. Способ получения белкового продукт / Патент РФ № 2662782. 31.07.2018. Бюл. 16.
13. Пополнение, сохранение в живом виде и изучение мировой коллекции пшеницы, эгилопса и тритикале: методические указания / А.Ф. Мережко, Р.А. Удачин, Е.В. Зуев и др. Санкт-Петербург: ВИР, 1999. 81 с.
14. Multifunctional biologics which combine microbial antifungal strains with chitosan improve soft wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and grain quality / L.E. Kolesnikov, E.V. Popova, I.I. Novikova, et al. // *Agricultural Biology*. 2019. Vol. 54. No. 5. P. 1024–1040.
15. Estimation of the Efficiency of the Combined Application of Chitosan and Microbial Antagonists for the Protection of Spring Soft Wheat from Diseases by Spectrometric Analysis / L.E. Kolesnikov, I.I. Novikova, V.G. Surin, et al. // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2018. 54(5). P. 546–552.
16. Popov Y.V. Method for the estimation of the root rots development in cereals. *Plant protection and quarantine*. 2011. № 8. С.45–47.
17. Гешеле Э.Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. М.: Колос. 1978. 53 с.
18. The effectiveness of biopreparations in soft wheat cultivation and the quality assessment of the grain by the digital x-ray imaging / L.E. Kolesnikov, I.I. Novikova, E.V. Popova, et al. // *Agronomy Research*. 2020. Vol. 18. No. 4. P. 2436–2448. doi: 10.15159/AR.20.206.

Поступила в редакцию 02.03.2021

После доработки 08.04.2021

Принята к публикации 30.04.2021

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ОСВЕЩЕНИЯ НА РЕГЕНЕРАЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ КАЛЛУСА РИСА *Oryza sativa* L., ПОЛУЧЕННОГО В АНДРОГЕНЕЗЕ *IN VITRO*

М.В. Илюшко, кандидат биологических наук,
М.В. Ромашова, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки,
692539, Приморский край, п. Тимирязевский, ул. Воложенина, 30
E-mail: ilyushkoiris@mail.ru

Исследования проводили с целью изучения влияния интенсивности и качества освещения на регенерационные процессы каллуса риса *Oryza sativa* L. для оптимизации процесса андрогенеза *in vitro*. Работу выполняли на растениях сортов Каскад и Алмаз, а также гибрида F₂ Рассвет×Окси 2х. Для освещения каллусов на регенерационной среде использовали два типа светодиодных светильников: с белым светом (цветовая температура 6500K, что соответствует спектру полуденного солнечного света) и фиолетовым светом (излучает длины волн 400, 430, 660 и 730 нм). Схема опыта включала следующие варианты: белый свет 4200 лкс; белый+фиолетовый в соотношении 3/1, 3900 лкс; фиолетовый свет 3600 лкс; белый интенсивный свет 7500 лкс. Интенсивность и качество освещения одинаково влияли на индукцию морфогенного каллуса и число регенерантов на каллус. Спонтанное удвоение хромосом происходило, в том числе в световую стадию развития каллуса. Качество освещения воздействует на формирование удвоенных гаплоидов разных генотипов неоднозначно. Белый интенсивный свет способствует образованию высокоплоидных растений у всех изученных генотипов: 44,4...54,0 % удвоенных гаплоидов и 1,2...38,9 % тетраплоидов. При освещении и с использованием фиолетовых светильников у сорта Алмаз и гибрида удвоенных гаплоидов образуется более 60,0 %, у сорта Каскад – 26,1... 31,8 %. Для получения гарантированно высокого (49,4 %) числа продуктивных регенерантов целесообразно использовать белый интенсивный тип освещения.

EFFECT OF LIGHT INTENSITY AND QUALITY ON RICE *Oryza sativa* L. REGENERATION FROM CALLUS, GENERATED THROUGH *IN VITRO* ANDROGENESIS

Ilyushko M.V., Romashova M.V.

Federal Scientific Centre of Agrobiotechnology of the Far East named A.K. Chaika,
692539, Primorskiy kray, p. Timiryasevskiy, ul. Volozhenina, 30
E-mail: ilyushkoiris@mail.ru

To optimize the process of *in vitro* androgenesis, the influence of light intensity and quality on regeneration processes of the rice *Oryza sativa* L. callus was studied. The work was carried out on plants of the varieties Kaskad, Almaz and the F₂ hybrid Rassvet×Oxy 2x. To lighting calli on a regeneration medium two types of LED lamps were used: with white light (color temperature 6500K, which corresponds to the spectrum of midday sunlight) and violet light (emitting wavelengths of 400, 430, 660 and 730 nm). Experimental options: white light 4200 lux; white+violet light in the 3/1ratio, 3900 lux; violet light 3600 lux; intense white light 7500 lux. The light intensity and quality equally affect the induction of morphogenic callus and the number of regenerants per callus. Spontaneous chromosome duplication occurs during the light stage of callus development. The quality of lighting has an ambiguous effect on the doubled haploids formation of different genotypes. Intense white light contributes to the formation of highly ploid plants in all genotypes: 44.4 ... 54.0% of doubled haploids and 1.2 ... 38.9% of tetraploids. When lighting with using violet lamps, the Almaz variety and the hybrid produce more than 60.0% of doubled haploids, while the Kaskad variety decreases to 26.1 ... 31.8%. To obtain a guaranteed high (49.4%) number of doubled haploids, it is advisable to use intense white type of lighting.

Ключевые слова: *Oryza sativa*, андрогенез *in vitro*, освещение, каллус, регенерация, удвоенные гаплоиды

Key words: *Oryza sativa*, *in vitro* androgenesis, lighting, callus, regeneration, doubled haploids

Андрогенез в условиях *in vitro* – процесс формирования спорофитных растений из недозрелого гаметофита, приводящий к образованию гаплоидов. В результате спонтанного удвоения в течение одной генерации образуются полностью гомозиготные линии удвоенных гаплоидов, что позволяет ускорить селекционный процесс многих важнейших продовольственных культур на несколько лет [1, 2, 3]. Известные лаборатории на разных континентах поддерживают широкомасштабную индукцию гаплоидов, а некоторые из них даже предлагают производство регенерантных растений под заказ по доступной цене для интенсификации селекционного процесса [3]. Массовые работы допускают оптимизацию существующих подходов в андрогенезе *in vitro*. Кроме того, в пределах всех видов растений возможно наличие труднокультивируемых перспективных генотипов, для которых необходим по-

иск новых типов воздействия на гаметофит для запуска спорофитной программы развития недозрелых микроспор [4, 5].

Свет оказывает решающее влияние на морфогенетические ответы в культуре *in vitro* [6]. Однако известно небольшое число работ, посвященных изучению воздействия освещенности на андрогенез *in vitro* [7]. Установлено влияние качества и интенсивности освещения на растения-доноры в культуре пыльников *in vitro* зерновых [3, 8, 9]. Индукция каллусообразования различных культур проходит в темноте или при очень слабом освещении [3, 10, 11]. Для риса освещение в разных режимах дня и ночи допустимо, однако каллусообразование при этом уменьшается [11]. Отмечено негативное воздействие синего света на каллусообразование *Citrus clementine* Hort. ex Tan. [7]. После переноса каллуса на регенерационную среду рекомендовано слабое искус-

ственное освещение [10]. Для пшеницы предложено комбинированное освещение каллуса в период регенерации: 15 дней темноты, затем 7 дней слабого света, далее высокоинтенсивное освещение [8].

В мире и Российской Федерации достигнуты значительные успехи в селекции риса *Oryza sativa* L. с использованием андрогенеза *in vitro* [10, 12, 13], опубликован ряд обзорных работ, посвященных особенностям создания удвоенных гаплоидов культуры, что свидетельствует о значительном интересе к этому направлению исследований [11, 12, 14]. Однако вопрос воздействия освещения на уже индуцированный каллус, перенесенный на регенерационную среду, изучен недостаточно.

Цель исследования – определить влияние интенсивности и качества освещения на регенерационные процессы в андрогенном каллусе риса для создания удвоенных гаплоидов и последующего их использования в селекционном процессе.

Методика. Работу проводили на растениях сортов риса Каскад и Алмаз, а также гибрида F_2 Рассвет×Окси 2х. В культуру *in vitro* было введено соответственно 1016, 1002 и 348 пыльников. Растения доноры выращивали в климатической камере при температуре 21 °С, влажности 60 %, интенсивности освещения 15000 лкс, режиме освещения день – 16 ч, ночь – 8 ч. Холодовую обработку пыльников, культивирование пыльников, каллусов и регенерантов в условиях *in vitro* проводили согласно методике, изложенной ранее [15], их перенос на питательную среду для регенерации осуществляли в порядке, представленном в работе [16].

Для освещения каллусов на регенерационной среде использовали два типа светодиодных светильников: с белым светом (цветовая температура 6500 К, что соответствует спектру полуденного солнечного света) и фиолетовым светом (излучает длины волн 400 нм, 430 нм, 660 нм и 730 нм) [17]. Схема опыта предусматривала четыре варианта: белый свет, 4200 лкс; белый+фиолетовый в соотношении 3/1, 3900 лкс; фиолетовый свет, 3600 лкс; белый интенсивный свет, 7500 лкс. Интенсивность освещения регистрировали люксметром Ю116. Во избежание затенения штативы с пробирками располагали на расстоянии не менее 30 см один от другого.

Зеленые регенеранты R0 с развитой корневой системой пересаживали в горшки и продолжали выращивать в культуральной комнате. Порядок разделения зеленых регенерантов на группы указан в публикации [20].

Статистические параметры (средние значения признака ($\bar{x}$), коэффициент вариации (C_v), непараметрические критерии достоверности различий вариационных рядов Крускал-Уоллиса (H) и хи-квадрат (χ^2)) рассчитывали с использованием программы Statistica.

Результаты и обсуждение. Каллусообразование у сорта Каскад составило 12,8 %, Алмаз – 6,2 %, гибрида Рассвет×Окси 2х – 15,8 %, соответственно.

Отмечена тенденция к увеличению числа каллусов с зелеными регенерантами при комбинированном типе освещения. В варианте белый + фиолетовый образовалось максимальное в опыте их число при использовании всех изучаемых генотипов. Однако различия между вариантами не достоверны (табл. 1). У культур, образующих каллус в андрогенезе *in vitro*, к числу которых относится рис [10], отсутствует значительная гаметокарональная изменчивость удвоенных гаплоидов одного пыльника. Вследствие митотического деления каллуса происходит истинное клонирование ограниченного числа генотипов (часто только одного), обра-

Табл. 1. Число каллусов с зелеными регенерантами в андрогенезе *in vitro* риса *Oryza sativa* L. при разных типах освещения

Показатель	Тип освещения			
	белый	белый + фиолетовый	фиолетовый	белый интенсивный
Сорт Каскад				
Всего, шт.	30	34	30	36
Число каллусов с зелеными регенерантами, шт.	17	20	16	17
Доля каллусов с зелеными регенерантами, %	57	59	53	47
χ^2	0,03...0,94; при p>0,33			
Сорт Алмаз				
Всего, шт.	16	14	16	16
Число каллусов с зелеными регенерантами, шт.	4	6	4	5
Доля каллусов с зелеными регенерантами, %	25	43	25	31
χ^2	0,00...1,07; при p>0,30			
Гибрид Рассвет×Окси 2х				
Всего, шт.	14	14	13	14
Число каллусов с зелеными регенерантами, шт.	8	11	8	8
Доля каллусов с зелеными регенерантами, %	57	79	62	57
χ^2	0,00...1,47; при p>0,23			

зовавшихся на пыльнике [18]. В андрогенезе *in vitro* важно получить как можно большее количество каллусов с морфогенетическими ответами, так как это расширяет разнообразие регенерантов, необходимое для селекции.

В эксперименте сформировалось 2868 зеленых регенерантов. Тип освещения не влиял на среднее число регенерантов на каллус (табл. 2). Исключение составил сорт Алмаз, у которого величина этого показателя при белом и фиолетовом типах освещения составила соответственно 17,5 и 13,3 шт., что достоверно ($p=0,04$) выше, чем при комбинированном (4,5 шт.) и белом интенсивном освещении (3,6 шт.).

Для селекционера, в конечном итоге, важно не столько общее число регенерантов, сколько выход спонтанно удвоенных гаплоидов. Их доля у разных исследователей варьирует от 25 до 95 % [1, 19]. Тип освещения влиял на величину этого показателя разнонаправленно (см. рисунок). Наиболее ярко это проявилось при фиолетовом освещении, когда у сорта Алмаз и гибрида отмечали наибольшее количество удвоенных гаплоидов (67,9 % и 63,8 % соответственно), а у сорта Каскад оно было самым низким (26,1%). При белом и комбинированном освещении значительное варьирование доли удвоенных гаплоидов среди регенерантов риса сохранялось – 34,3...52,8 % и 31,8...62,7 % соответственно. Более стабильное и высокое количество удвоенных гаплоидов формировалось при белом интенсивном освещении – 44,3...54,0 %. Попарное сравнение с использованием χ^2 подтвердило значимое

Табл. 2. Число регенерантов на каллусах в андрогенезе *in vitro* риса *Oryza sativa* L. при разных типах освещения

Показатель	Тип освещения			
	белый	белый + фиолетовый	фиолетовый	белый интенсивный
Сорт Каскад				
Среднее число регенерантов на каллус, шт.	17,9	14,7	19,4	10,7
Максимальное число регенерантов на каллус, шт.	128	65	73	71
Н для всех каллусов	2,49; при p=0,48			
Н только для каллусов с зелеными регенератами	3,56; при p=0,31			
Сорт Алмаз				
Среднее число регенерантов на каллус, шт.	3,8	1,3	3,9	1,6
Максимальное число регенерантов на каллус, шт.	31	5	28	12
Н для всех каллусов	0,25; при p=0,97			
Н только для каллусов с зелеными регенератами	8,62; при p=0,04			
Гибрид Рассвет×Окси 2х				
Среднее число регенерантов на каллус, шт.	9,2	13,0	15,8	13,2
Максимальное число регенерантов на каллус, шт.	37	54	75	86
Н для всех каллусов	1,73; при p=0,19			
Н только для каллусов с зелеными регенератами	2,1; при p=0,55			

превышение числа удвоенных гаплоидов при фиолетовом освещении над белым у сорта Алмаз и гибрида ($p<0,04$). У сорта Каскад при белом и белом интенсивном свете отмечали достоверно большее образование удвоенных гаплоидов, чем при обоих типах освещения с фиолетовыми светодиодами ($p<0,00001$).

В исследованиях влияния освещения этих же светодиодных ламп на микроклонирование *in vitro* безвирусного картофеля [17] было показано неоднозначное действие качества света (белого и комбинированного) на интенсивность размножения 14 сортов, на основании чего был сделан вывод о необходимости индивидуального подбора освещения для каждого генотипа. При этом вегетативное размножение картофеля позволяет проводить повторные исследования с одним и тем же сортом. В ходе селекции риса ученые чаще имеют дело с уникальным генотипом гибрида, регенеранты которого необходимо перевести в гомозиготное состояние, и возможность репликации опыта отсутствует. В лучшем случае, остается несколько семян одной гибридной комбинации, которые так же не идентичны. Поэтому для гарантированно высокого, пусть и не максимального, но стабильного результата предпочтительней использовать белый интенсивный свет, при котором половину зеленых регенерантов составляют удвоенные гаплоиды.

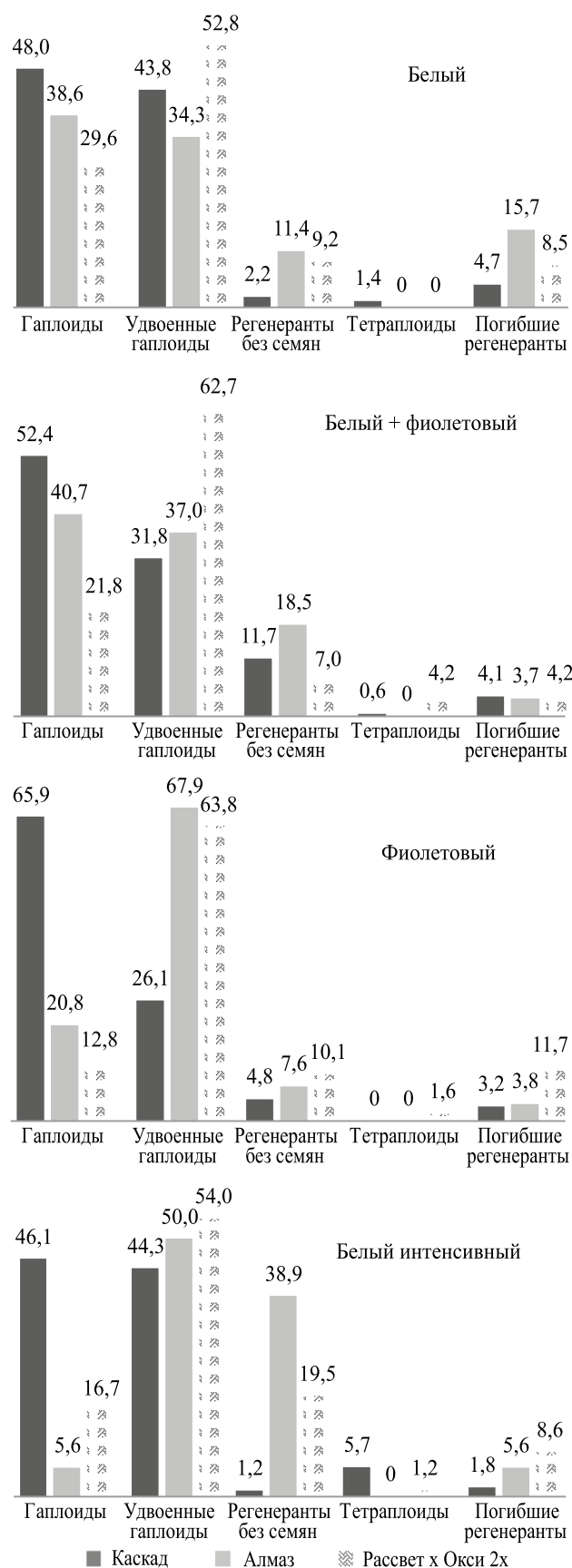
Наши данные подтверждают мнение других исследователей [1, 19] о зависимости способности к спонтанному удвоению числа хромосом от генотипа. В опыте при фиолетовом освещении доля удвоенных га-

плоидов сорта Каскад (21,6 %) была ниже ($p=0,00001$), чем сорта Алмаз и гибридного растения, на 46,3 и 42,2 % соответственно. При комбинированном освещении на сорте Каскаде сформировалось 31,8 % удвоенных гаплоидов, что меньше, чем у гибрида, на 30,9 % ($p=0,00001$).

Кроме спонтанного удвоения хромосом в андрогенных каллусах происходят хромосомные изменения иного порядка – образуются триплоидные, тетраплоидные, пентаплоидные, анеуплоидные клетки [20], что приводит к образованию тетраплоидов и растений без семян [1, 18, 21]. Тип освещения влиял на образование подобных регенерантов так же разнонаправленно. На сорте Каскад при белом освещении отмечали тетраплоидные формы, а при фиолетовом они отсутствовали, $p=0,0043$ (см. рисунок). Белый интенсивный свет способствовал кратному увеличению хромосом с образованием тетраплоидных растений (5,7 %), при трех других типах освещения их формировалось достоверно меньше (0,0...1,4 %, $p<0,0006$). Бессемянных растений при белом интенсивном освещении (1,2 %) было меньше ($p<0,04$), чем при фиолетовом (4,8 %) и белом+фиолетовом (11,7 %) свете. Среди регенерантов, полученных от гибридного растения, при белом освещении тетраплоидов не выявлено. На белом интенсивном освещении бессемянных растений (19,5 %) было достоверно больше, чем в трех других вариантах опыта, на 9,4...12,5 % ($p<0,01$). Это свидетельствует о генотипической зависимости полиплоидных и анеуплоидных изменений в андрогенезе *in vitro*.

На сорте Алмаз тетраплоидные растения не зарегистрированы. Доля бессемянных растений была на много больше, чем в вариантах с другими генотипами, и достигала 7,6...38,9 % (см. рисунок). При белом интенсивном освещении она достоверно возростала, по сравнению с белым и фиолетовым освещением ($p<0,008$).

При сравнении сортов Каскад и Алмаз без учета освещения очевидна разница в их андрогенетических ответах *in vitro*: каллусообразование у Каскада выше в 2 раза, а регенерация в 6 раз. Влияние генотипа на эти процессы доказано [10, 11]. Размах варьирования признаков у регенерантов одного генотипа, полученных в культуре *in vitro*, изучен недостаточно. Известно, что уровень генетической дивергенции у соматических регенерантов *Pisum sativum* L. зависит от исходного генотипа [22]. У риса в андрогенезе *in vitro* выявлен внутриклеточный генетический полиморфизм и изменчивость морфологических признаков, варьирующих в разной степени на разных пыльниках одного гибрида [18]. Генетическая нестабильность сорта Алмаз в культуре *in vitro* проявилась в образовании большой доли бессемянных растений, среди которых были в основном высокоплоидные генотипы [21]. Видимо, возникли хромосомные нарушения, препятствующие нормальному мейотическому делению при образовании мега- и микроспор, что привело к их полной стерильности. Высокоплоидные формы риса (тетраплоиды) в обычных условиях характеризуются низкой фертильностью пыльцы [23], в андрогенезе *in vitro* образуются в небольшом количестве [16, 21, 24], но не во всех случаях [1]. Таким образом, размах изменчивости регенерантов риса сорта Алмаз, выше, чем у сорта Каскад, по косвенной цитометрической оценке. Низкая интенсивность каллусообразования и морфогенеза может быть связана не только с наличием генов, детерминирующих андрогенетические ответы [25], но и с цитологическими особенностями растения-донора, а также хромосомными преобразованиями, несовместимыми с



Регенеранты в андрогенезе *in vitro* риса *Oryza sativa* L. при разных типах освещения, %.

нормальным митотическим делением каллусных клеток в культуре *in vitro*.

Спонтанное гаплоидное геномное удвоение (spontaneous haploid genome duplication – SHGD), приводящее к образованию удвоенных гаплоидов, триплоидов и тетраплоидов в андрогенезе *in vitro*, по мнению одних авторов происходит на очень ранних стадиях эбриогенеза [1], другие считают, что SHGD возможно на различных стадиях культивирования *in vitro*, включая каллусогенез, дифференциацию каллуса и эмбриогенез [12]. Механизмы SHGD остаются дискуссионными [1, 26]. После переноса каллуса из темноты на свет происходит его значительное разрастание с последующим морфогенезом. Выявленные различия в доле удвоенных гаплоидов и тетраплоидов при разных типах освещения у двух сортов и гибрида свидетельствует в пользу довольно позднего процесса SHGD на стадии дифференциации каллуса.

Решающую роль при выборе технологии создания культивируемых растений играет экономическая эффективность. Светодиодные светильники имеют очевидные преимущества перед традиционными люминесцентными лампами, в том числе ценовые [6, 17]. Среди разнообразия светодиодов, фитолампы с ограниченными длинами волн (фиолетовый свет) в два раза дороже ламп белого света. Отсутствие очевидных преимуществ в вариантах опыта по изученным сортам и гибриду позволяет рекомендовать применение освещения любого типа. В этом случае для масштабного применения в андрогенезе *in vitro* экономически оправдано использование светильников белого света.

Таким образом, изученные варианты интенсивности и качества освещения одинаково влияют на величины таких показателей, как число морфогенных каллусов и регенерантов на каллус. Спонтанное удвоение хромосом происходит, в том числе, в световую стадию развития каллуса. Качество освещения воздействует на формирование удвоенных гаплоидов разных генотипов неоднозначно. Белый интенсивный свет способствует формированию высокоплоидных растений. Для получения гарантированно высокого, хотя и не максимального, числа продуктивных регенерантов целесообразно использовать белый интенсивный тип освещения. В этом случае спонтанное удвоение происходит у половины (49,4 %) всех регенерантов. При наличии нескольких семян одной труднокультивируемой гибридной комбинации риса целесообразно каллус части из них в андрогенезе *in vitro* освещать фиолетовым светом. В широкомасштабных исследованиях экономически оправдано использование белого интенсивного освещения.

Литература.

1. Ahmadi B., Ebrahimzadeh H. *In vitro* androgenesis: spontaneous vs. artificial genome doubling and characterization of regenerants // *Plant Cell Reports*. 2020. Vol. 39. P. 299–316.
2. Niazian M., Shariatpanahi M.E. *In vitro*-based doubled haploid production: recent improvements // *Euphytica*. 2020. Vol. 216. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10681-020-02609-7> (дата обращения: 19.10.2020). doi: 10.1007/s10681-020-02609-7.
3. *Haploids: constraints and opportunities in plant breeding* / S.L. Dwivedi, A.B. Britt, L. Tripathi, et al. // *Biotechnology Advances*. 2015. Vol. 33. No. 6. P. 812–829. doi: 10.1016/j.biotechadv.2015.07.001.
4. Goncharova Y.K., Vereshchagina S.A., Gontcharov S.V. *Nutrient media for double haploid production in anther*

- culture of rice hybrids // *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. 2019. Vol. 20 (23-24). P. 1215–1223.
5. Esteves P., Belzile F.J. TDZ in cereal gametic embryogenesis // N. Ahmad, M. Faisal (eds.). *Thidiazuron: from urea derivative to plant growth regulator*. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2018. P. 159–174.
6. The Effect of multispectral light emitting diodes (LEDs) on the activation of morphogenic processes in cell culture of rice *Oryza sativa* L. // Y.N. Kulchin, V.N. Zmeeva, E.P. Subbotin, et al. / *Defect and Diffusion Forum*. 2018. Vol. 386. P. 236–243.
7. The effect of light quality on anther culture of *Citrus clementine* Hort. ex Tan. / M.A. Germana, B. Chiancone, C. Iacona, et al. // *Acta Physiologiae Plantarum*. 2005. Vol. 27. N 4B. P. 717–721.
8. Ekiz H., Konzak C.F. Effect of light regimes on anther culture response in bread wheat // *Plant Cell Tissue and Organ Culture*. 1997. Vol. 50. P. 7–12.
9. Клицов С.В., Попова О.В., Трусова Ю.В. Интеграция световой обработки в технологию получения дигамплоидов озимой пшеницы // *Земледелие и растениеводство*. 2015. Т. 29. № 12. С. 27–29.
10. Mishra R., Rao G.J.N. In-vitro androgenesis in rice: advantages, constraints and future prospects. // *Rice Science*. 2016. Vol. 23(2). P.57–68.
11. Exploring factors affecting anther culture in rice (*Oryza sativa* L.) / S.K. Tripathy, D. Swain, P.M. Mohapatra, et al. // *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. 2019. Vol. 7(02). P. 87–92.
12. Sarao N.K., Gosal S.S. In vitro androgenesis for accelerated breeding in rice // S.S. Gosal, S.H. Wani (eds.). *Biotechnologies of Crop Improvement*. Vol. 1. Cellular Approaches. Switzerland: Springer International Publishing AG, 2018. P. 407–435.
13. Гончарова Ю.К. Генетические основы повышения продуктивности риса. Краснордар: ФГБНУ ВНИИ риса, Просвещение-Юг, 2015. 314 с.
14. Hoogvorst I., Ribas P., Nogues S. Chromosome doubling of androgenic haploid plantlets of rice (*Oryza sativa*) using antimetabolic compounds // *Plant Breeding*. 2020. Vol. 139. No. 4. P. 754–761. doi: 10.1111/pbr.12824
15. Илюшко М.В., Ромашова М.В. Регенерационная способность каллусных трансплантантов риса в культуре пыльников *in vitro* // *Аграрный вестник Приморья*. 2018. № 1(9). С. 3–7.
16. Илюшко М.В., Ромашова М.В. Формирование тетраплоидов риса в андрогенезе *in vitro* // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 3. С. 14–17.
17. Барсукова Е.Н., Чибизова А.С. Влияние спектра светодиодного освещения на процесс микроклонального размножения безвирусных растений картофеля различных сортов // *Аграрный вестник Приморья*. 2019. № 1(13). С. 18–22.
18. Внутрикалусная изменчивость удвоенных гаплоидов риса, полученных в андрогенезе *in vitro* / М.В. Илюшко, М.В. Ромашова, J.-M. Zhang и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55. № 3. С. 533–543.
19. Получение дигамплоидных линий для селекции глютинозного риса / И.А. Сартбаева, Б.Н. Усенбеков, А.Б. Рыбекова и др. // *Биотехнология*. 2018. Т. 34. № 2. С. 26–36.
20. Chen C.C., Chen C.-M. Changes in chromosome number in microspore callus of rice during successive subcultures // *Canadian Journal of Genetic and Cytology*. 1980. Vol. 22. P. 607–614.
21. Илюшко М.В., Скапцов М.В., Ромашова М.В. Содержание ядерной ДНК в регенерантах риса, полученных в культуре пыльников *in vitro* // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53. №3. С. 531–538.
22. Исследование растений-регенерантов гороха (*Pisum sativum* L.) с помощью молекулярных RAPD- и ISSR-маркеров / О.И. Кузнецова, О.А. Аш, Г.А. Харитонов и др. // *Генетика*. 2005. Т. 41. №1. С. 71–77.
23. A comparative cytogenetic study of the rice (*Oryza sativa* L.) autotetraploid restorers and hybrids / L. Luan, X. Wang, W.B. Long, et al. // *Генетика*. 2009. Т. 4. № 9. С. 1225–1233.
24. Development and characterization of elite doubled haploid lines from two Indica rice hybrids / R. Mishra, G.J.N. Rao, R.N. Rao, et al. // *Rice Science*. 2015. Vol. 22(6). P. 290–299.
25. Гончарова Ю.К. Наследование признака «отзывчивость на культуру пыльников» у риса // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2008. № 2. С. 40–42.
26. Cellular dynamics during early barley pollen embryogenesis revealed by time-lapse imaging / D.E.S. Daghma, G. Hensel, T. Rutten, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2014. Vol. 5. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2014.00675/full> (дата обращения: 16.05.2020). doi: 10.3389/fpls.2014.00675.

Поступила в редакцию 24.12.2020

После доработки 18.02.2021

Принята к публикации 30.04.2021

Агропочвоведение и агроэкология

УДК 614.876:631/635:631.95:631.4

DOI:10.31857/S2500262721030091

**РЕАБИЛИТАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ
ПРИ МАСШТАБНОМ РАДИОАКТИВНОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ
(К 35-ЛЕТИЮ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС)**

А.В. Панов, доктор биологических наук, **А.Н. Ратников**, доктор сельскохозяйственных наук,
Д.Г. Свириденко, кандидат биологических наук, **Н.Н. Исамов**, кандидат биологических наук,
П.Н. Цыгвинцев, кандидат биологических наук

*Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии,
249032, Обнинск, Калужская обл., Киевское ш., 109 км
E-mail: riar@mail.ru*

Цель работы – обобщение 35-летнего опыта реабилитации сельскохозяйственных земель, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС. В России площадь сельскохозяйственных угодий, загрязненных основным радиологически значимым радионуклидом ^{137}Cs , составила 2,3 млн га, преимущественно на территориях Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей. На сегодняшний день в результате распада ^{137}Cs площадь радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных земель в наиболее пострадавших от аварии областях сократилась в среднем на 65 %. Снижение плотностей загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий до уровня менее 37 кБк/м² (1 Ки/км²) в Калужской, Орловской и Тульской областях произойдет к 2090 г., в Брянской области – не ранее 2180 г. Представлены периодизация и отличия в объемах применения организационных, агротехнических и агрохимических защитных мероприятий в сельском хозяйстве по зонам радиоактивного загрязнения. Внедрение научно-обоснованной системы защитных и реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве в значительной степени обеспечило возможность производства аграрной продукции, соответствующей радиологическим стандартам. Через 35 лет после аварии на ЧАЭС лишь в пяти юго-западных районах Брянской области отмечается превышение радиологических нормативов в части производимых кормов (4...15 % проб), молоке (4...8 %) и говядине (5...8 %). В наиболее критических хозяйствах превышение нормативов по содержанию ^{137}Cs в продукции животноводства будет наблюдаться минимум до 2030 г. Проблемы реабилитации сельского хозяйства после аварии на ЧАЭС носят длительный и комплексный характер, при их решении необходимо учитывать уровни радиоактивного загрязнения сельскохозяйственных угодий, почвенные характеристики земель, а также хозяйственные особенности территорий.

**AGRICULTURAL LAND REMEDIATION DURING LARGE SCALE
RADIOACTIVE CONTAMINATION
(TO THE 35th ANNIVERSARY OF THE CHERNOBYL NPP ACCIDENT)**

Panov A.V., Ratnikov A.N., Sviridenko D.G., Isamov N.N., Tsygvintsev P.N.

*Russian Institute of Radiology and Agroecology,
249032, Obninsk, Kaluzhskaya obl., Kievskoe sh., 109
E-mail: riar@mail.ru*

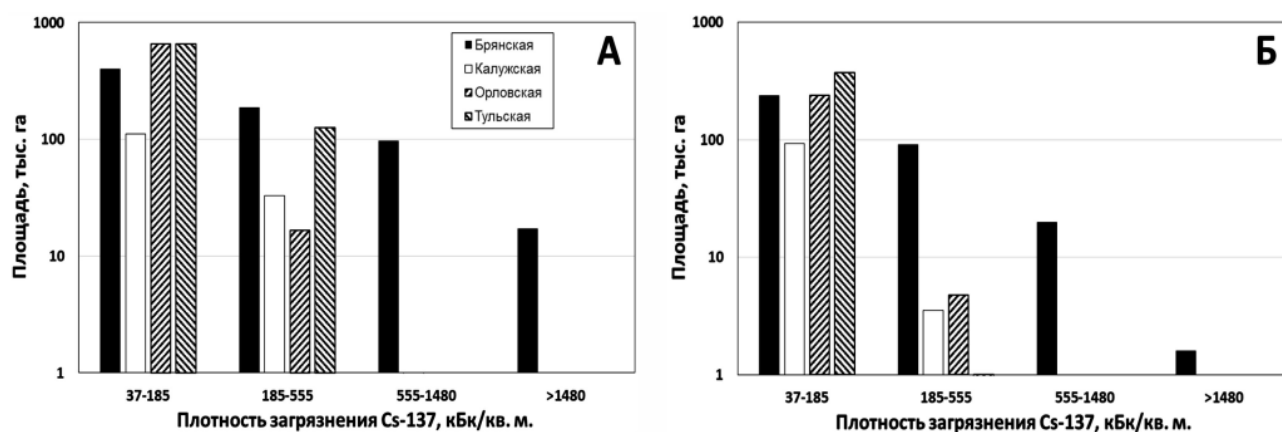
The aim of this article is to review of 35 years' experience in the remediation of agricultural lands exposed to radioactive contamination as a result of the Chernobyl NPP accident. In Russia, the area of agricultural land contaminated with the main radiologically significant radionuclide – ^{137}Cs amounted to 2.3 million hectares, mainly in the Bryansk, Kaluga, Tula and Oryol regions. To date, as a result of the ^{137}Cs decay, the area of radioactively contaminated agricultural land in the regions most affected by the accident has decreased by an average of 65 %. A decrease in the ^{137}Cs contamination density of agricultural land to a level of less than 37 kBq/m² (1 Ci/km²) in the Kaluga, Oryol and Tula regions will occur by 2090, in the Bryansk region – not earlier than 2180. The periodization and differences in the scope of organizational, agrotechnical and agrochemical countermeasures application in agriculture by zones of radioactive contamination are presented. The implementation of a scientifically based system of countermeasures in agriculture has largely contributed to the production of farm products that comply with radiological standards. 35 years after the Chernobyl NPP accident, only in five south-western districts of the Bryansk region exceeded the radiological standards in terms of produced feed (4...15 % of samples), milk (4...8 %) and beef (5...8 %). In the most critical farms, the ^{137}Cs content in livestock products will be exceeded at least until 2030. The problems of agricultural remediation after the Chernobyl NPP accident are of a long and complexity, in solving which it is necessary to take into account the levels of radioactive contamination of agricultural land, soil characteristics, as well as economic features of rural areas.

Ключевые слова: авария на Чернобыльской АЭС, радиоактивное загрязнение, сельскохозяйственное производство, радиационный мониторинг и контроль, защитные мероприятия, реабилитация, прогнозирование

Key words: Chernobyl NPP accident, radioactive contamination, agribusiness, radiation monitoring and control, countermeasures, remediation, prognosis

Авария на Чернобыльской АЭС, произошедшая 26 апреля 1986 г. – крупнейшая катастрофа в истории мировой ядерной энергетики. Она привела к масштабному радиоактивному загрязнению территории не только бывшего СССР (в наибольшей степени России, Украины и Беларуси), но и ряда государств Европы. В Российской Федерации площадь загрязнения ^{137}Cs (основным радиологически значимым радионуклидом) с

плотностью выше 37 кБк/м² (1 Ки/км²) составила 57,9 тыс. км² [1, 2, 3]. Наибольшие уровни радиоактивного загрязнения были зафиксированы в четырех областях: Брянской, Калужской, Тульской и Орловской [4]. Значительная часть загрязненных ^{137}Cs территорий относилась к землям сельскохозяйственного назначения, на которых велось активное агропромышленное производство [5, 6].



Динамика площадей сельскохозяйственных угодий 4-х областей России, загрязненных ^{137}Cs : А – 1987 г., Б – 2019 г. (по данным Брянского, Калужского, Тульского, Плавского, Орловского и Верховского центров химизации и сельскохозяйственной радиологии МСХ РФ)

Авария на ЧАЭС привела к очень тяжелым последствиям для сельского хозяйства в регионах с высоким уровнем радиоактивного загрязнения. На отдельных территориях плотность загрязнения сельскохозяйственных угодий ^{137}Cs была настолько высокой, что исключала возможность использования производимой продукции растениеводства и животноводства [5]. Помимо ^{137}Cs , большую роль в дозоформировании играли биологически подвижные ^{90}Sr и ^{131}I (в первые недели после аварии), которые интенсивно мигрируют по сельскохозяйственным цепочкам. Важная характеристика территории, в наибольшей степени подвергшейся воздействию аварии на ЧАЭС, – почвенные условия. Так, на юго-западе Брянской области преобладают малоплодородные почвы (песчаные, супесчаные) с низкой сорбционной способностью, что повлияло на повышенную миграцию радионуклидов и их высокое накопление в сельскохозяйственной продукции. Кроме того, авария произошла в период, когда посев сельскохозяйственных культур практически завершился, а скот перевели на пастбища, в результате чего производимая продукция оказалась под значительным радиационным воздействием [6]. Учитывая перечисленные особенности, разработка и освоение научно-обоснованной системы защитных мероприятий в сельском хозяйстве после аварии на ЧАЭС стали одним из ключевых направлений реабилитации территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению [7, 8].

Цель работы – краткое обобщение опыта, накопленного при преодолении последствий аварии на ЧАЭС в агропромышленном комплексе, а также оценка современной радиационной ситуации в сельском хозяйстве на пострадавших от аварии территориях.

Радиоактивное загрязнение сельскохозяйственных земель и продукции. В первые 3 года после аварии на ЧАЭС (1986–1989 гг.) радиологическими лабораториями агрохимической службы Минсельхоза была проведена масштабная работа по радиационному обследованию сельскохозяйственных угодий, подвергшихся радиоактивному воздействию и их детальному картированию [9]. На основе этих данных с учетом неоднородности загрязнения было принято решение о зональном подходе к ведению агропромышленного производства и разработке систем реабилитационных мероприятий для каждой зоны загрязнения. По плотности загрязнения ^{137}Cs выделили 4 зоны: 37...185 кБк/м^2 (1...5 Ки/км^2), 185...555 (5...15), 555...1480 (15...40) и более 1480 кБк/м^2 (40 Ки/км^2). Загрязнение ^{90}Sr на территории РСФСР

было незначительным и не потребовало разработки и применения специальных защитных мероприятий. В регионах Российской Федерации, пострадавших от последствий аварии на ЧАЭС, сельскохозяйственное производство осуществляли на площади 6,7 млн га, из которых 2,3 млн га оказались загрязнены ^{137}Cs с плотностью выше 37 кБк/м^2 , в том числе на 79,2 % сельскохозяйственных угодий плотность загрязнения составляла 37...185 кБк/м^2 ; 15,8 % – 185...555 кБк/м^2 ; 4,3 % – 555...1480 кБк/м^2 [4, 9]. По уточненным результатам радиационного обследования площадь угодий с плотностью загрязнения ^{137}Cs 185...555 кБк/м^2 достигала 550 тыс. га, 555...1480 кБк/м^2 – 210 тыс. га. Максимальной (более 1480 кБк/м^2) она была в юго-западных районах Брянской области. Общая площадь земель с такой плотностью загрязнения составила 17,1 тыс. га, включая 7,3 тыс. га пашни и 9,8 тыс. га лугов и пастбищ. В других областях плотность загрязнения ^{137}Cs была значительно ниже [9]. За прошедшие после аварии на ЧАЭС 35 лет радиационная обстановка значительно улучшилась. В результате распада ^{137}Cs площадь загрязненных угодий в наиболее пострадавших от аварии областях сократилась более чем на 65 %, в том числе в Брянской области – на 40...91 % в различных зонах загрязнения, Калужской – на 17...89 %, Орловской – на 63...71 %, Тульской – на 43...99 % (см. рисунок).

На сегодняшний день высокие уровни радиоактивного загрязнения сохраняются только в пяти юго-западных районах Брянской области. По данным последнего тура (2015–2018 гг.) радиологического обследования ФГБУ «Брянскагрохимрадиология», в этих районах сельскохозяйственное производство осуществляют 135 хозяйств на площади 266,2 тыс. га. При этом плотность загрязнения ^{137}Cs более 37 кБк/м^2 отмечена на площади 244,8 тыс. га сельскохозяйственных угодий, в том числе 37...185 кБк/м^2 – 136,7 тыс. га; 185...555 кБк/м^2 – 88,3 тыс. га и 555...1480 кБк/м^2 – 19,8 тыс. га. К категории незагрязненных земель (по ^{137}Cs менее 37 кБк/м^2) можно отнести 21,4 тыс. га (8 %) сельскохозяйственных угодий этих районов [10]. По результатам прогноза радиологической ситуации в 4-х субъектах Федерации, которые в наибольшей степени пострадали от аварии, полное «очищение» почв сельскохозяйственных угодий до уровня менее 37 кБк/м^2 в Калужской, Орловской и Тульской областях возможно к 2090 г., в Брянской области – не ранее 2180 г. [11].

Уровень радиоактивного загрязнения сельскохозяй-

ственных угодий и их почвенные характеристики определяли степень накопления радионуклидов в аграрной продукции. В первые дни и месяцы после аварии основным источником загрязнения посевов сельскохозяйственных культур были сухие и влажные выпадения радионуклидов на поверхность растений. Начиная со второго года стал преобладать механизм корневого поступления радиоактивных веществ. Поэтому максимальный уровень удельной активности радионуклидов в сельскохозяйственной продукции на загрязненных территориях России наблюдали в первый год после аварии [6]. Например, в 1986 г., в пяти наиболее пострадавших районах Брянской области (Гордеевском, Климовском, Клиновском, Красногорском и Новозыбковском) до 80 % произведенной продукции растениеводства, кормопроизводства и животноводства не соответствовало требованиям нормативов (ВДУ-86). В Калужской области (Жиздринский, Ульяновский и Хвостовичский районы) превышение допустимых норм фиксировали в 70 % выращенного зерна, в Тульской области (Плавский район) в 15 % аграрной продукции.

Начиная с 1987 г. удельная активность ^{137}Cs в сельскохозяйственной продукции стала снижаться, что было обусловлено сорбцией радионуклидов в почве и их и распадом, а также активной реализацией защитных мероприятий [8, 12]. В Калужской области превышение нормативов по содержанию ^{137}Cs в продукции растениеводства фиксировали до 1988 г., в кормах животных – до 1995 г., в отдельных пробах естественного травостоя – до 2000 г. В Тульской области превышение нормативов в продукции растениеводства наблюдали только в 1987 г., а в Орловской области благодаря своевременным контрмерам вся производимая сельскохозяйственная продукция практически сразу полностью соответствовала нормативам. В Брянской области защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве применяли наиболее интенсивно. В результате их масштабного освоения уже к 1990 г. содержание ^{137}Cs в зерне и картофеле уменьшилось в 20...30 раз, в сене – до 5...6 раз. С 1995 г. из-за тяжелой экономической ситуации в стране реализация контрмер значительно сократилась, что привело к замедлению темпов снижения содержания ^{137}Cs в аграрной продукции [12, 13].

Радиационное обследование сельскохозяйственных угодий Тульской и Орловской областей показало низкую подвижность радионуклидов в сельскохозяйственных цепочках и их слабое накопление в продукции растениеводства и животноводства, что было обусловлено уровнем загрязнения агроэкосистем ^{137}Cs и преобладанием в почвенном покрове тяжелых по механическому составу почв. Применение агромерелиорантов в земледелии на этих территориях основывалось на традиционных технологиях, обеспечивающих повышение урожайности возделываемых культур. В Калужской и в большей степени Брянской областях ситуация сложилась иначе. Эти регионы отличались более высоким уровнем загрязнения земель ^{137}Cs и повышенной миграцией радионуклидов из характерных для их территорий малоплодородных почв в сельскохозяйственные культуры.

В начале 90-х гг. наиболее сложной была ситуация с производством молока, соответствующего нормативам, в юго-западных районах Брянской области. Однако благодаря освоению в кормопроизводстве и животноводстве комплекса защитных мероприятий, производство несоответствующего нормативам молока к 1995 г. было сведено к минимуму [14]. Продукция

растениеводства (зерно, картофель), производящаяся в юго-западных районах Брянской области, отвечает радиологическим стандартам достаточно длительный период времени. Тем не менее, производство кормов и продукции животноводства, полностью удовлетворяющих радиологическим требованиям, на их территории не удалось обеспечить до сих пор. Так, доля сенажа и сена с превышением нормативов в 2017–2018 гг. составляла от 4 до 15 %. Особенно высокий переход ^{137}Cs в растения отмечается на торфяно-болотных почвах пойменных лугов. Вследствие высокого содержания радионуклида в вегетативной массе кормов на таких участках наблюдаются превышения санитарно-гигиенических нормативов по его концентрации в продукции животноводства: в молоке – до 4...8 % проб, в говядине – до 5...8 % проб [10]. По прогнозам в ряде хозяйств превышение нормативов будет носить долговременный характер – минимум до 2030 г. При этом установлено, что на одной административной территории уровни загрязнения ^{137}Cs продукции животноводства в частном секторе выше, чем в аналогичной из товарных хозяйств. Это связано с тем, что для выпаса частных коров используют низкопродуктивные пастбища, что определяет более высокий переход ^{137}Cs из почвы в молоко. Кроме того, на таких угодьях, как правило, не применяют контрмеры в необходимых масштабах. Таким образом, потребность в реабилитации радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных земель юго-западных районов Брянской области существует и будет сохраняться в долгосрочной перспективе.

Защитные мероприятия в сельском хозяйстве. Одним из ключевых направлений реабилитации территорий, пострадавших от аварии на ЧАЭС, стало восстановление радиоактивно загрязненных земель сельскохозяйственного назначения. Оно предусматривало систему организационных, агротехнических, агрохимических и мелиоративных мероприятий, направленных на обеспечение производства продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам, и способствующих поддержанию почвенного плодородия [6]. Эффективность контрмер зависит от времени, прошедшего после аварии. Их реализация в первый период была наиболее эффективной и экономически оправданной. С течением времени эффективность технологий реабилитации снижается, а стоимость возрастает, что выдвигает на первый план вопросы оптимизации контрмер и определяет необходимость поиска новых способов и методов реабилитации [8, 15].

В первый период (1986 г.) после аварии на ЧАЭС решение об ограничительных защитных мероприятиях принимали на основе оценки радиационной обстановки (мощности экспозиционной дозы гамма-излучения) и информации об уровнях загрязнения ^{137}Cs продукции. Для прогнозирования и анализа текущей ситуации использовали опыт предыдущих аварий, в частности, на Южном Урале [5, 6].

Во второй период (1986–1987 гг.) проведение радиационного мониторинга позволяло собирать более детальную информацию о радиологической обстановке, включая радионуклидный состав выпадений, плотность загрязнения территории долгоживущими радионуклидами и уровень загрязнения сельскохозяйственной продукции. Разработку контрмер осуществляли не только на основе радиологической информации, но и с использованием сведений о характеристиках почвенного покрова, структуре землепользования, технологиях возделывания культур, показателях про-

изводственной деятельности. Защитные мероприятия для территорий с различной радиационной обстановкой проводили дифференцированно [16, 17].

В третий период (с 1987 г. и далее) после аварии основным источником поступления радионуклидов в сельскохозяйственные цепочки миграции стала почва. Поэтому важным фактором обоснования реабилитационных мероприятий стал учет влияния почвенно-климатических и геохимических особенностей загрязненных территорий, которые обуславливают различия в миграции радионуклидов. В рамках этого периода целесообразно выделить два этапа, первый из которых охватывает первые 5...10 лет после загрязнения, а второй связан с долговременными последствиями после аварии.

Для реабилитации сельскохозяйственных угодий в каждой из выделенных зон радиоактивного загрязнения был предложен и реализован комплекс оптимальных защитных мероприятий [8].

В первой зоне (плотность загрязнения ^{137}Cs 37...185 кБк/м²) сельскохозяйственные культуры возделывали по принятым в почвенно-климатической зоне технологиям и все работы в земледелии осуществляли без ограничений. Известкование кислых почв проводили в соответствии с планом, дозы извести устанавливали по величине гидролитической кислотности. Удобрения вносили в дозах, обеспечивающих формирование стабильных урожаев. Коренное улучшение лугопастбищных угодий осуществляли только на торфяниках, которые характеризовались высокой степенью перехода радионуклидов в растительность.

Во второй зоне (плотность загрязнения ^{137}Cs 185...555 кБк/м²) растениеводство на пахотных угодьях вели без ограничений. Минеральные удобрения вносили в дозах, обеспечивающих формирование планируемых урожаев. При риске производства продукции с превышением нормативов увеличивали дозы фосфорно-калийных удобрений. Органические удобрения вносили после радиационного контроля. Мероприятия на пастбищах и сенокосах проводили в зависимости от типа почвы. На пойменных лугах и сенокосах на суглинистых и глинистых почвах осуществляли поверхностное улучшение с внесением агромелиорантов и подсевом многолетних трав. Все естественные пастбища и сенокосы на торфяниках и легких почвах подлежали коренному улучшению с внесением повышенных в 1,5 раза доз калийных удобрений.

В третьей зоне (плотность загрязнения ^{137}Cs 555...1480 кБк/м²) ведение сельского хозяйства предполагало полномасштабные контрмеры, которые обеспечивали производство продукции, соответствующей радиологическим стандартам. В земледелии было рекомендовано использование извести и повышенных доз агромелиорантов. Известковые материалы вносили из расчета 1,5 дозы по гидролитической кислотности. На сенокосах и пастбищах проводили коренное улучшение с ежегодным применением повышенных (в 1,5...2,0 раза) доз фосфорно-калийных удобрений. Органические удобрения вносили без ограничений.

В четвертой зоне (плотность загрязнения ^{137}Cs более 1480 кБк/м²) сельскохозяйственные угодья были выведены из хозяйственного оборота.

Таким образом, авария на Чернобыльской АЭС – первая и единственная в истории радиационная катастрофа, которая привела к радиоактивному загрязнению территорий многих стран, включая сельскохозяйственные угодья (в России более 2 млн. га). Основными радиологически значимыми радионуклидами в соста-

ве аварийных выпадений стали ^{131}I (в первые недели после аварии) и ^{137}Cs , а доминирующим путем их поступления в организм человека – животноводческая цепочка (в большей степени через молоко). Высокие уровни радиоактивного загрязнения, зафиксированные в юго-западных районах Брянской области, вызвали необходимость вывода части земель из хозяйственного оборота или введения ограничений на производство отдельных видов продукции. Ликвидация последствий аварии на ЧАЭС потребовала решения ряда фундаментальных проблем, связанных с изучением поведения радионуклидов в агроэкосистемах, освоением систем радиационного контроля и мониторинга радиоэкологической обстановки, разработкой новых приемов реабилитации земель, обеспечивающих устойчивое развитие сельского хозяйства. Интенсивное применение защитных мероприятий и реабилитационных технологий во всех отраслях агропромышленного производства в значительной степени способствовало нормализации радиационной обстановки и снижению дозовых нагрузок на население, как в регионе аварии, так и за ее пределами. Наиболее эффективным оно было в первые годы после аварии, когда радионуклиды быстро мигрировали по сельскохозяйственным цепочкам. На сегодняшний день наиболее эффективны по радиологическому и социально-экономическому факторам технологии с долгосрочным действием: коренное улучшение лугопастбищных угодий и известкование кислых почв. Результаты радиационного мониторинга сельскохозяйственных земель и продукции на юго-западе Брянской области свидетельствуют о необходимости продолжения контроля радиационной обстановки на этих территориях и обоснования адресной системы реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве, способствующей скорейшему возвращению пострадавшего от аварии региона к нормальной жизнедеятельности.

Литература.

1. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // *Атомная энергия*. 1986. Т. 61. №5. С. 301–320.
2. Радиоактивное загрязнение природных сред в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / Ю.А. Израэль, В.А. Петров, С.И. Авдюшин и др. // *Метеорология и гидрология*. 1987. №2. С. 5–18.
3. *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group «Environment» (EGE)*. Vienna, IAEA. 2006. 166 p.
4. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. Москва-Минск: Фонд «Инфосфера»; НИИ-Природа, 2009. 140 с.
5. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / под ред. акад. РАМН Л.А. Ильина, В.А. Губанова. М.: ИздАТ, 2001. 752 с.
6. *Сельскохозяйственная радиоэкология* / под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. М.: Экология, 1992. 400 с.
7. Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Панов А.В. Реабилитационные мероприятия в агропромышленном комплексе как основа социально-экономического развития территорий, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС // *Вестник РАСХН*. 2009. №6. С. 28–30.

8. Защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве: к 30-летию аварии на ЧАЭС / Н.И. Санжарова, А.В. Панов, Н.Н. Исамов и др. // *Агрохимический вестник*. 2016. №2. С. 5–9.
9. Загрязнение почв Брянской, Калужской, Тульской и Орловской областей. Брянск, 1993. 67 с.
10. Радиоэкологическая оценка сельскохозяйственных земель и продукции юго-западных районов Брянской области, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Панов, П.В. Прудников, И.Е. Титов и др. // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12. №1. С. 25–35.
11. Современное состояние и прогноз загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий Брянской, Калужской, Орловской и Тульской областей, подвергшихся воздействию аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Панов, Н.И. Санжарова, О.А. Шубина и др. // *Радиация и риск*. 2017. Т. 26. №3. С. 66–74.
12. 30 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986–2016. Российский национальный доклад / под общ. ред. В.А. Пучкова, Л.А. Большова. М.: МЧС России, 2016. 202 с.
13. Маркина З.Н., Курганов А.А., Воробьев Г.Т. Радиоактивное загрязнение продукции растениеводства Брянской области. Брянск: БГСХА, 1997. 241 с.
14. Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой и проф. С.В. Фесенко М.: РАН, 2018. 278 с.
15. Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий, загрязненных радиоактивными веществами в результате крупных радиационных аварий: руководство / под ред. Н.И. Санжаровой. Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2009. 150 с.
16. Влияние технологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур на накопление ^{137}Cs в урожае / Т.Л. Жигарева, А.Н. Ратников, Р.М. Алексин и др. // *Агрохимия*. 2003. № 10. С. 67–74.
17. Радиационная оценка применения минеральных удобрений на естественных кормовых угодьях / Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов, Е.В. Смольский и др. // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2013. № 1. С. 9–15.

Поступила в редакцию 20.02.2021

После доработки 23.03.2021

Принята к публикации 30.04.2021

ПАРАМЕТРЫ УГЛЕКИСЛОТНОГО И ВОДНОГО ОБМЕНА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ УРБООКОСИСТЕМ

Ю.В. Плугатарь, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН,
С.П. Корсакова, доктор биологических наук, М.С. Ковалев

Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
298648, Республика Крым, Ялта, Никита, Никитский спуск, 52
E-mail: korsakova2002@mail.ru

Исследования проводили с целью изучения составляющих углеродного и водного обмена вечнозеленых декоративных древесных растений на Южном берегу Крыма. Определяли влияние абиотических факторов на изменчивость величин этих показателей у *Nerium oleander* L. и *Arbutus andrachne* L. в период активной вегетации. Сходство их воздействия указывает на аналогию механизмов адаптации систематически разных видов, произрастающих в одном климатическом регионе. Выявленные межвидовые отличия доминирующего влияния факторов среды на интенсивность поглощения углекислого газа *Nerium oleander* (среднесуточный дефицит насыщения водяного пара) и *Arbutus andrachne* (максимальная температура воздуха за сутки) обусловлены биологическими особенностями формирования фитомассы исследуемых видов. У *Arbutus andrachne* отмечены более низкие величины поглощения и выделения углекислоты, по сравнению с *Nerium oleander*, что, предположительно, связано с менее эффективной работой фотосинтетического аппарата. В условиях сильного водного дефицита количество поглощенного CO_2 листьями *Nerium oleander* снижается в 5...6 раз, *Arbutus andrachne* – в 9...10 раз. Положительный углекислотный газообмен *Nerium oleander* и *Arbutus andrachne* в жаркий засушливый летний период с превышением суточного поглощения CO_2 над его выделением при дыхании соответственно в 2,4 и 2,3 раза, свидетельствует о существенном потенциале видов в оптимизации урбоэкосистем южных регионов России. Разработанные нелинейные регрессионные модели могут быть использованы для прогнозной оценки способности поглощения диоксида углерода исследуемыми растениями при ожидаемых климатических изменениях.

PARAMETERS OF CARBON DIOXIDE AND WATER EXCHANGE OF WOODY PLANTS AS A TOOL FOR OPTIMIZING THE STRUCTURE OF GREEN SPACES IN URBAN ECOSYSTEMS

Plugatar Yu.V., Korsakova S.P., Kovalev M.S.

Nikita Botanical Gardens – National Scientific Center RAS,
298648, Respublika Krym, Yalta, Nikita, Nikitsky spusk, 52
E-mail: korsakova2002@mail.ru

The results of studies of the components of carbon and water exchange in evergreen ornamental woody plants on the Southern Coast of the Crimea are presented. The influence of abiotic factors on the variability of the components of the daily $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ exchange in *Nerium oleander* L. and *Arbutus andrachne* L. was studied during the active growing season. The similarity of the influence of abiotic factors on the value of the daily carbon dioxide and water exchange of plants is established, which indicates similar mechanisms of adaptation in systematically different species growing in the same climatic region. The revealed interspecific differences in the dominant influence of environmental factors on the intensity of carbon dioxide absorption of *Nerium oleander* (VPD) and *Arbutus andrachne* (T_{max}) are due to the biological features of the phytomass formation in the studied species during the period of intensive growth. Analysis of the seasonal dynamics of CO_2 -gas exchange indicators showed lower values of carbon dioxide absorption and release in *Arbutus andrachne* compared to *Nerium oleander*, which is presumably associated with less efficient operation of the photosynthetic apparatus. Under conditions of severe water deficit, the amount of CO_2 absorbed by the leaves of *Nerium oleander* decreases by 5-6 times, *Arbutus andrachne* - by 9-10 times. The positive carbon dioxide gas exchange in *Nerium oleander* and *Arbutus andrachne* in the hot dry summer period with the excess of the daily CO_2 absorption over its release during respiration by 2.4 and 2.3 times, respectively, indicates a significant potential these species in optimizing the urban ecosystems in the southern regions of Russia. The developed nonlinear regression models can be used for predictive estimation of the ability of carbon dioxide absorption by the studied plants under the expected climate changes.

Ключевые слова: *Nerium oleander*, *Arbutus andrachne*, CO_2 / H_2O -газообмен, факторы среды, множественный регрессионный анализ, прогноз поглощения диоксида углерода

Key words: *Nerium oleander*, *Arbutus andrachne*, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ gas exchange, environmental factors, multiple regression analysis, carbon dioxide absorption forecast

В последние годы вследствие ухудшения экологической ситуации, обусловленной ростом техногенной нагрузки и изменениями климата, уделяется повышенное внимание изучению урбанизированных территорий. Ключевой фактор климатических изменений и глобального потепления – рост концентрации парниковых газов в атмосфере, поэтому особую актуальность приобретает исследование всех составляющих углеродного баланса в биосфере [1]. Доминирующий фактор снижения концентрации CO_2 в урбоэкосистемах – древесные растения. Именно поэтому важен подбор высокопродуктивных древесных видов для озеленения [2, 3]. Помимо поглощения CO_2

деревья выполняют средообразующую функцию путем регуляции микроклимата [4, 5], а также защитную функцию, уменьшая количество ультрафиолетового излучения и ограждая от веществ-загрязнителей атмосферы [1, 6].

Однако метаболический отклик на воздействие факторов внешней среды у отдельных видов растений зависит как от их интенсивности и направленности, так и от экофизиологических характеристик самих растений, проявляясь, прежде всего, в характере протекания углеродного и водного обмена [7]. Особый интерес при прогнозировании возможного отклика растений на изменения окружающей среды и климата

представляет межвидовая оценка их адаптивного потенциала [8, 9, 10].

Подбор и использование в ландшафтном дизайне и при закладке лесонасаждений видов растений, устойчивых к неблагоприятным воздействиям окружающей среды, будет положительно влиять на качество воздуха и изменение микроклимата.

Моделирование воздействий на растения лимитирующих средовых факторов мест произрастания позволяет решать актуальные научно-теоретические и практические задачи, связанные с оптимизацией современных искусственных экосистем, в том числе урбоэкосистем.

Согласно сценариям изменения климата, в южных регионах России ожидается общее повышение температуры и длительные периоды засухи [11]. Приспособиться к новым условиям смогут только те виды, которые обладают достаточной экологической пластичностью. Это обуславливает важность изучения способности древесных растений поглощать углекислоту при различных условиях влагообеспеченности. Результаты таких исследований позволят оценить вклад растений каждого вида в углеродный баланс атмосферы в условиях прогрессирующей термоаридизации климата.

Цель нашего исследования – определение количественных показателей суточного поглощения диоксида углерода и закономерностей реакции процессов углеродного и водного обмена *Nerium oleander* L. и *Arbutus andrachne* L. на воздействие окружающей среды в период вегетации.

Методика. Исследования проводили на Южном берегу Крыма (ЮБК) на территории Никитского ботанического сада – Национального научного центра РАН (НБС) (44°31' с.ш., 34°15' в.д.).

Объектами исследований были саженцы (6...8 лет) олеандра обыкновенного (*Nerium oleander* L.) и земляничника мелкоплодного (*Arbutus andrachne* L.) – ценных и высокодекоративных видов древесных растений для создания садово-парковых композиций санаторно-курортных зон и набережных, характеризующихся высокой жаро- и засухоустойчивостью, а также толерантностью к условиям высокой инсоляции. Растений этих видов широко распространены в озеленении ландшафтов ЮБК, Черноморского побережья Кавказа, Средиземноморья [12].

Исследования выполняли в периоды активной вегетации растений с июня по октябрь 2015, 2016, 2018 и 2020 гг. Модельные экземпляры произрастали на экспериментальном участке НБС и в контролируемых условиях вегетационного опыта (в 10...15-литровых сосудах, наполненных почвой опытного участка). Почва экспериментального участка темно-коричневая, среднеглинистая, наименьшая влагоемкость (НВ) которой варьирует от 21,6 до 25,2 %, влажность завядания – от 9,9 до 11,1 % [13].

Интенсивность $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ газообмена определяли в трех повторностях на хорошо развитых интактных листьях верхней части побега с интервалом 20 мин (72 измерения за сутки). Синхронно с измерениями показателей газообмена регистрировали параметры окружающей среды. В работе использованы данные комплексных измерений газообмена и параметров среды для *N. oleander* – за 52 суток, для *A. andrachne* – за 92 суток. При проведении исследований использовали фотомонитор PM-11z и монитор фотосинтеза PTM-48A (Bio Instruments S.R.L., Молдова), специально созданный для продолжительного наблюдения

за углекислотным газообменом нескольких листьев одновременно [14]. Технология включает измерение трех основных процессов: видимого фотосинтеза, фотодыхания и темнового дыхания. Самозакрывающиеся листовые камеры практически не влияют на условия жизнедеятельности листа, что принципиально важно при длительных измерениях.

Для определения количества фотосинтетически активной радиации (ФАР), которое растение получает в течение светлого времени суток, использовали интеграл дневного освещения (DLI). DLI – это функция от интенсивности ФАР ($\text{мкмоль}/(\text{м}^2 \text{с})$) и времени – сутки ($\text{моль}/(\text{м}^2 \text{сут})$) [15].

Собранный массив данных анализировали в среде пакетов программ MS Excel 2010 и Statistica 10. Все расчеты проводили при заданном уровне значимости $p < 0,05$.

Вероятностно-статистическая модель множественной нелинейной регрессии была построена на платформе пакета Statistica 10 по исходной выборке, в которой в качестве независимых переменных рассматривали факторы окружающей среды. Для определения коэффициентов регрессии использовали пошаговый регрессионный анализ и процедуру «Нелинейное оценивание» модуля «Регрессия пользователя – производная функция потерь». Адекватность построенной модели оценивали по значениям статистик «Итоговые потери». Чем меньше их величины, тем адекватнее модель. В модель включены коэффициенты, для которых уровень значимости p -критерия Стьюдента не превышает 0,05.

Оценку точности аппроксимации и определение наиболее подходящей модели осуществляли на основе трех показателей эффективности: коэффициент детерминации (R^2), корень из среднеквадратичной ошибки (Root Mean Squared Error – RMSE) и сумма квадратов ошибок (error sum of squares, SSE). В качестве наиболее подходящих моделей были выбраны уравнения с самыми высокими величинами R^2 и наименьшими RMSE и SSE [12].

Метеоусловия в годы проведения исследований значительно различались по влагообеспеченности и температурному режиму. Особенно контрастными по условиям увлажнения в период вегетации оказались 2016, 2018 и 2020 гг. Период активной вегетации в 2016 г. был умеренно влажным (гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) за летние месяцы составил 0,94), в 2018 и 2020 гг. – очень засушливым (ГТК за аналогичный период не превышал 0,32). Отличительными особенностями вегетационного периода 2015 г. были дождливая погода в июне, жаркий, сухой август и по-летнему теплый сентябрь. Вегетационный период 2016 г. характеризовался очень жарким июнем, сильными ливнями в июле, сухим сентябрем и холодным влажным октябрем, 2018 г. – очень жарким суховеино-засушливым августом, влажным сентябрем и очень теплым октябрем. От предшествующих лет 2020 г. отличался очень теплой, продолжительной и засушливой осенью. В целом, теплообеспеченность территории ЮБК в годы исследований на фоне общего потепления климата была значительно выше средних многолетних показателей.

Результаты и обсуждение. Для прогноза интенсивности поглощения диоксида углерода древесными растениями при ожидаемых климатических изменениях необходимо оценить видоспецифичность реакции, а также чувствительность процессов CO_2 -газообмена к различным внешним факторам. Подобный

Табл. 1. Параметры окружающей среды и $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ газообмена листьев *Nerium oleander* и *Arbutus andrachne* во время измерений

Параметр*	<i>Nerium oleander</i>		<i>Arbutus andrachne</i>	
	минимум / максимум	среднее	минимум / максимум	среднее
E (мг $\text{H}_2\text{O}/(\text{см}^2 \text{сут})$)	6,5 / 332,6	115,8±91,7	13,4 / 250,2	103,2±63,5
g_s (мм/с)	0,15 / 4,66	1,47±1,24	0,21 / 2,61	1,13±0,54
A (мг $\text{CO}_2/\text{см}^2 \text{сут})$	0,36 / 2,78	1,55±0,75	-0,09 / 2,09	1,09±0,55
R_{Total} (мг $\text{CO}_2/\text{см}^2 \text{сут})$	0,16 / 1,20	0,62±0,29	0,22 / 3,05	1,52±0,60
R_{RD} (мг $\text{CO}_2/\text{см}^2 \text{сут})$	0,10 / 1,05	0,47±0,27	0,13 / 1,13	0,42±0,19
R_{PR} (мг $\text{CO}_2/\text{см}^2 \text{сут})$	0,06 / 0,34	0,15±0,06	0,08 / 0,70	0,30±0,12
DLI (моль/ $\text{м}^2 \text{сут})$	1,0 / 42,9	19,4±9,4	1,5 / 32,5	19,5±9,2
T (°C)	8,5 / 32,4	23,8±5,5	13,4 / 29,3	23,9±4,1
T_{MAX} (°C)	12,9 / 40,0	31,7±7,1	19,3 / 40,4	32,2±4,8
T_{MIN} (°C)	4,5 / 28,4	18,8±5,0	11,0 / 23,4	18,2±3,4
RH (%)	39 / 86	60±13	37 / 83	62±12
VPD (кПа)	0,3 / 3,0	1,4±0,7	0,3 / 2,8	1,3±0,6
SM (% HB)	10,8 / 87,3	46,3±17,9	12,0 / 100,9	70,8±22,4

* (здесь и в остальных таблицах) E – суточная транспирация; g_s – устьичная проводимость; A – суточное поглощение CO_2 ; R_{Total} – суточное выделение CO_2 при дыхании; R_{RD} – суточное выделение CO_2 при темновом дыхании; R_{PR} – суточное выделение CO_2 при фотодыхании; DLI – интеграл дневного освещения; T, T_{MAX} , T_{MIN} – средняя, максимальная и минимальная температура воздуха за сутки соответственно; RH – среднесуточная относительная влажность воздуха; VPD – среднесуточный дефицит насыщения водяного пара; SM – влажность почвы; ± – стандартное отклонение.

прогноз необходим для эффективного планирования и управления зелеными насаждениями с целью оптимизации землепользования на урбанизированных территориях. Полученные показатели могут быть использованы в качестве параметров в математических моделях углеродного баланса наземных экосистем [7].

Результаты анализа сезонной динамики показателей CO_2 -газообмена *N. oleander* и *A. andrachne* свидетельствуют, что в жаркие засушливые летние месяцы растения сохраняют положительный углекислотный газообмен, при котором поглощение углекислого газа превышает уровень дыхания в 2,4 и 2,3 раза соответственно (табл. 1). В среднем за сезон активной вегетации и в отдельные месяцы (рис. 1) суточное количество поглощенного и выделенного диоксида углерода в расчете на 1 см^2 площади листьев у *N. oleander* на 30 % выше, чем у *A. andrachne*, что, предположительно, связано с более эффективной работой фотосинтетического аппарата.

Среднесезонные величины суточной транспирации и устьичной проводимости листьев *N. oleander* также были выше, чем у *A. andrachne*, в среднем на 10...20 %. Однако при оценке сезонной динамики аналогичная ситуация была отмечена только в июне и в августе. Очевидно, это обусловлено физиологическими особенностями водного обмена у изучаемых видов, выявленными ранее [13]. Для растений *N. oleander* характерен засухоустойчивый тип регуляции водного баланса путем закрытия устьиц, что повышает их конкурентоспособность в условиях почвенной засухи. Сохранение водного баланса в растении *A. andrachne* обусловлено поддержанием устьиц в открытом состоянии на первой стадии физиологического ответа на водный дефицит,

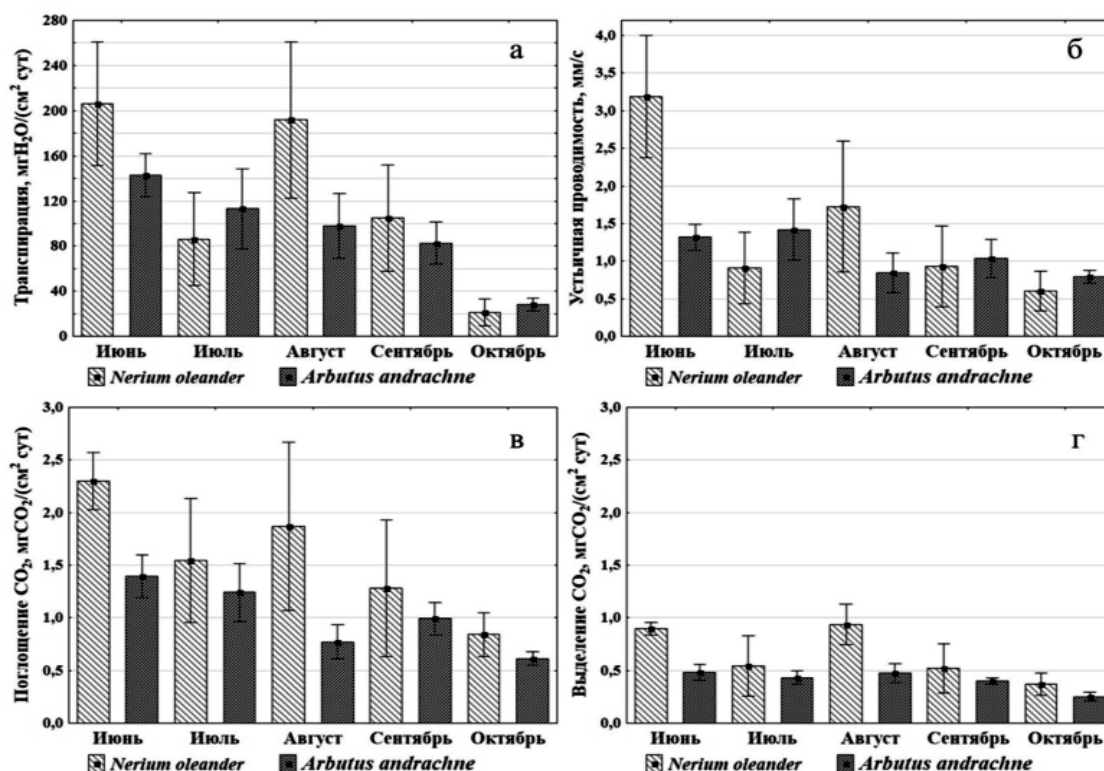


Рис. 1. Сезонная динамика показателей интенсивности газообмена листьев *Nerium oleander* и *Arbutus andrachne*: а – суточное испарение воды при транспирации, б – устьичная проводимость, в – суточное количество поглощенного диоксида углерода в процессе фотосинтеза, г – суточное количество выделенного диоксида углерода при дыхании.

что сохраняет высокий уровень транспирации, и их закрытия – на второй стадии вследствие недостаточной доставки воды из корней. Такая пластичность обеспечивает растениям *A. andrachne* высокую адаптационную способность к засухе.

Закрытие устьиц предохраняет растения *N. oleander* и *A. andrachne* от обезвоживания, но вместе с тем нарушает газообмен. При длительном гидротермическом стрессе сокращение потерь воды у растений реализуется в результате ускоренного старения и дефолиации, что в условиях культуры приводит к утрате декоративности [13].

Между процессами $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ газообмена (поглощением диоксида углерода, интенсивностью транспирации и устьичной проводимостью) выявлена довольно тесная взаимосвязь: коэффициенты парной корреляции у *N. oleander* находились пределах 0,84...0,86, у *A. andrachne* – 0,79...0,84.

При благоприятных условиях окружающей среды количество поглощенного CO_2 на единицу площади листовой поверхности *N. oleander* было несущественно выше, чем у *A. andrachne* (на 25 %). В условиях продолжительной жесткой засухи у *A. andrachne* отмечен отрицательный углеродный баланс между уровнем ассимиляции CO_2 в процессе фотосинтеза и его потерями при дыхании (см. табл. 1). Различия между величинами показателей фотосинтетической активности исследуемых видов в оптимальных и стрессовых условиях были статистически значимы с 95 %-ной вероятностью.

В ходе активной вегетации с июня по октябрь максимальное за годы исследований среднесуточное количество поглощенного CO_2 на единицу площади листьев у *N. oleander* и *A. andrachne* наблюдали в июне, а наибольшее выделение углекислого газа обратно в атмосферу при дыхании – в июне (в период интенсивного роста) и в августе (вследствие воздействия гидротермических стрессоров). Закономерным для исследованных видов было снижение ассимиляционной активности в октябре при затухании ростовых процессов (см. рис. 1).

Расчет доли суммарных дыхательных затрат от grossфотосинтеза ($(\text{R}_{\text{RD}} + \text{R}_{\text{PR}})/(\text{A} + \text{R}_{\text{RD}} + \text{R}_{\text{PR}})$) и анализ сезонной динамики основных процессов углекислотного обмена листьев (поглощения и выделения CO_2) пока-

зал, что в жаркие летние месяцы растения анализируемых вечнозеленых видов тратят на дыхание достаточно много фотосинтезатов. Доля дыхательных затрат от grossфотосинтеза в июне – августе у *N. oleander* в среднем составляла 35...51 %, у *A. andrachne* – 26...38 %. В оптимальных условиях среды обитания, по нашим данным, величина этого показателя находилась в пределах 19 % (*N. oleander*) и 14 % (*A. andrachne*) [13].

В условиях нарастающего дефицита почвенной влаги интенсивность поглощения CO_2 , транспирации и устьичной проводимости у подопытных растений начинала уменьшаться при влажности почвы выше 60...80 % НВ и ниже 30...35 % НВ (рис. 2). При величине этого показателя 10...30 % НВ, проявлялись видоспецифичные особенности регуляции водного баланса и реакции растений на засуху. В таких условиях доли темнового дыхания и фотодыхания у *N. oleander* и *A. andrachne* в процессе углекислотного газообмена возросли в 1,5...2,0 раза (рис. 2б). Повышение суммарного дыхания при водном дефиците очевидно связано с тем, что параллельно со снижением ростовых процессов происходит увеличение интенсивности дыхания поддержания за счет адаптационной составляющей на фоне снижения интенсивности дыхания роста и grossфотосинтеза. В условиях воздействия сильного гидротермического стресса при влажности почвы на уровне мертвого запаса, поглощение углекислоты листьями *N. oleander* снижалось, в сравнении с контролем (отсутствие стрессоров), в 5...6 раз, *A. andrachne* – в 9...10 раз.

Анализ коэффициентов корреляции между составляющими $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ газообмена листьев вечнозеленых растений и параметрами внешней среды показал наличие как положительных, так и отрицательных статистически значимых ($p < 0,05$) зависимостей (табл. 2).

Выявлена сильная прямая зависимость показателей интенсивности транспирации и выделения CO_2 листьями *N. oleander* от таких характеристик факторов среды, как интеграл дневного освещения, температура воздуха и дефицит насыщения водяного пара и обратная – от относительной влажности воздуха. У *A. andrachne* аналогичная зависимость высоко значима только для интенсивности транспирации, а для выделения CO_2 проявляется слабее. Слабые коэффициенты парной корреляции величин устьичной проводимости и по-

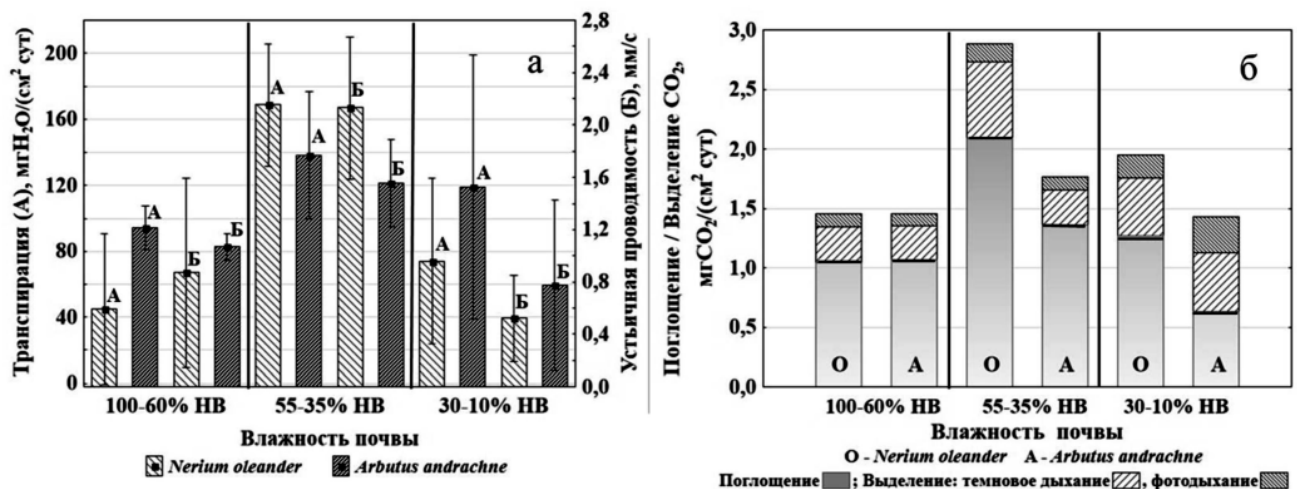


Рис. 2. Интенсивность газообмена листьев *Nerium oleander* и *Arbutus andrachne* при различных условиях водообеспеченности.

Табл. 2. Коэффициенты корреляции между показателями газообмена листьев *Nerium oleander* и *Arbutus andrachne* и факторами окружающей среды

Вид	Показатель газообмена	Факторы окружающей среды						
		DLI (моль/м ² сут)	T (°C)	T _{MAX} (°C)	T _{MIN} (°C)	RH (%)	VPD (кПа)	SM (% HB)
<i>Nerium oleander</i>	E (мгН ₂ O/(см ² сут)	0,66	0,68	0,74	0,77	-0,56	0,78	-0,15*
	g _s (мм/с)	0,35	0,51	0,55	0,57	-0,21*	0,45	0,08*
	A (мгСО ₂ /см ² сут)	0,47	0,67	0,63	0,70	-0,41	0,59	-0,03*
	R _{Total} (мгСО ₂ /см ² сут)	0,72	0,88	0,89	0,92	-0,58	0,86	-0,36
	R _{RD} (мгСО ₂ /см ² сут)	0,76	0,83	0,85	0,87	-0,57	0,84	-0,26*
	R _{PR} (мгСО ₂ /см ² сут)	0,13*	0,50	0,48	0,51	-0,29*	0,39	-0,51
<i>Arbutus andrachne</i>	E (мгН ₂ O/(см ² сут)	0,78	0,55	0,61	0,39	-0,80	0,76	-0,23
	g _s (мм/с)	0,45	0,28	0,30	0,19*	-0,43	0,39	-0,15*
	A (мгСО ₂ /см ² сут)	0,57	0,33	0,35	0,22	-0,43	0,37	-0,06*
	R _{Total} (мгСО ₂ /см ² сут)	0,46	0,63	0,62	0,64	-0,40	0,56	-0,36
	R _{RD} (мгСО ₂ /см ² сут)	0,51	0,63	0,65	0,60	-0,46	0,59	-0,30
	R _{PR} (мгСО ₂ /см ² сут)	0,27	0,47	0,42	0,51	-0,23	0,38	-0,34

*коэффициенты корреляции между показателями газообмена и факторами среды не достоверны при уровне значимости p<0,05.

Табл. 3. Регрессионные модели воздействия условий окружающей среды на интенсивность поглощения углекислого газа листьями *Nerium oleander* и *Arbutus andrachne*

Вид	Уравнение регрессии	R ² *	RMSE	SSE	n
<i>Nerium oleander</i>	$A = 0,0734 \cdot SM - 0,0006 \cdot SM^2 - 0,2369 \cdot T + 0,0078 \cdot T^2 + 1,3303 \cdot VPD - 0,3813 \cdot VPD^2 - 0,0165 \cdot DLI$	0,87	0,303	2,594	52
<i>Arbutus andrachne</i>	$A = -5,1650 + 0,0758 \cdot SM - 0,0006 \cdot SM^2 + 0,4947 \cdot T - 0,0084 \cdot T^2 + 0,0383 \cdot DLI - 0,1021 \cdot T_{MAX}$	0,81	0,236	5,111	92

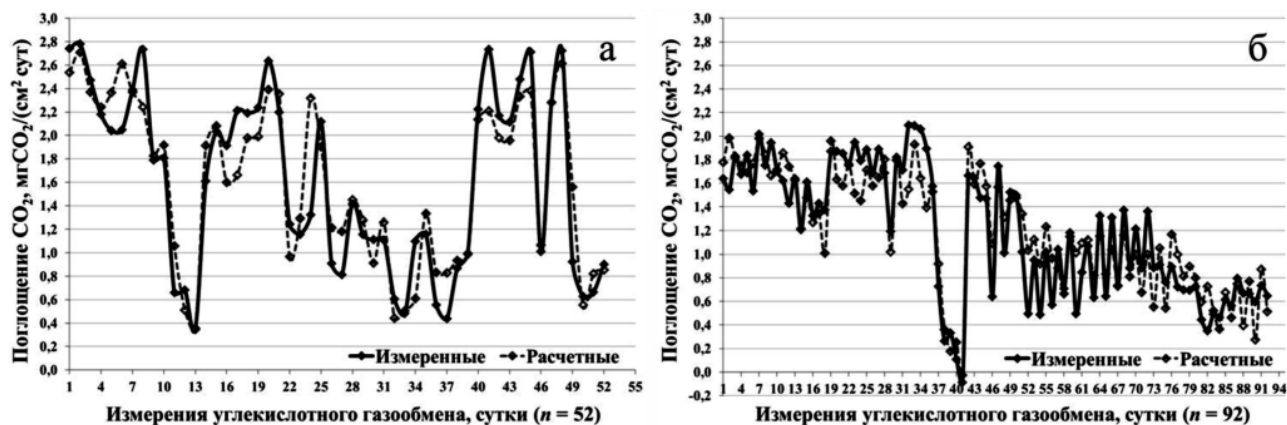
*R² – коэффициент детерминации; SSE – сумма квадратов ошибок; n – количество суточных измерений углекислотного газообмена для разработки и оценки модели.

глощения диоксида углерода листьями *N. oleander*, *A. andrachne* с характеристиками параметров среды (освещение, температура и влажность воздуха), а также водообеспеченности указывают на отсутствие линейной зависимости (некоррелированности переменных), но не на отсутствие связи как таковой.

На основе экспериментальных данных были рассчитаны уравнения зависимости суточного поглоще-

ния диоксида углерода (в расчете на 1 см² площади листьев) растениями *N. oleander* и *A. andrachne* от совокупности всех учтенных внешних факторов – солнечной радиации, температуры и влажности воздуха (дефицита насыщения водяного пара), влажности почвы.

Оценка качества моделей на основе трех базовых критериев (R², RMSE и SSE) показала, что они вполне

Рис. 3. Измеренные и рассчитанные величины суточного поглощения диоксида углерода (в расчете на 1 см² площади листьев) у растений *Nerium oleander* (а) и *Arbutus andrachne* (б) в разных условиях окружающей среды.

адекватны, *RMSE* прогноза при расчетах с их использованием варьируют в интервале 0,303 до 0,236 мгСО₂/см² сут. Доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая разработанными моделями, составляет 87 и 81 % (табл. 3).

Совмещенные графики величин, рассчитанных по прогнозным уравнениям, и экспериментальных данных о количестве диоксида углерода, поглощенного за сутки 1 см² листовой поверхности *N. oleander* и *A. andrachne* за все дни измерений, включающие разные условия окружающей среды (рис. 3), свидетельствуют о хорошей их сходимости.

Таким образом, результаты проведенных исследований подтвердили высокую чувствительность процессов углеродного и водного обмена *N. oleander* и *A. andrachne* к изменению условий внешней среды, что позволило построить прогнозные модели для количественной оценки их способности поглощать диоксид углерода. Положительный углекислотный газообмен *N. oleander* и *A. andrachne*, при котором поглощение углекислого газа превышает уровень дыхания в самые жаркие и засушливые летние месяцы в 2,4 и 2,3 раза соответственно, свидетельствует о высоком адаптивном потенциале этих видов и их важной роли в оптимизации урбоэкосистем южных регионов России.

Выявленные закономерности суточного поглощения диоксида углерода в зависимости от условий окружающей среды позволяют объективно оценить роль растений в углеродном балансе урбанизированной экосистемы для оптимизации структуры и состава зеленых насаждений. Накопление таких данных, характеризующих ответные реакции растений на разных уровнях организации, позволяет сформировать более полную картину адаптации видов к среде обитания, в том числе антропогенным факторам, прогнозировать их поведение в условиях климатических изменений.

Литература.

1. Юзбеков А.К., Цзусюнь У. Углекислотный газообмен древесных растений в урбанизированных экосистемах // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология. 2019. Т. 74(4). С. 321–327.
2. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment / J.A. Salmond, M. Tadaki, S. Vardoulakis, et al. // Environmental Health. 2016. Vol. 15. S36. URL: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-016-0103-6> (дата обращения: 20.01.2021). doi: 10.1186/s12940-016-0103-6
3. Stefano C., Rallo R.F., Ulgiati S. Implementing and managing urban forests: A much needed conservation strategy to increase ecosystem services and urban wellbeing // Ecological Modelling. 2017. Vol. 360. P. 328–335. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2017.07.016
4. Effects of Urban Green Space on Environmental Health, Equity and Resilience / M. Braubach, A. Egorov, P. Mudu, et al. // Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas Theory and Practice of Urban Sustainability. 2017. P. 187–205. doi: 10.1007/978-3-319-56091-5_11
5. Urban green space cooling effect in cities / F. Aram, E.H. Garcia, E. Solgi, et al. // Heliyon. 2019. Vol. 5(4). e1339. URL: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(19\)30070-2](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(19)30070-2) (дата обращения: 20.02.2021) doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01339
6. Tor-ngern P., Leksungnoen N. Investigating carbon dioxide absorption by urban trees in a new park of Bangkok, Thailand // BMC Ecology. 2020. Vol. 20. URL: <https://bmcecol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12898-020-00289-4> (дата обращения: 12.02.2021). doi: 10.1186/s12898-020-00289-4.
7. Придача В.Б., Ольчев А.В., Сазонова Т.А., Тихова Г.П. Параметры СО₂/Н₂О-обмена древесных растений как инструмент мониторинга и оценки состояния природной среды // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 25–30.
8. Акклимация листьев луговых растений разных функциональных типов к экспериментальному потеплению климата / Л.А. Иванова, А.Г. Чанчикова, Д.А. Ронжина и др. // Физиология растений. 2016. Т. 63(6). С. 860–872. doi: 10.7868/S0015330316050067
9. Влияние температуры почвы и воздуха на рост и СО₂-газообмен саженцев березы повислой / В.К. Болондинский, Л.М. Виликайнен, В.Б. Придача и др. // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 3. С. 20–30. doi: 10.17076/eb1127
10. von Caemmerer S. Steady-state models of photosynthesis // Plant Cell & Environment. 2013. Vol. 36(9). P. 1617–1630. doi: 10.1111/pce.12098.
11. Efimov V. V., Volodin E. M., Anisimov A. E. Modeling of the Black Sea region climate changes in the XXI century // Physical Oceanography. 2015. Vol. 2. P. 3–13. doi: 10.22449/1573-160X-2015-2-3-13.
12. A research on models of the photosynthetic light response curves on the example of evergreen types of plants / S.P. Korsakova, Yu.V. Plugatar, O.A. Ilnitsky, et al. // Agronomy Research. 2019. Vol. 17(2). P. 518–39. doi: 10.15159/AR.19.065
13. Plugatarь Ю.В., Корсакова С.П., Ковалев М.С. Сравнительная оценка СО₂/Н₂О-газообмена вечнозеленых древесно-кустарниковых растений в благоприятных и стрессовых условиях внешней среды // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2020. № 135. С. 9–23. doi: 10.36305/0513-1634-2020-135-9-23
14. Pashtetsky A., Plugatar Y.V., Ilnitsky O., Korsakova S. Using of phytomonitoring data for eco-physiological evaluation of the environmental factors limiting development of ornamental plants // Acta Horticulture. 2019. Vol. 1263. P. 199–206. doi: 10.17660/ActaHortic.2019.1263.25
15. The effect of daily light integral on bedding plant growth and flowering / J.E. Faust, V. Holcombe, N.C. Rajapakse, et al. // American Society for Agriculture Research. 2005. Vol. 40. No. 3. P. 645–649. doi: 10.21273/HORTSCI.40.3.645

Поступила в редакцию 31.03.2021

После доработки 03.05.2021

Принята к публикации 18.05.2021

Зоотехния и ветеринария

УДК 636.22/28.034

DOI:10.31857/S250026272103011X

ПРОДУКТИВНЫЕ КАЧЕСТВА КОРОВ ЯРОСЛАВСКОЙ ПОРОДЫ И ЕЁ ПОМЕСЕЙ С ГОЛШТИНСКОЙ

Г.Н. Левина, доктор сельскохозяйственных наук,
М.В. Зелепукина, кандидат сельскохозяйственных наук, М.С. Саблина, аспирант

Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста,
142132, Московская обл., Подольск, пос. Дубровицы, 60
E-mail: gnlevina@yandex.ru

Исследования проводили с целью определения рациональности использования на маточном поголовье ярославской породы крупного рогатого скота быков голштинской породы для ее совершенствования. Базой для изучения продуктивности, сохранности и продолжительности сервис-периода коров в динамике первых трех лактаций были коровы ярославской породы ($n=458$) и сверстницы с кровностью по голштинской породе 38...50 % ($n=167$) племенного завода в Ивановской области. Для определения компонентов молока из них формировали две группы пар-аналогов (по 50 голов в каждой). При удое по первой 4,1...5,0 тыс. кг голштинизированные ярославские коровы по суммарному удою за три лактации превосходили чистопородных сверстниц на 169 кг, но при удое по первой лактации 5,1...6,0 тыс. кг, наоборот, уступали им на 556 кг, а при 6,1...7,0 тыс. кг – на 1564 кг. У помесных особей продолжительность сервис-периода за три лактации увеличилась, относительно чистопородных ярославских сверстниц, на 21...40 дней, сохранность коров ко второй и третьей лактации сократилась в среднем на 10 %, к четвертой – на 20 %. Суточный удой у голштинизированных животных на первой стадии трёх лактаций был меньше, чем у чистопородных сверстниц, на 1,6...3,0 кг, массовая доля белка на второй стадии 2-ой и 3-ей лактаций – на 0,09 и 0,13 % соответственно, содержание лактозы на разных стадиях этих лактаций – на 0,08 и 0,20 %. Размер жировых шариков молока чистопородных ярославских коров был достоверно больше, чем у голштинизированных, на 0,10...0,11 мкм, их количество зимой – на 0,15 млрд/мл, что свидетельствует о его большей пригодности для изготовления сыра и масла.

PRODUCTIVE QUALITIES OF YAROSLAVL COWS AND THEIR CROSSBREDS WITH HOLSTEIN COWS

Levina G.N., Zelepukina M.V., Sablina M.S.

Federal Science Center for Animal Husbandry,
142132, Moskovskaya obl., Podol'sk, pos. Dubrovitsy, 60
E-mail: gnlevina@yandex.ru

The researches were carried out in order to determine the rationality of using Holstein bulls on the brood stock of the Yaroslavl breed of cattle for its improvement. The cows of the Yaroslavl breed ($n=458$) and peers with a blood content of 38% -50 % ($n=167$) of the Holstein breeding plant in the Ivanovo region became the basis for studying the productivity, safety and service period of cows in the dynamics of the first three lactation periods and the highest ones. Two groups of cow pairs were formed to determine the components of milk (50 cows in each group): the 1st group were the purebred Yaroslavl cows and the 2nd-contemporaries with the blood content of the Holstein breed 38 %-50 %. Holstinized Yaroslavl cows in total milk yield for three lactation (with milk yield for the first 4.1...5.0 thousand kg) surpassed purebred peers by 169 kg, but with milk yield for the first 5.1...6.0 thousand kg were inferior by 556 kg, and with 6.1...7.0 thousand kg they were inferior by 1564 kg. The duration of the service period for three lactation increased in crossbred individuals in comparison with purebred Yaroslavl peers by 21 ... 40 days. The safety of cows for the second and the third lactation decreased by an average of 10 %, it also decreased by 20 % by the fourth lactation. The daily milk yield of Holstein cows at the first stage of three lactations was less than that of purebred peers by 1.6...3.0 kg. The mass fraction of protein at the second stage of the 2nd and 3rd lactation was less by 0.09 and 0.13% respectively. The lactose at different stages of these lactations was less by 0.08 and 0.20 %. The size of fat balls of milk of purebred Yaroslavl cows is significantly larger than that of holstinized cows by 0.10...0.11 micrometer, their number in winter increased by 0.15 billion / ml, which indicates its greater suitability for the production of cheese and butter.

Ключевые слова: ярославская порода, лактации, удой, компоненты молока, изменчивость

Key words: yaroslavl breed, lactation, milk yield, milk components, variability

Ярославская порода одна из старейших отечественных молочных пород крупного рогатого скота. Как и любая локальная порода, она служит резервом наследственных качеств [1]. В структуре племенного поголовья страны ярославская порода занимает 8 место и включает 26344 племенных особей, в том числе 16330 коров [2]. Однако ежегодник по племенной работе не отражает реального состояния её генофонда, поскольку большая часть поголовья молочных пород в стране представляет собой помеси различных вариантов скрещивания, а доля чистопородных животных значительно ниже, чем считается официально, в частности, численность чистопородного поголовья ярославской породы находится на критическом уровне [3].

В нашей стране совершенствование крупного рогатого скота молочного направления использования, начиная со второй половины XX в., осуществляется с использованием голштинской породы. При этом основное внимание стали уделять увеличению молочности коров и в значительной степени производству питьевого молока. Однако опыт европейских стран показал, что интенсивное использование голштинской породы вызывает проблемы с качеством сырья для производства сыра, особенно твердых сортов. В нашей стране в родословной большей части поголовья коров молочных пород присутствуют предки голштинской породы, и при изготовлении сыра из их продукции возникают аналогичные проблемы [4].

Потребительские качества животноводческой продукции определяются условиями ее производства, которые очень вариабельны, что, в свою очередь, вызывает необходимость поддержания высокого генетического разнообразия пород животных [5, 6]. Кроме того, в последние годы к молоку, которое содержит все необходимые для человеческого организма питательные вещества в хорошо сбалансированных соотношениях, возрос интерес как к сырьевой основе для производства продуктов с высокой биологической ценностью [7, 8]. Суточная норма молока, которая составляет для взрослого человека 750 г, на 100 % обеспечивает потребность в животном жире, кальции, калии, фосфоре; на 53 % – в животном белке; на 35 % – в биологически активных незаменимых жирных кислотах и в витаминах А, С, тиамине; на 12,6 % – в фосфолипидах и на 26 % – в энергии [9, 10].

За последние десятилетия сведения о составе молока значительно расширились. Если в 1950-е гг. знали о 200 соединениях, сейчас известно о более чем 2000 природных веществах молока. Их разделяют на основные, содержание которых превышает 1 % от общей массы молока, и второстепенные. В качестве основных компонентов, непосредственно влияющих на вкусовые и технологические свойства молока, выделяют молочный жир, белок и лактозу [11, 12]. Особое внимание при оценке качества молока обращают на физико-химические показатели [13, 14].

Важные характеристики локальных пород крупного рогатого скота – продуктивное долголетие и показатели воспроизводства, значимость которых возросла на фоне массовой голштинизации [15, 16].

Цель исследований – сравнить показатели продуктивности, сохранности и воспроизводства в динамике лактации, а также содержание основных компонентов молока по стадиям 1...3 лактации у чистокровных коров ярославской породы и их сверстниц помесей с голштинской породой для определения рациональности совершенствования маточного поголовья ярославской породы крупного рогатого скота быками голштинской.

Методика. Для анализа использовали данные по стаду племенного завода, расположенного в Ивановской области, удой коров которого находился на уровне 6,0 тыс. кг молока: 458 голов ярославской породы (100 % ЯР) и 167 их сверстниц с кровностью по голштинской породе 38...50 % (38...50 % ГШ). Для изучения компонентов молока по стадиям первых трёх лактаций из них сформировали две группы животных численностью по 50 голов. Для определения количества и размеров жировых шариков молока из каждой

группы было выделено по 20 коров. В группах были особи, отобранные по принципу пар-аналогов с учётом возраста и даты отёла, потомки не менее чем трёх быков-производителей. Животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Ежемесячный анализ молока выполняли на инфраспектрометрическом анализаторе CombiFoss FT. При определении состава молока принимали во внимание следующие стадии лактации: 1-я (начало раздоя) – с 10 по 70 день, 2-я (раздой) – с 71 по 130 день и 3-я (спад лактации) – со 131 по 290 день. Учитывая, что официальная оценка быка-производителя проводится по первой лактации дочерей, для анализа данных животных распределили с учётом величины удоя коров по первой лактации с разницей в грациях на 1000 кг.

Экспериментальные данные обрабатывали на компьютере с использованием программы Microsoft Office Excel. Достоверность различий между показателями определяли с использованием методов непараметрической статистики для связанных совокупностей (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$) и критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Важнейшие стратегические приоритеты развития молочного скотоводства в современных условиях – инновационные процессы, позволяющие совершенствовать породы на основе самых современных достижений науки. В молочном скотоводстве такой подход предусматривает не только систему мероприятий по проведению комплекса исследований для повышения биологического потенциала продуктивности животных, но и периодический анализ в целях корректировки систем их разведения. Учитывая продолжительный период смены поколений, эффективность отрасли зависит не только от увеличения удоя, но и от улучшения качественного состава молока, повышения сохранности коров в динамике лактации, оптимизации функции воспроизводства. В нашем случае определение уровня перечисленных параметров необходимо для оценки коров нового генотипа, созданного с использованием голштинских быков на маточном поголовье ярославской породы.

Отмечено, что по мере увеличения удоя при первой лактации, ускоряется проявление наивысшего удоя коров и, что очень важно, сокращается продолжительность их использования. Так, с увеличением удоя по первой лактации с 4,1 тыс. кг до 7,0 тыс. кг, сохранность животных с кровью голштинской породы ко второй и третьей лактации была меньше, чем у чистопородных ярославских сверстниц, в среднем на 10 %, к четвёртой – на 20 % (табл. 1).

При удое по первой лактации 4,1...5,0 тыс. кг ко-

Табл. 1. Максимальная продуктивность коров и сохранность в зависимости от удоя на 1-й лактации

Грация по удою за 1-ю лактацию, кг	Число дочерей	Наивысшая лактация дочерей			Сохранность от 1-ой лактации, %		
		№	удой, кг	МДЖ, %	ко 2-ой	к 3-ей	к 4-ой
100 % ЯР:					84	72	67
4,1...5,0	201	5	5998 ± 64,3	4,00 ± 0,03	99	98	98
5,1...6,0	235	4	6520 ± 58,6	4,01 ± 0,02	83	68	67
6,1...7,0	22	1	6667 ± 71,1	4,05 ± 0,02	69	51	36
38...50 % ГШ:					74	62	47
4,1...5,0	62	3	5869 ± 72,5	3,99 ± 0,04	89	81	69
5,1...6,0	87	3	6325 ± 81,0	4,00 ± 0,01	70	56	46
6,1...7,0	18	1	6333 ± 102,4	3,91 ± 0,02	63	50	25

Табл. 2. Динамика удоя и сервис-периода по лактациям коров двух генотипов при равных удоях по первой лактации

Показатель	Градации удоя по первой лактации, тыс. кг						100 % ЯР ± 38...50 % ГШ		
	100 % ЯР			38...50 % ГШ			4,1...5,0	5,1...6,0	6,1...7,0
	4,1...5,0 (n=201)	5,1...6,0 (n=235)	6,1...7,0 (n=22)	4,1...5,0 (n=62)	5,1...6,0 (n=87)	6,1...7,0 (n=18)			
в возрасте 1 лактации									
Удой за 305 дней, кг	4672±52,3	5587±46,9	6667±71,1	4662±86,7	5424±54,3*	6333±102,4***	+10	+163	+334
Сервис-период, дней	98±4,4	118±4,5	141±6,7	120±9,7***	129±17,7	131±22,2	-22	-11	+10
в возрасте 2 лактаций									
Удой за 305 дней, кг	5434±41,9	5990±44,7	6338±87,1	5702±96,3**	5899±102,4	5782±112,7***	-268	+91	+556
Сервис-период, дней	109±4,7	100±4,3	104±8,7	108±9,1	107±11,2	119±13,9	+1	-7	-15
в возрасте 3 лактаций									
Удой за 305 дней, кг	5958±52,8	6380±49,3	6634±114,8	5869±72,5	6325±81,0	5960±110,9***	+89	+55	+674
Сервис-период, дней	94±3,8	91±3,6	91±7,0	94±4,0	113±7,1***	120±16,3	=	-22	-29
Σ за 3 лактации									
Удой, кг	16064±147	17957±141	19639±273	16233±256	17648±238	18075±326***	-169	309	1564
Сервис-период, дней	301±12,9	309±12,4	336±22,4	322±22,8	349±36	370±52,4	-21	-40	-34

ровы с кровью голштинов превосходили сверстниц по суммарной величине этого показателя за три лактации (по 305 дней) на 169 кг, но при удое по первой лактации 5,1...6,0 и 6,1...7,0 тыс. кг уступали им на 556 кг и 1564 кг соответственно. Кроме того, у голштинизированных коров отмечено увеличение продолжительности сервис-периода за три лактации, по сравнению с чистопородными ярославскими, на 21...40 дней (табл. 2).

У чистопородных коров ярославской породы в период раздоя (на 1 и 2 стадиях) удой на 1...3 лактациях был выше, чем у сверстниц, имеющих кровь голштинской породы, но достоверная ($p < 0,05$; $p < 0,01$) разница по удою была только на 1-ой стадии: по 1-ой лактации – на 2,3...3,0 кг, по 2-ой – на 1,6...2,2 кг, по 3-ей – на 1,9...2,2 кг (табл.3).

Содержание жира в молоке животных разных генотипов находилось на одном уровне. По массовой

доле белка в молоке отмечена достоверная разница на второй стадии 2 и 3 лактации в пользу чистопородных коров на 0,09 и 0,13 % соответственно. Кроме того, у чистопородных коров величина этого показателя, при незначительном различии (3,20...3,23 %) по стадиям 1 и 2 лактации, на 3 лактации возрастала до 3,27...3,29 %. У помесных сверстниц варьирование массовой доли белка отмечали по всем стадиям лактации, с наименьшими величинами на второй стадии 2 и 3 лактации (3,13...3,14 %).

Содержание лактозы, в отличие от других компонентов молока, было стабильным, за исключением первой стадии 2 лактации и второй стадии 3 лактации, когда у чистопородных коров ярославской породы оно было достоверно выше, чем у помесных сверстниц. Точка замерзания молока коров обеих групп находилась на одном уровне.

Табл. 3. Качество молока коров по стадиям трёх лактации

Стадия лактации	100 %ЯР (n=50)					38...50 %ГШ (n=50)				
	Суточный удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	лактоза, %	ТЗ, °С	Суточный удой, кг	МДЖ, %	МДБ, %	лактоза, %	ТЗ, °С
1-я лактация										
1	24,7±0,18	3,95±0,02	3,23±0,03	4,76±0,03	-0,53±0,004	21,7±0,24**	3,97±0,02	3,22±0,03	4,75±0,04	-0,55±0,010
2	22,4±0,16	3,94±0,04	3,23±0,03	4,71±0,02	-0,53±0,004	20,1±0,25	3,94±0,05	3,26±0,04	4,77±0,04	-0,53±0,007
3	17,1±0,15	3,96±0,02	3,20±0,02	4,77±0,02	-0,53±0,003	17,1±0,30	4,00±0,02	3,19±0,03	4,76±0,02	-0,52±0,005
2-я лактация										
1	25,3±0,21	4,05±0,04	3,23±0,04	4,67±0,08	-0,54±0,007	23,7±0,53*	4,04±0,09	3,21±0,07	4,47±0,07*	-0,53±0,011
2	23,3±0,20	3,96±0,03	3,22±0,02	4,80±0,03	-0,54±0,003	21,1±0,57	3,98±0,06	3,13±0,03*	4,86±0,08	-0,54±0,006
3	17,7±0,15	4,01±0,02	3,21±0,02	4,74±0,03	-0,53±0,004	18,6±0,63	3,94±0,03	3,26±0,03	4,76±0,02	-0,54±0,004
3-я лактация										
1	25,3±0,26	3,93±0,02	3,29±0,04	4,77±0,03	-0,54±0,003	23,1±0,34*	4,01±0,07	3,36±0,05	4,82±0,03	-0,55±0,004
2	22,9±0,28	3,94±0,03	3,27±0,02	4,77±0,02	-0,54±0,004	21,0±0,24	3,98±0,05	3,14±0,03***	4,69±0,05*	-0,53±0,006
3	17,4±0,31	3,93±0,02	3,29±0,02	4,78±0,02	-0,54±0,003	17,6±0,31	3,96±0,02	3,22±0,06	4,76±0,03	-0,53±0,003

Табл. 4. Коэффициенты изменчивости (Cv %) компонентов и точки замерзания молока

Показатель	Лактация								
	1 -я			2 -я			3 -я		
	стадия								
	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я	1-я	2-я	3-я
100 % ЯР									
Суточный удой	6,6	6,5	8,0	7,3	6,8	6,9	9,2	11,0	11,6
МДЖ	5,4	5,0	6,2	7,6	5,6	5,8	4,0	5,0	5,2
МДБ	5,7	5,7	7,5	6,3	4,1	5,5	6,4	5,7	5,5
Лактоза	3,8	3,5	3,1	8,2	4,1	4,0	3,5	3,7	3,0
ТЗ	4,2	4,2	4,8	6,3	3,1	4,3	3,5	4,6	4,0
38...50 % ГШ									
Суточный удой	7,1	8,0	11,2	9,4	10,7	14,3	7,9	6,9	9,2
МДЖ	4,0	6,7	6,6	8,1	5,5	4,9	7,4	6,9	3,4
МДБ	4,5	5,9	8,0	7,5	4,6	5,1	5,7	5,1	7,3
Лактоза	4,4	4,1	3,0	11,8	4,9	2,1	2,7	4,6	2,6
ТЗ	4,5	5,2	4,5	6,4	3,1	2,8	2,7	3,9	1,9

Наибольшая изменчивость удоя чистопородных коров по стадиям отмечена в третьей лактации (9,2...11,6 %), у помесных – во второй (9,4...14,3 %). Самую высокую вариацию массовой доли жира в молоке животных различных генотипов наблюдали во 2-ой лактации: у чистопородных – 5,6...7,6 %, у помесных – 4,9...8,1 % при большем значении на первой стадии (табл. 4). Изменчивость массовой доли белка в молоке коров обеих групп была выше в первой лактации с большей величиной на третьей стадии: у чистопородных – 5,7...7,5 %,

у помесных – 4,5...8,0 %. Коэффициенты изменчивости лактозы и точки замерзания молока животных различных генотипов были более высокими в первую стадию второй лактации.

Технологические свойства молока также характеризуют величина и количество жировых шариков. Следует отметить, что сезонность не влияла на их размер. Так, зимой у чистопородных ярославских коров он был равен 2,35 мкм против 2,24 мкм у голштинизированных животных, летом – соответственно 2,36 мкм против 2,26 мкм. Количество жировых шариков в зимний период достоверно повышалось, по сравнению с летним, у чистопородных ярославских особей на 0,47 млрд/мл, у голштинизированных – на 0,37 млрд/мл. При этом чистопородные ярославские коровы достоверно превосходили голштинизированных сверстниц по количеству жировых шариков зимой (2,88 млрд/мл против 2,73 млрд/мл). Такие результаты свидетельствуют о том, что молоко чистопородных ярославских коров лучше подходит для изготовления сыра и масла, чем продукция голштинизированных животных.

Чистопородные ярославские особи по сумме молочного жира и белка за три лактации превосходили помесных сверстниц на 64,5 кг, по калорийности в 100 г молока – на 0,08 ккал (табл. 5).

Таким образом, в наших исследованиях установлено, что голштинизированные коровы при практически равном суммарном удое за три лактации, уступали чистопородным ярославским по сохранности поголовья ко 2-ой и 3-ей лактации – на 10 %, к 4-ой – на 20 %; по суммарной величине молочного жира и белка за три лактации – на 64,5 кг; по количеству жировых шариков в молоке в зимний период на 0,15 млрд/мл. Кроме того, чистокровные животные ярославской породы отличались меньшей продолжительностью сервис-периода за три лактации (при разной величине удоя по первой) на 21...40 дней, а с 71 по 130 день 2 и 3 лактации – достоверно большим содержанием белка в молоке на 0,09 и 0,13 % соответственно.

Табл. 5. Удой и калорийность молока коров

Показатель	По 1-ой лактации	По 1-ой + 2-ой лактациям	По 1-ой + 2-ой + 3-ей лактациям
100 % ЯР			
Σ удоя за полные лактации, кг	6630±367,2	13473±386,4	19825±230,0
Σ дойных дней	326 ±18,7	654±20,3	957±11,7
Удой на 1 день лактирования, кг	20,3 ±0,37	20,6±0,31	20,7±0,27
Σ молочного жира и белка, кг	475,4	977,0	1464,6
Белок + жир на 1 день лактирования, кг	1,46	1,49	1,53
Калорийность (в 100 г молока), ккал	66,23	66,89	66,25
38...50 % ГШ			
Σ удоя за полные лактации, кг	6222 ±375,1	12956±423,0	19445±253,8
Σ дойных дней	357±25,9	674±23,4	966±18,4
Удой на 1 день лактирования, кг	17,4±0,51	19,2±0,31	20,1±0,22
Σ молочного жира и белка, кг	447,4	931,6	1400,0
Белок + жир на 1 день лактирования, кг	1,25	1,38	1,45
Калорийность (в 100 г молока), ккал	65,52	65,83	65,93

Литература.

1. Столповский Ю.А., Захаров-Гезехус И.А. Проблема сохранения генофондов доместифицированных животных // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. 21(4). С. 477–486. doi: 10.18699/VJ17.266.
2. Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации (2019). М.: ФГБНУ ВНИИплем, 2020. 270 с.
3. Паронян И.А. Возможности сохранения и совершенствования генофонда пород крупного рогатого скота отечественной селекции // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 63–66. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10516.
4. Генотипы пород крупного рогатого скота и качество молока /В.А. Иванов, Н.С. Марзанов, Л.И. Елисеева и др. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2017. №3. С.48–64.
5. Паронян И.А. Современное состояние генофонда молочных и молочно-мясных пород крупного рогатого скота в Российской Федерации // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 79–83.
6. Мысик А.Т. Состояние животноводства в мире, на континентах, в отдельных странах и направления развития // Зоотехния. 2014. №1. С. 2–6.
7. Иванов В.А., Таджиев К.П. Качество молока симментальских и симментал-голландских помесных коров // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. №7. С.154–159.
8. Ерофеев В.И., Андреев А.И., Шолин С.Ю. Влияние генотипа животных на молочную продуктивность и качества молока // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. №4. (52). С. 122–125.
9. Milk composition of Holstein cows: a retrospective study / C. BondanI, J.A. Folchini, M. Noro, et al. // Ciência Rural. 2018. Vol. 48, No. 12. С. 1–8.
10. Sevostyanova E.A., Belokurov S.G. The qualitative composition of milk and its nutritional value in cows of different breeds // Young scientist. 2019. № 20. P. 70–74.
11. Тёпел А. Химия и физика молока / пер. с нем. под ред. С. А. Фильчаковой. СПб.: Профессия, 2012. 831с.
12. Glebova A.S., Krasilshchik E.A. Veterinary Medicine in the Range of Problems of Sustainable development // Actual issues of the development of science and technology: Collection of articles of the international scientific-practical conference of young scientists. Kostroma: Kostroma State Agricultural Academy, 2017. P. 183–188.
13. Лапина Т.А., Шендаков А.И. Показатели молока коров в Орловской области // Биология в сельском хозяйстве. 2016. №4 (13). С. 22–25.
14. Уткина О.С., Усманова А.А. Влияние сезона года на качество молока, а также на выход и качество обезжиренного творога // Материалы 150 международной науч.-практ. конференции, посвященной 70-летию ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы. 2013. Т. 1. С. 194–198.
15. Саморуков Ю.В., Марзанов Н.С., Богданова Т.В. Продуктивное долголетие коров отечественных пород //Аграрный вестник Верхневолжья. 2014. №4. С. 33–40.
16. Основные генетические причины эмбриональных потерь в молочном скотоводстве, связанные с интенсивной селекцией по продуктивности / С.В. Гуськова, И.С. Турбина, Г.В. Ескин и др. // Молочное и мясное скотоводство. 2014. №3. С.10–14.

Поступила в редакцию 19.03.2021

После доработки 10.04.2021

Принята к публикации 29.04.2021

ВОЗДЕЙСТВИЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ИНКУБАЦИИ НА РОСТ КУРИНЫХ ЭМБРИОНОВ КРОССА ХАЙСЕКс КОРИЧНЕВЫЙ И РАЗВИТИЕ ИХ ВИСЦЕРАЛЬНЫХ ОРГАНОВ

М.И. Челнокова, кандидат биологических наук

Великолукская государственная сельскохозяйственная академия,
182112, Псковская обл., Великие Луки, просп. Ленина, 2
Email: marinachelnokova@yandex.ru

Исследования проводили с целью изучения влияния дифференцированной температуры инкубации (37,8 °С – 1...14 сутки; 39,5 °С в течение 2 часов ежедневно – 15...17 сутки; 37,5 °С – 18 сутки; 37,0 °С – 19...20 сутки) на рост куриных эмбрионов Хайсекс коричневый, развитие их висцеральных органов и раннее постнатальное развитие цыплят. Повышение (39,5 °С в течение 2 ч на 15...17 сутки) и понижение (37,5 °С на 18 сутки; 37,0 °С на 19...20 сутки) температуры инкубации на протяжении исследуемого периода эмбриогенеза кур способствовало увеличению массы тела эмбрионов и их висцеральных органов, по сравнению со стабильной температурой (37,6 °С). При дифференцированной температуре инкубации отмечали следующие достоверные изменения относительной скорости роста мышечного желудка, по сравнению с предыдущим периодом с другим температурным режимом: увеличение – на 18 сутки при температуре 37,5 °С, снижение – на 15...17 сутки при температуре 39,5 °С и на 19...20 сутки при температуре 37,0 °С. Сравнительный статистический анализ относительной скорости роста длины и массы тела, а также массы висцеральных органов куриных эмбрионов при дифференцированной температуре инкубации, в сравнении со стабильной, не выявил достоверно значимых различий ($p > 0,05$). При дифференцированном температурном режиме, в сравнении с постоянным, на 15...17 и 18 сутки отмечен выраженный интенсивный аллометрический рост массы сердца и печени куриных эмбрионов, на 19...20 сутки – длины тела и массы желудка. Эффект дифференцированной температуры инкубации проявлялся в увеличении массы тела, сердца, мышечного желудка, печени куриных эмбрионов, раннем вылуплении цыплят на 19 сутки, повышении линейных и весовых размеров тела в раннем постнатальном онтогенезе.

EFFECT OF DIFFERENTIATED TEMPERATURE OF INCUBATION ON THE GROWTH OF CHICKEN EMBRYOS CROSS HAYSEX BROWN AND DEVELOPMENT OF THE VISCERAL ORGANS

Chelnokova M.I.

State Agricultural Academy of Velikie Luki,
182112, Pskovskaya obl., Velikie Luki, prosp. Lenina, 2
Email: marinachelnokova@yandex.ru

The effects of the differentiated incubation temperature (37.8°C – 1-14 days; 39.5°C for 2 hours daily – 15-17 days; 37.5°C – 18 days; 37.0°C – 19-20 days) on the growth of Hensex brown embryos and the development of their visceral organs, as well as on the early postnatal development of chickens were studied. Increase (39.5°C for 2 hours on 15-17 days) and decrease (37.8°C from 1 to 14 days; 37.5°C on 18 days; 37.0°C on 19-20 days) incubation temperatures throughout the entire study period of chicken embryogenesis contribute to an increase in the weight size of the body of chicken embryos and their visceral organs compared to a stable temperature (37.6°C). Under conditions of differentiated incubation temperature, there was a significant increase in the relative growth rate of the muscular stomach on day 18 at a temperature of 37.5°C compared to 5...17 days and its decrease on day 15...17 at a temperature of 39.5°C compared to 10...14 days and day 19...20 at a temperature of 37.0°C compared to 18 days. Comparative statistical analysis of the relative growth rate of body length and weight, as well as visceral organs of chicken embryos at a differentiated incubation temperature in comparison with a stable temperature did not reveal significantly significant differences in these parameters ($p > 0.05$). At a differentiated temperature of 39.5°C and 37.5°C on 15-17 and 18 days, respectively, in comparison with a stable temperature, there was a pronounced intensive allometric increase in the weight of the heart and liver of chicken embryos, at a temperature of 37.0°C on 19-20 days - body length and stomach weight. The differential effect of incubation temperature resulted in the increase of the absolute values of body weight, heart, muscle, stomach, liver of chicken embryos in the early hatching of the chicks on the 19th day, and also to increase the weight and linear body measurements in early postnatal ontogenesis.

Ключевые слова: куриные эмбрионы, эмбриогенез, дифференцированная температура инкубации, аллометрия, сердце, печень, мышечный желудок

Key words: chicken embryos, embryogenesis, differentiated incubation temperature, allometry, heart, liver, muscular stomach

Эмбриональное и раннее постнатальное развитие считаются наиболее уязвимыми фазами жизненного цикла домашних птиц *Gallus gallus* в отношении воздействия температуры искусственной инкубации [1]. Это наиболее важный фактор внешней среды искусственной инкубации, влияющий на выводимость птиц и постнатальное развитие. Принимая во внимание, что при естественном насиживании яиц домашних птиц рода *Gallus gallus* температура может колебаться в ши-

роком диапазоне от 30 до 40 °С [2], особое внимание следует уделять возможному сочетанию влияния низких и высоких температур при искусственной инкубации. Однако исследований, посвященных изучению воздействия дифференцированной температуры на рост и развитие куриных эмбрионов и их висцеральных органов в процессе искусственной инкубации, опубликовано недостаточно [3, 4]. Ранее мы установили, что при поддержании температуры с 1 по 14 сутки

на уровне 37,8 °С с последующим повышением до 39,5 °С в течение 3 ч ежедневно на 15...17 сутки, снижение ее на 18 сутки до 37,5 °С, а затем с 19 суток по 20 сутки до 37,0 °С увеличивает выводимость и снижает эмбриональную смертность цыплят, по сравнению со стабильной температурой искусственной инкубации [5].

Цель исследований – оценка влияния дифференцированного температурного режима на рост куриных эмбрионов, развитие висцеральных органов и раннее постнатальное развитие цыплят кросса Хайсекс коричневый.

Методика. Эксперименты проводили на базе Великолукской ГСХА. Объектом для исследований служили инкубационные яйца кур Хайсекс коричневый, приобретенные в ЛПХ «Южный» Смоленской области. Возраст поголовья родительского стада, от которого получено инкубационное яйцо, 30 недель. Предварительно перед инкубацией оплодотворенные яйца взвешивали, отбирали по массе в диапазоне от 58 до 60 г, и закладывали в инкубатор ИЛБ-0,5. Дифференцированный режим инкубации яиц ($n=200$; средняя масса яиц $58,45 \pm 4,14$ г) предусматривал поддержание температуры с 1 по 14 сутки на уровне $37,8 \pm 0,10$ °С, с 15 по 17 сутки ее повышение до $39,5 \pm 0,10$ °С в течение 2 часов ежедневно, на 18 сутки уменьшение до $37,5 \pm 0,10$ °С, с 19 суток по 20 сутки – до $37,0 \pm 0,10$ °С. Относительная влажность воздуха составляла 57,0 %. Для проведения сравнительного анализа искусственную инкубацию оплодотворенных яиц ($n=200$; средняя масса яиц $58,72 \pm 4,16$ г) осуществляли при стабильной температуре $37,6 \pm 0,10$ °С с относительной влажностью воздуха 55,0 % (контроль).

Инкубированные яйца вскрывали ежедневно с 4 суток с соблюдением этических норм при работе с живыми биологическими объектами. Извлеченных эмбрионов, а также их висцеральные органы обсушивали на фильтровальной бумаге. Морфометрическую оценку роста и массы тела эмбрионов проводили с 4 по 20 сутки, висцеральных органов (сердца, мышечного желудка, печени) – с 9 по 20 сутки. Длину тела эмбрионов измеряли от верхушки черепа до конца хвоста с помощью электронного штангельциркуля Finch Industrial Tools 19856 (Canada Inc.), длину тела цыплят – от гребня до среднего пальца стопы. Массу тела эмбрионов, отдельных висцеральных органов и цыплят определяли на аналитических весах Сартогосм ЛВ 210-А (Россия).

Относительную скорость роста длины, массы тела и висцеральных органов куриных эмбрионов рассчитывали по формуле С. Броди [6]:

$$K = \frac{(W_t - W_0) \times 100}{(W_t + W_0) \times 0,5}, \quad (1)$$

где W_t – значение показателя в возрасте (t); W_0 – начальное значение показателя.

Для расчета относительного роста длины тела, массы сердца, мышечного желудка, печени от массы тела эмбрионов использовали формулу простой аллометрии:

$$y = ax^b, \quad (2)$$

где x – масса тела эмбриона, г; y – длина тела, см (масса органа, г); a – константа начального роста эмбриона; b – аллометрический и степенной коэффициент регрессии, показывающий во сколько раз быстрее ($b > 1$ – положительная аллометрия) или медленнее ($b < 1$ – отрицательная аллометрия) растет эмбрион в длину

или масса его орган относительно всего организма (при $b=1$ рост происходит изометрично).

Статистическую оценку данных проводили в программе Statistica 10.0 (Statsoft Inc, USA, 2010). Для сравнения изучаемых показателей использовали параметрический дисперсионный анализ One-way Anova с апостериорным анализом Newman-Keuls. С помощью регрессионного анализа Multiple Regression Analysis определяли коэффициент регрессии (b), свободный член (a) аллометрических уравнений, детерминированный коэффициент (R^2), значимость связи между исследуемыми признаками ($P_{F\text{-тест}}$).

Результаты и обсуждение. Не зависимо от режима инкубации отмечено достоверно значимое увеличение длины тела, массы тела, сердца, мышечного желудка, печени в период с 15 по 20 сутки, по отношению к 4...14 сутки (табл. 1; $p=0,000$). Ранее было установлено, что при повышении температуры с 1 по 3 сутки инкубации до 38,0 °С с последующим снижением до 37,6 °С с 4 по 20 сутки происходит усиленный рост длины и массы тела куриного эмбриона кросса Хайсекс коричневый, а также интенсивное развитие костей тазовой конечности [7] и сердца [8]. Положительное влияние дифференцированных температур инкубации на рост массы тела эмбрионов бройлеров кросса Росс 308 отмечали и другие авторы [3, 4].

Результаты множественного сравнительного анализа свидетельствуют, что повышение и снижение температуры при дифференцированном режиме инкубации приводит к достоверному увеличению массы и длины тела эмбрионов, массы сердца, мышечного желудка, печени к концу инкубации (см. табл. 1). При постоянной температуре не выявлено различий по длине тела эмбрионов на 15...17 и 18 сутки инкубации ($p=0,065$).

При дифференцированном воздействии температур в период с 1 по 20 сутки эмбриогенеза масса тела, мышечного желудка, печени куриных эмбрионов были достоверно больше на 15...17, 18, 19...20 сутки, а масса сердца на 18, 19...20 сутки, по сравнению со стабильной температурой (см. табл. 1). При температуре 37,8 °С на 4(9)...14 сутки анализируемые показатели были незначительно ($p>0,05$) больше, чем в варианте со стабильной температурой. На 15...17 сутки эмбриогенеза при дифференцированном режиме инкубации наблюдали достоверно значимое увеличение массы тела, по сравнению с контролем, на 2,72 г ($p=0,006$), массы мышечного желудка и печени эмбрионов кур – соответственно на 0,073 г ($p=0,014$) и 0,071 г ($p=0,006$). При снижении температуры на 18 сутки до 37,5 °С и на 19...20 сутки до 37,0 °С отмечали рост массы тела соответственно на 5,58 г и 4,53 г ($p=0,000$), сердца – на 0,034 г и 0,032 г ($p=0,001$; $p=0,002$), мышечного желудка – на 0,180 г и 0,145 г ($p=0,000$), печени – на 0,125 г и 0,119 г ($p=0,000$). Другими авторами [9] также было установлено, что дифференцированный температурный режим инкубации (37,5 °С с 0...14 сутки; 39,5 или 40,7 °С в течение 3 часов ежедневно 15...17 сутки; 37,5 °С на 18 сутки; 37,0 °С на 19...20 сутки) приводит к увеличению массы куриного эмбриона на 18-й день эмбриогенеза и массы цыплят на 1 день раннего постнатального онтогенеза.

На всем протяжении эмбриогенеза при дифференцированной температуре инкубации наблюдалось достоверное снижение относительной скорости роста массы и длины тела, массы мышечного желудка, печени куриных эмбрионов. Максимальное снижение относительной скорости роста длины тела эмбрионов отмечали на 18 сутки (табл. 2; $p=0,003$), массы тела,

Табл. 1. Влияние дифференцированной и стабильной температуры инкубации на абсолютные величины линейных и весовых размеров тела эмбрионов кур и их висцеральных органов

Температура	Сутки инкубации	МТ, г*	ДТ, см	МС, г	МЖ, г	МП, г
Дифференцированная температура						
37,8 °С	4...14 (9...14**)	3,099 ± 0,273	3,793 ± 0,155	0,052 ± 0,004	0,106 ± 0,012	0,103 ± 0,011
В течение 2 часов 39,5 °С	15...17	17,288 ± 0,661	7,367 ± 0,091	0,146 ± 0,007	0,491 ± 0,021	0,390 ± 0,018
37,5 °С	18	28,638 ± 0,469	8,533 ± 0,037	0,241 ± 0,002	0,970 ± 0,004	0,678 ± 0,006
37,0 °С	19...20	34,390 ± 0,446	9,717 ± 0,120	0,297 ± 0,008	1,157 ± 0,023	0,894 ± 0,014
<i>P-значение</i>						
37,8 °С _{4(9)...14 сут} × 39,5 °С _{15...17 сут}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37,8 °С _{4(9)...14 сут} × 37,5 °С _{18 сут}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37,8 °С _{4(9)...14 сут} × 37,0 °С _{19...20}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
39,5 °С _{15...17 сут} × 37,5 °С _{18 сут}		0,000	0,013	0,000	0,000	0,000
39,5 °С _{15...17 сут} × 37,0 °С _{19...20 сут}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37,5 °С _{18 сут} × 37,0 °С _{19...20 сут}		0,000	0,011	0,000	0,000	0,000
Стабильная температура						
	4...14 (9...14**)	2,497 ± 0,220	3,509 ± 0,143	0,042 ± 0,003	0,086 ± 0,010	0,084 ± 0,009
37,6 °С	15...17	14,569 ± 0,403	7,144 ± 0,093	0,127 ± 0,004	0,418 ± 0,014	0,319 ± 0,010
	18	23,057 ± 0,057	7,967 ± 0,237	0,207 ± 0,003	0,790 ± 0,002	0,553 ± 0,001
	19...20	29,857 ± 0,905	9,500 ± 0,108	0,265 ± 0,011	1,012 ± 0,029	0,775 ± 0,025
<i>P-значение</i>						
37,6 °С _{4(9)...14 сут} × 37,6 °С _{15...17 сут}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37,6 °С _{4(9)...14 сут} × 37,6 °С _{18 сут}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37,6 °С _{4(9)...14 сут} × 37,6 °С _{19...20}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37,6 °С _{15...17 сут} × 37,6 °С _{18 сут}		0,000	0,065	0,000	0,000	0,000
37,6 °С _{15...17 сут} × 37,6 °С _{19...20 сут}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37,6 °С _{18 сут} × 37,6 °С _{19...20 сут}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>P-значение</i>						
Диффер. _{4(9)...14 сут} × Стаб. _{4(9)...14 сут}		0,543	0,535	0,346	0,504	0,456
Диффер. _{15...17 сут} × Стаб. _{15...17 сут}		0,006	0,627	0,068	0,014	0,006
Диффер. _{18 сут} × Стаб. _{18 сут}		0,000	0,216	0,001	0,000	0,000
Диффер. _{19...20 сут} × Стаб. _{19...20 сут}		0,000	0,636	0,002	0,000	0,000

*(здесь и в остальных таблицах) МТ – масса тела, ДТ – длина тела, МС – масса сердца, МЖ – масса мышечного желудка, МП – масса печени. **массу и длину тела измеряли с 4 суток, массу сердца, мышечного желудка и печени – с 9 суток.

мышечного желудка, печени – 19-20 сутки ($p=0,000$). N.A.M. Elsayed с соавторами отмечают снижение относительной скорости роста массы печени и содержания в ней гликогена у куриных эмбрионов с повышением температуры в течение 3 ч ежедневно до 39,5 или 40,7 °С на 15...17 сутки [9]. Повышение температуры с 15 по 17 сутки инкубации приводит к увеличению концентрации глюкозы в плазме крови, вследствие распада гликогена в печени, что способствует эмбриональному росту и снижению смертности на поздних этапах эмбрионального развития. Авторы констатируют, что повышение температуры на 15...17 сутки способствует усилению обмена веществ, активному распаду гликогена и выделению большего количества энергии для

выведения цыплят [9]. N. Leksrisonpong с соавторами указывают на то, что повышение температуры до 39,5 °С после 14 суток эмбрионального развития ускоряет время вылупления цыплят, но снижает относительный прирост массы тела эмбрионов, массы сердца, мышечного желудка, железистого и тонкого кишечника, по сравнению с температурой 38,2 °С [10]. По данным других исследователей, снижение температуры до 36,7 °С на 19 сутки инкубации приводит к увеличению относительного прироста массы печени и селезенки у эмбрионов кур, по сравнению с высокой температурой (38,9 °С) [3].

В наших исследованиях в условиях дифференцированной температуры отмечено достоверное увели-

Табл. 2. Влияние дифференцированной и стабильной температуры инкубации на относительную скорость роста линейных и весовых размеров тела эмбрионов кур и их висцеральных органов

Температура	Сутки инкубации	МТ, %	ДТ, %	МС, %	МЖ, %	МП, %
Дифференцированная температура						
37,8 °С	5...14 (10...14*)	56,17 ± 2,90	15,74 ± 0,93	35,66 ± 1,63	53,71 ± 2,62	43,46 ± 2,47
В течение 2 часов 39,5 °С	15...17	26,19 ± 2,32	9,22 ± 0,81	20,50 ± 2,41	28,90 ± 1,22	22,55 ± 3,92
37,5 °С	18	28,05 ± 1,56	5,64 ± 0,65	26,08 ± 1,44	43,00 ± 1,34	31,31 ± 1,15
37,0 °С	19...20	11,55 ± 1,15	9,09 ± 1,29	15,35 ± 1,69	12,66 ± 1,94	16,12 ± 1,79
<i>P-значение</i>						
37,8 °С _{5(10)...} 14 сут × 39,5 °С _{15...17} сут		0,002	0,026	0,001	0,000	0,003
37,8 °С _{5(10)...} 14 сут × 37,5 °С ₁₈ сут		0,001	0,003	0,020	0,030	0,054
37,8 °С _{5(10)...} 14 сут × 37,0 °С _{19...20} сут		0,000	0,061	0,000	0,000	0,000
39,5 °С _{15...17} сут × 37,5 °С ₁₈ сут		0,837	0,444	0,173	0,004	0,164
39,5 °С _{15...17} сут × 37,0 °С _{19...20} сут		0,105	0,964	0,208	0,001	0,306
37,5 °С ₁₈ сут × 37,0 °С _{19...20} сут		0,310	0,242	0,026	0,000	0,044
Стабильная температура						
	5...14 (10...14*)	57,48 ± 3,61	16,73 ± 1,14	33,83 ± 2,68	54,80 ± 4,08	45,36 ± 3,06
37,6 °С	15...17	26,52 ± 2,99	9,78 ± 0,83	22,81 ± 1,58	31,48 ± 3,13	24,12 ± 0,36
	18	26,30 ± 0,96	8,96 ± 0,73	28,10 ± 1,63	40,21 ± 0,27	32,11 ± 0,42
	19...20	18,63 ± 1,62	11,06 ± 1,68	19,74 ± 3,28	17,41 ± 1,49	22,92 ± 1,19
<i>P-значение</i>						
37,6 °С _{5(10)...} 14 сут × 37,6 °С _{15...17} сут		0,013	0,038	0,005	0,010	0,000
37,6 °С _{5(10)...} 14 сут × 37,6 °С ₁₈ сут		0,034	0,040	0,330	0,067	0,011
37,6 °С _{5(10)...} 14 сут × 37,6 °С _{19...20} сут		0,010	0,043	0,002	0,000	0,000
37,6 °С _{15...17} сут × 37,6 °С ₁₈ сут		0,985	0,842	0,394	0,267	0,123
37,6 °С _{15...17} сут × 37,6 °С _{19...20} сут		0,803	0,697	0,531	0,078	0,816
37,6 °С ₁₈ сут × 37,6 °С _{19...20} сут		0,540	0,633	0,205	0,013	0,179
<i>P-значение</i>						
Диффер. _{5(10)...} 14 сут × Стаб. _{5(10)...} 14 сут		0,796	0,759	0,702	0,867	0,739
Диффер. _{15...17} сут × Стаб. _{15...17} сут		0,971	0,862	0,628	0,700	0,959
Диффер. ₁₈ сут × Стаб. ₁₈ сут		0,911	0,307	0,672	0,670	0,889
Диффер. _{19...20} сут × Стаб. _{19...20} сут		0,525	0,929	0,358	0,468	0,460
*относительная скорость роста массы сердца, мышечного желудка, печени рассчитана с 10 суток, массы тела – с 5 суток.						

чение относительной скорости роста мышечного желудка ($p=0,004$) на 18 сутки при температуре 37,5 °С, по сравнению с 15...17 сутками, и его снижение на 15...17 сутки при температуре 39,5 °С ($p=0,000$), по сравнению с 10...14 сутками, а также на 19...20 сутки при температуре 37,0 °С ($p=0,000$), по сравнению с 18 сутками.

При стабильной температуре 37,6 °С наблюдали достоверное снижение относительной скорости роста массы тела, длины тела и массы печени с 10 по 20 сутки, по сравнению с 5(10)...14 сутками, а массы сердца и мышечного желудка в течении 15...17 и 19...20 суток, по сравнению с 10...14 сутками (см. табл. 2). На протяжении 19...20 суток отмечали значимое умень-

шение относительной скорости роста массы желудка куриных эмбрионов ($p=0,013$), в сравнении с предыдущими сутками инкубации.

Достоверных изменений относительной скорости роста длины и массы тела, а также висцеральных органов куриных эмбрионов в зависимости от режима инкубации не наблюдали (см. табл. 2; $p>0,05$).

При обоих режимах инкубации наблюдалась отрицательная аллометрия (табл. 3). При дифференцированной температуре на 15...17 и 18 сутки отмечали выраженный интенсивный рост массы сердца и печени куриных эмбрионов, на 19...20 сутки – длины тела и массы желудка. В контрольном варианте высокие аллометрические коэффициенты зафиксированы по длине

Табл. 3. Аллометрия относительного роста длины тела и массы висцеральных органов при дифференцированной и постоянной температурах инкубации

Показатель	Сутки инку- бации	Дифференцированная температура				Стабильная температура			
		ДТ, г	МС, г	МЖ, г	МП, г	ДТ, г	МС, г	МЖ, г	МП, г
37,8 °С									
<i>b</i>	4...14	0,91 ± 0,04	0,98 ± 0,02	0,98 ± 0,03	0,98 ± 0,03	<i>0,92 ± 0,04*</i>	0,99 ± 0,02	0,98 ± 0,02	0,99 ± 0,02
R ²		0,829	0,969	0,962	0,964	0,856	0,974	0,869	0,974
P _{F-тест}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
В течении 2 часов 39,5 °С									
37,6 °С									
<i>b</i>	15...17	0,82 ± 0,12	<i>0,89 ± 0,09</i>	0,95 ± 0,06	<i>0,96 ± 0,06</i>	<i>0,92 ± 0,08</i>	0,63 ± 0,16	<i>0,97 ± 0,05</i>	0,88 ± 0,09
R ²		0,664	0,800	0,900	0,914	0,847	0,391	0,934	0,787
P _{F-тест}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
37,5 °С									
37,6 °С									
<i>b</i>	18	0,57 ± 0,31	<i>0,99 ± 0,05</i>	0,26 ± 0,36	<i>0,27 ± 0,36</i>	<i>0,78 ± 0,12</i>	0,45 ± 0,33	<i>0,52 ± 0,33</i>	0,06 ± 0,33
R ²		0,327	0,980	0,066	0,071	0,616	0,207	0,270	0,004
P _{F-тест}		0,110	0,000	0,503	0,487	0,000	0,217	0,151	0,887
37,0 °С									
37,6 °С									
<i>b</i>	19...20	<i>0,84 ± 0,13</i>	0,88 ± 0,12	<i>0,88 ± 0,11</i>	0,91 ± 0,11	0,79 ± 0,12	<i>0,98 ± 0,05</i>	0,86 ± 0,12	<i>0,94 ± 0,08</i>
R ²		0,705	0,778	0,788	0,821	0,624	0,964	0,749	0,879
P _{F-тест}		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
*выделенные курсивом показатели аллометрического коэффициента регрессии (<i>b</i>) указывают на интенсивный рост.									

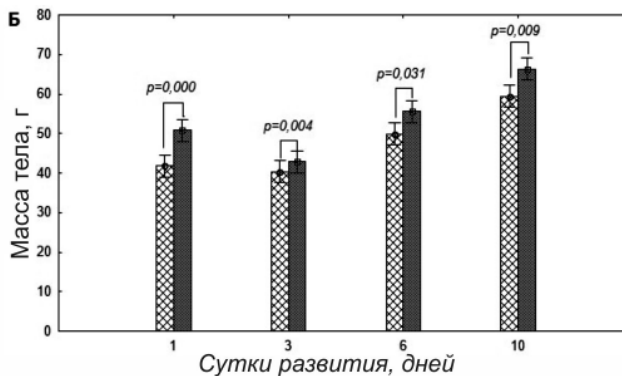
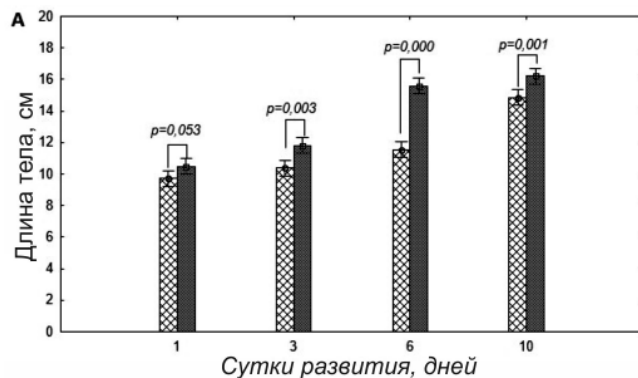
*выделенные курсивом показатели аллометрического коэффициента регрессии (*b*) указывают на интенсивный рост.

тела с 4 по 18 сутки инкубации, по массе сердца и печени – на 19...20 сутки, по массе мышечного желудка – с 15 по 18 сутки. При этом в известной нам научной литературе не обнаружено данных о влиянии температурных режимов инкубации на аллометрический рост куриных эмбрионов и их органов, что свидетельствует о актуальности таких исследований.

Модуляция температур во время инкубации положительно влияла на рост и развитие цыплят в раннем постнатальном онтогенезе (см. рисунок, А, Б). Отмечено достоверно значимое увеличение длины их тела на 3 сутки на 1,42 см ($p=0,003$), 6 сутки – на 4,04 см ($p=0,000$), 10 сутки – на 1,35 см ($p=0,000$), а также массы тела на 1 сутки – на 9,06 г ($p=0,000$), 3 сутки – на 2,50 г ($p=0,004$), 6 сутки – на 5,66 г ($p=0,031$), 10 сутки постнатального периода развития – на 6,88 г ($p=0,009$). Раннее вылупление цыплят и увеличение темпов их роста под влиянием варьирования температур инкуба-

ции в эмбриональный период отмечают и другие авторы [8, 9, 4].

В современной литературе существует ряд доказательств благоприятного влияния дифференцированных температур на развитие эмбрионов кур. Так, воздействие температуры 39,5 °С в течение 12 ч с 7 по 16 сутки стимулирует развитие кровеносных сосудов хориоаллантаиса, гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной оси, которые участвуют в формировании терморегуляторных механизмов куриного эмбриона [11]. Они улучшают термоустойчивость цыплят в постэмбриональный период. Воздействие высокой температуры 39,5 °С в течение 2 ч с 5 по 12 сутки увеличивает экспрессию генов, ответственных за ангиогенез и улучшает термотолерантность эмбриона во время инкубации [12]. По мнению Г.К. Отрыганьева и А.Ф. Отрыганьевой, а также зарубежных авторов повышение температуры во второй половине инкубации подавляет



Морфометрические показатели длины (А) и массы тела (Б) цыплят (n=10), выведенных при стабильной и дифференцированной температуре инкубации.

развитие эмбрионов, поэтому к концу инкубации, особенно, в выводной период ее необходимо снижать [3, 4, 13]. Использование низких температур на 18...20 суток улучшает переносимость цыплятами низкой температуры в постэмбриональный период и уменьшает вероятность развития асцита [12]. Временное повышение или понижение температуры инкубации яиц через определенные промежутки времени способствует мобилизации в первую очередь иммунной системы эмбрионов кур, которая играет важную роль в формировании механизмов адаптации к изменяющимся условиям внешней среды [14]. Адаптация к переменным (дифференцированным) температурам, формирующаяся в течение эмбриогенеза, повышает вывод молодняка кур и его качество, по сравнению с выводением при стабильном режиме инкубации [5].

Таким образом, анализ результатов исследования позволяет утверждать, что дифференцированная температура искусственной инкубации оказала статистически значимый эффект, который выразался в более интенсивном развитии куриных эмбрионов. К концу инкубации их масса была больше, чем при стабильном температурном режиме, на 4,53 г, масса сердца – на 0,032 г, мышечного желудка – на 0,145 г, печени – на 0,119 г. Кроме того, дифференциация температурного режима в период инкубации оказывает положительное влияние на рост и развитие цыплят в ранний постнатальный онтогенез: к 10 суткам длина их тела была больше на 1,35 см, масса – на 6,88 г.

Литература

1. Noiva R.M., Menezes A.C., Peleteiro M.C. Influence of temperature and humidity manipulation on chicken embryonic development // *BMC Vet Res.* 2014. Vol. 1 (10). P. 234–243.
2. Turner J.S. On the thermal capacity of a bird's egg warmed by a brood patch // *Physiol. Zool.* 1997. Vol. 70. P. 470–480.
3. Maatjens C.M., van Rooyt-Reijrink I.A.M., Engel B., van der Pol C.W., Kemp B., van den Brand H. Temperature during the last week of incubation. I. Effects on hatching pattern and broiler chicken embryonic organ development // *Poultry Science.* 2016. Vol. 95. P. 956–965.
4. Wijnen H.J., Molenaar R., van Rooyt-Reijrink I.A.M., van der Pol C.W., Kemp B., van den Brand H. Effects of incubation temperature pattern on broiler performance // *Poultry Science.* 2020. Vol. 99. P. 3897–3907.
5. Челнокова М.И., Шутенков А.Г., Сулейманов Ф.И. Воздействие температурных режимов и БАВ на эмбриональное развитие кур // *Птицеводство.* 2011. №5. С. 11–12.
6. Мина М.В., Клевезаль Г.А. Рост животных. М.: Наука, 1976. 291 с.
7. Половинцева Т.М., Сулейманов Ф.И. Развитие костей тазовой конечности эмбрионов кур при изменении температурно-влажностного режима / *Онтогенез.* 2008. Т. 3. № 39. С. 227–230.
8. Голубцова В.А., Сулейманов Ф.И., Ибрагимов М.Э. Влияние факторов внешней среды на рост и развитие эмбрионов кур // *Птица и птицепродукты.* 2008. №1. С. 21–22.
9. Elsayed N.A.M., Elkomy A.E., El-Saadany A.S., Hassan E.Y. New Suggested Schemes for incubation Temperature and Their Effect on Embryonic Development and Hatching // *Power Asian Journal of Poultry Science.* 2009. Vol. 3. №1. P. 19–29.
10. Leksrisompong N., Romero-Sanchez H., Plumstead P. W., Brannan K. E., Brake J. Broiler Incubation. I. Effect of Elevated Temperature During Late Incubation on Body Weight and Organs of Chicks // *Poultry Science.* 2007. Vol. 86. P. 2685–2691.
11. Piestun Y., Shinder D., Ruzal M., Halevy O., Brake J., Yahav S. The effect of thermal manipulation during the development of the thyroid and adrenal axes on in-hatch and post-hatch thermoregulation // *J. Therm. Biol.* 2008. Vol. 33. P. 413–418.
12. Yahav S., Tzschentke B. Perinatal thermal manipulation in poultry, does it cause long-lasting thermoregulatory memory? Verona: WPSA, 2006. URL: https://www.researchgate.net/publication/228489615_Perinatal_thermal_manipulations_in_poultry_does_it_cause_long-lasting_thermoregulatory_memory (дата обращения: 05.05.2021).
13. Отрыганьев Г.К., Отрыганьева А.Ф. Технология инкубации. М.: Росагропромиздат, 1989. 189 с.
14. Lis M.W., Niedziolka J. Development of avian embryo thermoregulation and artificial incubation // *Животноводство и ветеринарная медицина.* 2012. №12. С. 13–21.

Поступила в редакцию 07.02.2021

После доработки 20.03.2021

Принята к публикации 11.05.2021

ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО СТРЕССА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ И МИКРОКЛИМАТА ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Е.О. Крупин, кандидат ветеринарных наук

*Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
Федерального исследовательского центра Казанский научный центр РАН,
420059, Казань, ул. Оренбургский тракт, 48
E-mail: evgeny.krupin@gmail.com*

Исследования проводили с целью анализа уровня теплового стресса у крупного рогатого скота на территории Республики Татарстан путем расчета различных индексов для определения возможности их использования при оценке комфортности условий обитания животных. Анализ условий среды и микроклимата животноводческого помещения в летние месяцы (июнь, июль, август) проводили на основе результатов измерений, выполненных в 12 синоптический срок по Гринвичу, что соответствует 16:00 по местному времени. За изучаемый период (2016–2018 гг.) выявлена устойчивая тенденция к увеличению средней скорости ветра во внешней среде на 7,51 %. Чаще всего значения температурно-влажностного индекса (64,49 %) и скорректированного температурно-влажностного индекса (79,71 %), соответствующие тепловому стрессу, отмечали при расчете по Е.С. Том. При использовании скорректированного температурно-влажностного индекса независимо от применяемой методики отмечали большее (в среднем в 2,08 раза) число значений, соответствующих тепловому стрессу, чем при расчете обычного температурно-влажностного индекса. В случае использования эквивалентного температурного индекса тепловому стрессу соответствовало 25,00 % значений, при расчете предиктора частоты дыхания – 14,49 %. Внутри животноводческого помещения число значений, соответствующих тепловому стрессу, при расчете температурно-влажностного индекса методом Е.С. Том, было больше, чем при оценке условий внешней среды, на 21,33 %, методом W. Bianca – на 10,22 %, при использовании остальных методов оценки – в 2,72 раза меньше. На территории Республики Татарстан существует проблема теплового стресса для животных, выраженность которой зависит от применяемого индекса оценки или методики его расчета. Это необходимо учитывать при разработке соответствующего комплекса профилактических мероприятий.

HEAT STRESS EVALUATION BASED ON THE ANALYSIS OF EXTERNAL ENVIRONMENT PARAMETERS AND MICROCLIMATE OF LIVESTOCK BUILDINGS

Krupin E.O.

*Tatar Scientific Research Institute of Agriculture,
FRC Kazan Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
420059, Kazan, ul. Orenburgskii trakt, 48
E-mail: evgeny.krupin@gmail.com*

The studies were carried out to analyze heat stress on the territory of the Republic of Tatarstan on the basis of calculating various indices that allow assessing the comfort of environmental conditions for animals in the studied period of time. During the studied period of time, a stable tendency of an increase in the average wind speed in the external environment by 7.51% was revealed. The largest share of the values of the temperature-humidity index (64.49%) and the temperature-humidity index of the corrected (79.71%) calculated for the 12th synoptic period and corresponding to one degree or another of heat stress was obtained using the calculation method according to E.C. Thom. When calculating the temperature-humidity index, adjusted regardless of the method used, a greater (on average 2.08 times) number of values corresponding to heat stress was revealed than when calculating the temperature-humidity index. When calculating the equivalent temperature index, 25.00% of the values corresponding to heat stress are established. When calculating the respiratory rate predictor, the proportion of values corresponding to heat stress was 14.49%. When calculating the temperature and humidity index inside a livestock house using the E.C. Thom, the number of values corresponding to heat stress was higher than when assessing environmental conditions by 21.33%, by W. Bianca's method - by 10.22%, and when using other methods for assessing the value of the temperature-humidity index - by 2.72 times less often.

Ключевые слова: климат, тепловой стресс, животные, температурно-влажностный индекс, эквивалентный температурный индекс, предиктор частоты дыхания

Key words: climate, heat stress, animals, temperature-humidity index, equivalent temperature index, predictor respiratory rate

Согласно оценкам специалистов, к 2050 г. средняя температура воздуха на планете может повыситься на 2 °С. Тенденции глобального потепления вызывают озабоченность из-за возможных экономических потерь в животноводстве [1]. Обычно верхний предел температуры термонейтральной зоны для молочного скота ограничен 25...26 °С, однако значительное уменьшение продуктивности коров можно наблюдать и при более низких температурах [2, 3]. Влияние теплового стресса может вызывать множественные изменения поведения, физиологические и эндокринологические реакции у коров [4, 5]. Впоследствии это сопровождается снижением продуктивности, качества молока, ре-

продуктивной способности, увеличением численности патогенной микробиоты в различных системах органов и др. [6, 7]. В литературе описаны различные индексы, которые можно использовать для оценки уровня теплового стресса у крупного рогатого скота, связывающие условия окружающей среды с физиологическими реакциями животных [8]. Они важны с точки зрения прогнозирования и определения критических условий для благополучия жизнедеятельности и продуктивности животных [9]. На основе расчета индексов теплового стресса разрабатывают профилактические мероприятия, принимают организационные решения, направленные на создание условий, исключающих или

существенно снижающих развитие теплового стресса: затенение посредством навесов, деревьев, крыш и карнизов, вентиляция, увлажнение, перегруппировка животных, применение адаптогенов и др. [10, 11].

Цель исследования – анализ уровня теплового стресса у крупного рогатого скота на территории Республики Татарстан путем расчета различных индексов для определения возможности их использования при оценке комфортности условий обитания животных.

Методика. Работу выполняли в Татарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства ФИЦ Казанский научный центр РАН в 2020 г. в рамках реализации Государственного задания АА-АА-А18-118031390148-1. В ходе исследований проводили анализ условий среды и микроклимата животноводческого помещения в летние месяцы (июнь, июль, август) 2016–2018 гг. путем расчета температурно-влажностного индекса (ТВИ) и температурно-влажностного индекса скорректированного (ТВИС) с учетом скорости ветра и солнечной радиации 7 методами (Е.С. Thom, 1959; W. Bianca, 1962; Н.Н. Kibler, 1964; NRC, 1971; М.К. Yousef, 1985; T.L. Mader et al., 2006; A. Berman et al., 2016), эквивалентного температурного индекса (ЭТИ по F.C. Baeta, 1987) и предиктора частоты дыхания (ПЧД по R.A. Eigenberg et al., 2005). В работе использовали данные трех метеостанций Республики Татарстан (№27595, №28506, №28704), находящихся в различных агроклиматических зонах (Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н. и др., свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549). Анализировали измерения, выполненные в 12 синоптический срок по Гринвичу, что соответствует 16:00 по местному времени. Величины показателей микроклимата животноводческого помещения определяли с использованием температурно-влажностных регрессионных моделей по В.Ф. Второму с соавт. (Санкт-Петербург, 2018) на основании метеоданных о окружающей среде. Оценка комфортности среды и микроклимата животноводческого помещения осуществляли по шкалам значений ТВИ (G.L. Hahn et al., 2009), ЭТИ (F.C. Baeta, 1987) и ПЧД (R.A. Eigenberg et al., 2005). Расчет величин изучаемых индексов для внешней среды осуществляли на основе данных о средней скорости ветра (м/с), температуре воздуха по сухому и влажному термометру, температуре точки росы (°C), относительной влажности воздуха (%), интенсивности солнечной радиации (Вт/м²). При оценке комфортности условий в животноводческом помещении использовали сведения о температуре воздуха по сухому и влажному термометру внутри помещения (°C) и относительной влажности воздуха внутри помещения (%). Анализ данных и построение диаграмм выполняли в программах Microsoft Excel (Microsoft Corporation, USA) и SPSS 17.0 (IBM, USA).

Результаты и обсуждение. Тепловой стресс – результирующая воздействия на организм животного совокупности внешних сил, которое, как правило, обуславливают различные климатические факторы, в связи с чем их анализ необходим и важен [12]. В период исследований (2016–2018 гг.) наблюдали тенденцию к увеличению средней скорости ветра на 7,51 % (см. табл.). По некоторым показателям внешней среды (температура воздуха по сухому и влажному термометрам, интенсивность солнечной радиации) и микроклимата животноводческих помещений (температура воздуха по сухому и влажному термометрам) отмечено некоторое уменьшение средних значений в 2017 г.

Средние показатели климата и микроклимата за изучаемый период

Показатель	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Внешняя среда			
Скорость ветра, м/с	2,93 ± 0,11	2,98 ± 0,10	3,15 ± 0,12
Температура воздуха, °C: по сухому термометру	26,17 ± 0,51	22,14 ± 0,47	23,70 ± 0,56
по смоченному термометру	17,25 ± 0,30	15,93 ± 0,31	16,20 ± 0,40
Относительная влажность воздуха, %	39,22 ± 1,39	51,57 ± 1,48	43,79 ± 1,31
Температура точки росы, °C	10,04 ± 0,42	10,85 ± 0,39	9,72 ± 0,51
Интенсивность солнечной радиации, Вт/м²	685,75 ± 21,17	622,42 ± 22,36	705,71 ± 21,56
Микроклимат животноводческого помещения			
Температура воздуха, °C: по сухому термометру	25,93 ± 0,37	23,18 ± 0,33	24,10 ± 0,41
по смоченному термометру	20,50 ± 0,22	19,58 ± 0,21	19,63 ± 0,28
Относительная влажность воздуха, %	35,98 ± 1,94	53,29 ± 1,64	44,63 ± 1,68

с последующим ростом в 2018 г. Например, в 2017 г. снижение температуры воздуха по сухому и влажному термометрам во внешней среде, по сравнению с 2016 г., составило 15,4 % и 7,65 % соответственно, в животноводческом помещении – 10,61 и 4,49 %. Рост величин этих показателей в 2018 г., относительно 2017 г., во внешней среде был равен 7,05 и 1,69 % соответственно, в животноводческом помещении – 3,97 и 0,26 %. Интенсивность солнечной радиации в 2017 г. снизилась, по сравнению с 2016 г., на 9,24 %, а в 2018 г. была выше, чем в 2017 г., на 13,38 %. Относительная влажность воздуха во внешней среде и в животноводческом помещении, а также температура точки росы в 2017 г. возросли, по сравнению с 2016 г., на 31,48, 48,11 и 8,07 % соответственно. В 2018 г. влажность воздуха как во внешней среде, так и в животноводческом помещении была выше, чем в 2016 г., на 11,65 % и 24,04 % соответственно, а температура точки росы оставалась ниже, чем в 2016 г., на 3,19 %.

Наиболее часто используемый для оценки теплового стресса индекс ТВИ характеризует комбинированное воздействие на живой организм температуры воздуха и влажности. Преимущество его расчета заключается в том, что необходимые данные можно легко получить с фермы или ближайшей метеостанции, тогда как определить самостоятельно интенсивность солнечного излучения и скорость ветра сложнее, и, зачастую, такие данные недоступны для всеобщего пользования в виде массивов [13]. Наибольшая доля (64,49 %) значений индекса ТВИ, соответствующих той или иной степени теплового стресса, отмечена при расчете по Е.С. Thom (рис. 1 а). При использовании других методов количество измерений, результаты которых можно было интерпретировать как тепловой стресс, были в разы меньше. Величина этого показателя варьировала от 23,91 % при расчете по A. Berman, et al. до 11,59 % при использовании метода W. Bianca.

ИБПЖ (индекс безопасности погоды для живот-

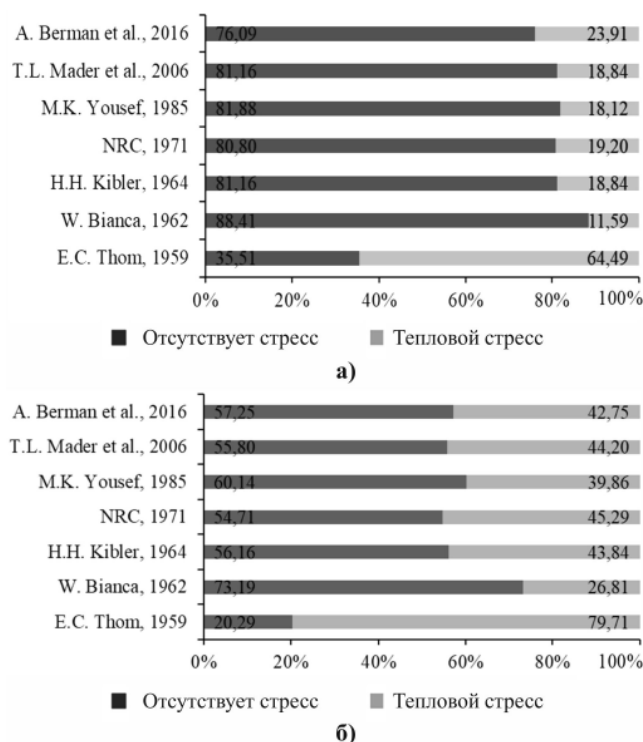


Рис. 1. Значения ТВИ (а) и ТВИс (б) внешней среды в 2016–2018 гг.

ных), учитывающий скорость движения воздуха и влияние солнечной радиации, был разработан еще в 1970 г. и с успехом использовался Национальной службой погоды США. Позднее заложенные в нем подходы переработали и положили в основу так называемого скорректированного температурно-влажностного индекса [14]. Результаты наших расчетов свидетельствуют, что наиболее высокая доля значений индекса ТВИс (79,71 %), соответствующих в той или иной степени тепловому стрессу, также получена при использовании метода Е.С. Thom (рис. 1 б). Далее по количеству выявленных случаев следуют методы NRC, T.L. Mader, et al. и H.H. Kibler (соответственно 45,29, 44,20 и 43,84 % измерений). Как и при расчете ТВИ наименьшее число случаев теплового стресса отмечено при использовании подходов M.K. Yousef и W. Bianca – 39,86 и 26,81 % соответственно. Следует отметить, что независимо от применяемой методики при определении ТВИс оно было в среднем в 2,08 раза больше, чем при расчете ТВИ. Наименьшие различия были отмечены при расчете по Е.С. Thom – 1,24 раза, а наибольшие – при использовании метода NRC.

В связи с увеличением поголовья животных на фермах, их большей скученностью, преобладанием стойлового содержания над выгульным возникла необходимость в изменении подходов к оценке теплового стресса. В результате появился индекс ЭТИ, который выражается в единицах температуры и выводится на основе эквивалентной температуры воздуха, относительной влажности, скорости воздуха и солнечной радиации [8, 15]. Оценка с его использованием результатов измерений, проведенных в летние месяцы 2016–2018 гг., характеризовала ситуацию теплового стресса в 25,00 % случаев (рис. 2а), что в среднем ниже, чем при расчете ТВИс, в 1,84 раза и равно среднему значению ТВИ, установленному при использовании всех перечисленных ранее методов.

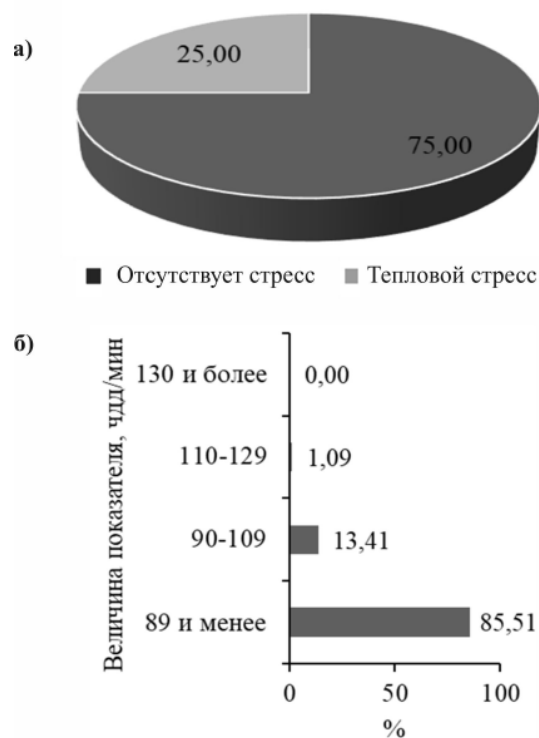


Рис. 2. Значения ЭТИ (а) и ПЧД (б) внешней среды в 2016–2018 гг.

Известно, что изменение ТВИ на 1 единицу может вызвать увеличение числа дыхательных движений на 2...4 раза за 1 минуту [16, 17]. На основании этого был разработан индекс ПЧД, который коррелирует с температурой тела животных, но наиболее эффективен в светлое время суток [18]. Расчет ПЧД показал (рис. 2б), что в 85,51 % случаев его величина не превышала 89 дыхательных движений. Соответственно, тепловой стресс был отмечен только в 14,49 % случаев. Это ниже средних величин, установленных при использовании ТВИ и ЭТИ в 1,73 раза, ТВИс – в 3,18 раза, но на 2,9 % выше, чем при расчете ТВИ по методу W. Bianca.

При определении ТВИ внутри животноводческого помещения методом Е.С. Thom число случаев, соответствующих тепловому стрессу, было больше, чем при оценке условий внешней среды, на 21,33 %, методом W. Bianca – на 10,22 % (рис. 3). При использовании остальных методов оценки величины ТВИ, соответствующие тепловому стрессу, выявлялись в среднем в 2,72 раза реже, чем во внешней среде. Минимальная

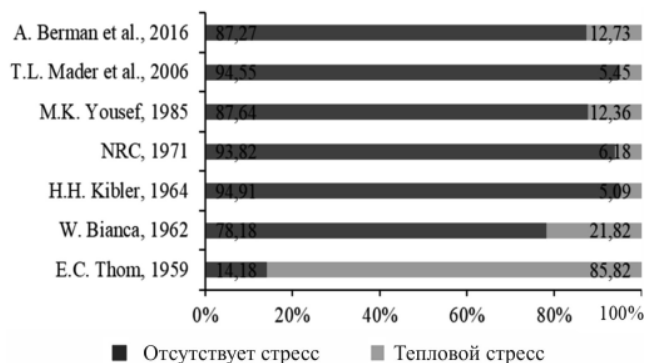


Рис. 3. Значения ТВИ в животноводческих помещениях в 2016–2018 гг.

величина этого показателя (5,09 %) отмечена при использовании метода Н.Н. Kibler.

Следует отметить, что величины показателей, полученных на основании анализа ТВИ внешней среды по данным 2016–2018 гг., были в среднем в 2,56 раза выше, чем в 1996–2015 гг. [19]. Эти различия могут быть связаны как с большим числом методов, использованных при более позднем исследовании, так и с выбором при оценке степени теплового стресса критериев G.L. Hahn et al. (2009), вместо применявшихся ранее критериев LPHSI.

Таким образом, при расчете ТВИ и ТВИс чаще всего (64,49 % и 79,71 % случаев соответственно) состояние теплового стресса фиксировали по методике E.C. Thom. При использовании ТВИс состояние теплового стресса отмечали в среднем в 2,08 раза чаще, чем при расчете ТВИ. При определении ЭТИ тепловой стресс наблюдали в 25,00 % случаев, ПЧД – в 14,49 %. В случае расчета ТВИ внутри животноводческого помещения методами E.C. Thom и W. Bianca число значений, соответствующих тепловому стрессу было в разы большее, чем при использовании остальных методов. На основании результатов исследований можно утверждать, что на территории Республики Татарстан (как во внешней среде, так и внутри животноводческих помещений) существует проблема теплового стресса для животных. Однако результаты расчетов, характеризующих его индексов, зависят от используемой методики, что необходимо учитывать при разработке комплекса профилактических мероприятий.

Литература.

1. *Agroclimatic conditions in Europe under climate change* / M. Trnka, J.E. Olesen, K.C. Kersebaums, et al. // *Glob. Change Biol.* 2011. Vol. 17. No. 7. P. 2298–2318.
2. *Quantifying the effect of heat stress on daily milk yield and monitoring dynamic changes using an adaptive dynamic model* / G. André, B. Engel, P.B.M. Berentsen, et al. // *J. Dairy Sci.* 2011. Vol. 94. No. 9. P. 4502–4513.
3. *Berman A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows* // *J. Anim. Sci.* 2005. Vol. 83. No. 6. P. 1377–1384.
4. *Roth Z. Reproductive physiology and endocrinology responses of cows exposed to environmental heat stress - Experiences from the past and lessons for the present (Review)* // *Theriogen.* 2020. Vol. 155. P. 150–156.
5. *Heat stress and cow factors affect bacteria shedding pattern from naturally infected mammary gland quarters in dairy cattle* / J. Hamel, Y. Zhang, N. Wente, et al. // *J. Dairy Sci.* 2021. Vol. 104. No. 1. P. 786–794.
6. *Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (THI) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-Saharan African climate* / C.C. Ekine-Dzivenu, R. Mrode, E. Oyieng, et al. // *Livestock Sci.* 2020. Vol. 242. Article number 104314.
7. *A study on stress response and fertility parameters in phenotypically thermotolerant and thermosensitive dairy cows during summer heat stress* / I. Nanas, T.-M. Chouzouris, K. Dadouli, et al. // *Reprod. Domestic Anim.* 2020. Vol. 55. No. 12. P. 1774–1783.
8. *A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC)* / X. Wang, H. Gao, K.G. Gebremedhin, et al. // *J. Therm. Biol.* 2018. Vol. 76. P. 165–170.
9. *Thermal stress indices in young nellore bulls raised in tropical environments* / A.A. Storti, M.R.B. De Mattos Nascimento, C.U. De Faria, et al. // *Acta Sci. Vet.* 2019. Vol. 47. No. 1. Article number 1670.
10. *Angrecka S., Herbut P. Impact of barn orientation on insolation and temperature of stalls surface* // *Ann. Anim. Sci.* 2016. Vol. 16. No. 3. P. 887–896.
11. *The impact of localization and barn type on insolation of sidewall stalls during summer* / S. Angrecka, P. Herbut, G. Nawalany, et al. // *J. Ecol. Eng.* 2017. Vol. 18. No. 4. P. 60–66.
12. *Dikmen S., Hansen P.J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment?* // *J. Dairy Sci.* 2009. Vol. 92. No. 1. P. 109–116.
13. *Nascimento F.G.O., Aguiar H.C.P., Rodrigues G.M. What is the best temperature-humidity index equation to indicate heat stress in crossbred dairy calves in a tropical environment?* // *Cienc. Rural.* 2019. Vol. 49. No. 1. Article number e20180132.
14. *Mader T.L., Davis M.S., Brown-Brandl T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle* // *J. Dairy Sci.* 2006. Vol. 84. No. 3. P. 712–719.
15. *Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating dairy cows* / F.C. Baeta, N.F. Meador, M.D. Shanklin, et al. // *Amer. Soc. Agric. Engr.* 1987. Article number 874015.
16. *Collier R.J., Dahl G.E., Van Baale M.J. Major advances associated with environmental effects on dairy cattle* // *J. Dairy Sci.* 2006. Vol. 89. No. 4. P. 1244–1253.
17. *Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, part 2: predictive relationships* / R.A. Eigenberg, T.M. Brown-Brandl, J.A. Nienaber, et al. // *Biosyst. Eng.* 2005. Vol. 91. No. 1. P. 111–118.
18. *Relationship between thermal comfort indices and internal temperature of grazing lactating holstein × gyr cows in western Amazonia* / G.A. de Carvalho, A.K.D. Salman, P.G. da Cruz, et al. // *Acta Amazon.* 2018. Vol. 48. No. 3. P. 191–196.
19. *Krupin E.O. Assessing heat stress in cattle based on analysis of meteorological factors* // *Rus. Agr. Sci.* 2020. Vol. 46. No. 4. P. 390–394.

Поступила в редакцию 20.01.2021

После доработки 11.03.2021

Принята к публикации 20.04.2021

ПРОГНОСТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАТЕРИ И НОВОРОЖДЕННОГО ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКА БРОНХОПНЕВМОНИИ У ТЕЛЯТ В НЕОНАТАЛЬНОМ ПЕРИОДЕ

Е.А. Калаева¹, кандидат биологических наук,
М. Алхамед¹, аспирант,
В.Н. Калаев¹, А.Е. Черницкий², доктора биологических наук

¹Воронежский государственный университет,
394018, Воронеж, Университетская пл., 1

²Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии,
394087, Воронеж, ул. Ломоносова, 114б
E-mail: cherae@mail.ru

Исследования проводили с целью анализа маркеров эндогенной интоксикации, гематологического, минерального и гормонального статусов глубокостельных коров и их новорожденных телят для выявления связей между показателями в системе «мать – новорожденный» и определения их роли в формировании предрасположенности к бронхопневмонии у телят в неонатальном периоде. В условиях крупного молочного комплекса в Воронежской области исследованы показатели эндогенной интоксикации, гематологический, минеральный и гормональный статус 33 беременных коров красно-пестрой породы (на 239...262 дни гестации) и полученных от них телят (через 24 ч после рождения). У 21,2 % новорожденных в 1-й месяц жизни была диагностирована бронхопневмония. Содержание среднемолекулярных пептидов в сыворотке крови коров, телята которых заболели бронхопневмонией, было на 98,1 % выше, чем у матерей животных с неосложненным бронхитом ($p < 0,05$). Эндогенная интоксикация и субклинические изменения минерального состава сыворотки крови у беременных коров приводили к нарушениям гемопоэза у плода и новорожденного. Телят с выраженным дефицитом меди, избытком железа в сыворотке крови и предрасположенностью к развитию микроцитарной гипохромной анемии, полученных от коров с гипокупремией, гипокобальтемией и признаками макроцитоза, следует относить к группе риска по бронхопневмонии. Нарушение баланса между содержанием стероидных гормонов в системе «мать – новорожденный» и фетоплацентарная недостаточность приводят к ослаблению иммунной системы новорожденного и снижению барьерной функции слизистых оболочек респираторного тракта. Предложена концептуальная схема, отражающая систему связей между показателями крови матери и новорожденного и их роль в формировании предрасположенности к бронхопневмонии у телят в неонатальном периоде.

PROGNOSTIC VALUE OF HEMATOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICES OF MOTHER AND NEWBORN IN ASSESSING THE RISK OF BRONCHOPNEUMONIA IN CALVES IN THE NEONATAL PERIOD

Kalaeva E.A.¹, Alhamed M.¹, Kalaev V.N.¹, Chernitskiy A.E.²

¹Voronezh State University,
394018, Voronezh, Universitetskaya pl., 1;

²All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy,
394087, Voronezh, ul. Lomonosova, 114b
E-mail: cherae@mail.ru

The aim of the research is to analyze the markers of endogenous intoxication, hematological, mineral, hormonal statuses of late-pregnancy cows and their newborn calves, to identify the relationships between indicators in the "mother – newborn" system and to determine their role in the formation of predisposition to bronchopneumonia in calves in the neonatal period. In the conditions of a large dairy complex in the Voronezh region, the indicators of endogenous intoxication, the hematological, mineral and hormonal status of 33 pregnant red-and-white cows (at 239...262 days of gestation) and calves obtained from them (24 hours after birth) were studied. In 21.2 % of newborns in the 1st month of life, bronchopneumonia was diagnosed. The serum content of medium molecular weight peptides in cows whose newborns contracted bronchopneumonia was 98.1% higher than that of mothers of calves with uncomplicated bronchitis ($p < 0.05$). Endogenous intoxication and subclinical changes in mineral composition of blood serum in pregnant cows led to disorders of hematopoiesis in the fetus and newborn. Calves with the pronounced copper deficiency, the excess of iron in the blood serum and predisposition to the development of microcytic hypochromic anemia obtained from cows with hypocupremia, hypocobaltemia, signs of macrocytosis should be attributed to the risk group for bronchopneumonia. Imbalance between the content of steroid hormones in the «mother – newborn» system and fetoplacental insufficiency lead to a weakening of the immune system of the newborn and a decrease in the barrier function of the mucous membranes of the respiratory tract. It is proposed the conceptual scheme that describes the system of connections between the blood parameters of the mother and the newborn and their role in the formation of a predisposition to bronchopneumonia in calves in the neonatal period.

Ключевые слова: коровы, беременность, телята, бронхопневмония, среднемолекулярные пептиды, стероидные гормоны, микроэлементы, клетки крови, прогноз

Key words: cows, pregnancy, calves, bronchopneumonia, medium molecular weight peptides, steroid hormones, trace elements, blood cells, prognosis

Биологически значимый результат полноценной беременности – рождение физиологически зрелого, жизнеспособного потомства. Морфофункциональная зрелость потомства во многом зависит от адаптивного потенциала организма матери [1]. Возникновение различных деструктивных изменений и патологических

процессов в плодный период служит причиной нарушений формирования, развития и роста животных в период новорожденности [2, 3]. Комплексный анализ качественных и количественных показателей сопряженных функциональных систем матери и новорожденного позволяет судить о причинах возникновения

ряда заболеваний, в том числе респираторных, которые относятся к одной из наиболее актуальных проблем промышленного животноводства [4, 5, 6].

Цель исследований – анализ маркеров эндогенной интоксикации, гематологического, минерального и гормонального статусов глубокоостельных коров и их новорожденных телят для выявления связей между показателями в системе «мать – новорожденный» и определения их роли в формировании предрасположенности к бронхопневмонии у телят в неонатальном периоде.

Методика. Работу проводили на базе крупного молочного комплекса в Воронежской области РФ в условиях зимне-стойлового содержания животных. Обследовали 33 глубокоостельные коровы и 33 родившихся от них теленка красно-пестрой голштинской породы, отобранных случайным образом. Все международные и национальные руководящие принципы по уходу и использованию животных были соблюдены. Забор венозной крови у коров осуществляли на 239...262 дни гестации, у телят – через 24 ч после рождения, в утренние часы до кормления путем пункции яремной вены. В течение 1 месяца жизни за телятами вели ежедневное клиническое наблюдение, бронхит и бронхопневмонию диагностировали на основании клинических признаков [7], а также результатов аускультации и ультрасонографии («Easi-Scan-3» с линейным датчиком 4,5...8,5 МГц, BCF Technology Ltd., Великобритания) грудной клетки [8]. Ретроспективно из выборок беременных и новорожденных сформировали по 2 группы: K1 – коровы, телята которых заболели неосложненным бронхитом (n=26); K2 – коровы, телята которых заболели бронхопневмонией (n=7); T1 – телята с неосложненным бронхитом (n=26); T2 – телята, заболевшие бронхопневмонией (n=7).

Определение содержания в крови эритроцитов (Er), гемоглобина (Hb), гематокрита (Htcr), среднего содержания гемоглобина в эритроцитах (MCH), средней концентрации гемоглобина в эритроците (MCHC), среднего объема эритроцита (MCV), степени анизоцитоза (RDW) и числа лейкоцитов проводили на анализаторе «Micros-60» («Horiba ABX», Франция). Лейкоцитарную формулу определяли по результатам оценки мазков крови, окрашенных по Романовскому-Гимза, ступенчатым методом; рассчитывали лейкоцитарный индекс интоксикации Кальф-Калифа (ЛИИ) [9].

Концентрацию прогестерона, эстрадиола, дегидроэпандростерон-сульфата (ДГЭА-С), кортизола и альдостерона в сыворотке крови определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа на анализаторе Униплан АИФР-01 (Россия) с использованием коммерческих наборов ЗАО «НВО Иммунотех» (Россия) и «Diagnostic Biochem Canada Inc.» (Канада).

Статистическую обработку результатов проводили в пакетах программ Stadia 7.0 Professional (InCo, Россия) и MedCalc for Windows, version 17.5.3 (MedCalc Software, Ostend, Бельгия). Экспериментальные данные представлены как среднее арифметическое (M) $\pm$ стандартное отклонение (s_x) и медиана (Me). Выборочные средние величины признаков, распределение которых подчинялось нормальному закону, сравнивали по t-критерию Стьюдента; медианы признаков, распределение которых было отлично от нормального – по критерию Вилкоксона. Связи между анализируемыми признаками выявляли методом корреляционного анализа по Спирмену (r_s). Нулевую гипотезу при применении всех методов статистической обработки отвергали при $p < 0,05$.

Табл. 1. Показатели красной крови у беременных коров и полученных от них новорожденных телят, $M \pm s_x$ (Me)

Показатель	K1	K2	T1	T2
Er, $\times 10^{12}$ кл/л	$6,0 \pm 0,5$ (5,9)	$5,9 \pm 0,6$ (5,8)	$6,8 \pm 1,2$ (6,9)	$7,3 \pm 0,6$ (7,4)
Hb, г/л	$121,0 \pm 9,0$ (120,0)	$118,0 \pm 11,0$ (119,0)	$103,0 \pm 20,0$ (103,0)	$107,0 \pm 9,0$ (107,0)
Htcr, %	$30,8 \pm 2,5$ (31,3)	$31,0 \pm 3,0$ (31,2)	$28,2 \pm 5,8$ (27,5)	$29,4 \pm 2,7$ (29,7)
MCV, мкм ³	$51,0 \pm 3,0$ (52,0)	$52,0 \pm 2,0$ (52,0)	$41,0 \pm 2,0$ (41,0)	$40,0 \pm 1,0$ (40,0)*
MCH, пг	$20,2 \pm 1,4$ (20,1)	$19,8 \pm 0,9$ (19,7)	$15,0 \pm 1,0$ (15,0)	$15,0 \pm 0,5$ (15,0)
MCHC, г/л	$39,3 \pm 1,4$ (39,1)	$37,9 \pm 1,6$ (38,0)*	$36,4 \pm 1,4$ (36,4)	$36,6 \pm 1,0$ (36,3)
RDW, %	$16,6 \pm 1,0$ (16,7)	$15,7 \pm 0,7$ (15,9)**	$15,2 \pm 1,3$ (15,4)	$14,5 \pm 1,0$ (14,7)

*есть различия между медианами выборок ($p=0,02$); **есть различия между выборочными средними ($p=0,006$).

Результаты и обсуждение. В ходе ранее проведенных исследований было установлено, что концентрация среднемолекулярных пептидов (СМП) у коров из группы K1 составляет $0,408 \pm 0,152$ усл.ед., у животных из группы K2 она была выше ($0,615 \pm 0,977$ усл.ед., $p < 0,05$). Общая концентрация альбумина (ОКА) у коров из групп K1 и K2 находилась в пределах нормы. Эффективная концентрация альбумина (ЭКА) была ниже ОКА (и, соответственно, ниже нормы) в обеих группах коров. По величинам обоих показателей статистически достоверных различий между группами сравнения не выявлено. ЛИИ и индекс токсичности (ИТ) в группах K1 и K2 значительно варьировали; достоверных различий между группами не обнаружено. Коэффициент интоксикации (КИ) у коров из группы

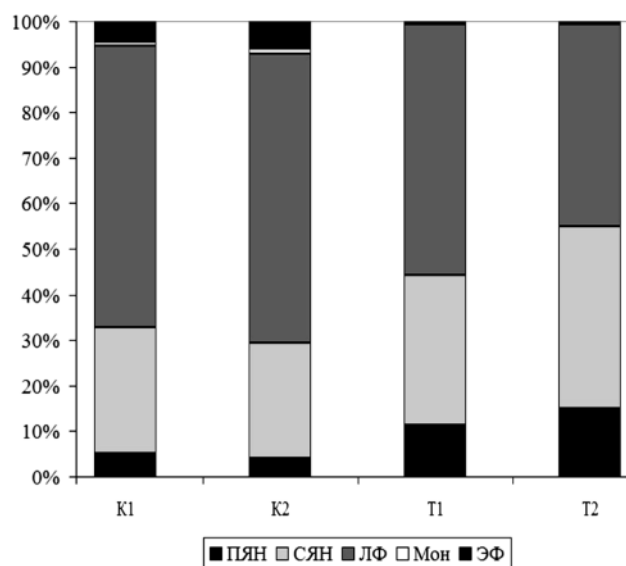


Рис. 1. Относительное содержание субпопуляций лейкоцитов в периферической крови у беременных коров и полученных от них новорожденных телят:

ПЯН – палочкоядерные нейтрофилы;

СЯН – сегментоядерные нейтрофилы;

ЛФ – лимфоциты; Мон – моноциты; ЭФ – эозинофилы.

K2 был равен $26,5 \pm 8,4$, что достоверно ($p < 0,05$) выше величины этого показателя ($17,2 \pm 6,8$) у животных из группы K1. Установлена связь между уровнем СМП и КИ у стельных коров и осложненным течением бронхита у родившихся от них телят ($r_s = 0,54$, $p < 0,005$ и $r_s = 0,57$, $p < 0,001$ соответственно) [9].

Большая часть значений показателей эритроцитарной системы периферической крови у стельных коров не выходила за границы нормы [10, 11]. МСНС превышала референсные значения в обеих группах беременных животных. У особей из группы K2 было отмечено снижение RDW (табл. 1), по сравнению с группой K1, на 4,8 % ($p < 0,01$).

Лейкоцитарные формулы взрослых животных в обеих группах характеризовались нейтрофилией (ПЯН – $5,2 \pm 2,9$ и $4,1 \pm 1,9$ %; СЯН – $27,5 \pm 8,7$ и $25,4 \pm 10,2$ % у коров-матерей телят с неосложненным бронхитом и с бронхопневмонией соответственно) и сниженным уровнем моноцитов (Мон – $0,7 \pm 0,8$ и $1,0 \pm 0,2$ %) (рис. 1). В группе K2 был выявлен лейкоцитоз – $(13,5 \pm 5,6) \times 10^9$ кл/л при норме до $9,0 \times 10^9$ кл/л [10, 11]. Достоверных различий между показателями лейкоцитарных формул в группах K1 и K2 не обнаружено.

Лейкоцитарные формулы новорожденных телят характеризовались незначительным лейкоцитозом – $(12,6 \pm 4,3) \times 10^9$ и $(10,8 \pm 2,9) \times 10^9$ кл/л в группах T1 и T2 соответственно, при норме до $9,3 \times 10^9$ кл/л. У животных в группе T1 он был обусловлен повышенным уровнем лимфоцитов ($55,2 \pm 8,4$ % при норме до 50,0 %), в группе T2 – нейтрофилов (палочкоядерные нейтрофилы – $15,1 \pm 6,8$, Me = 17,0 % при норме 12,0...15,0 %; сегментоядерные нейтрофилы – $39,7 \pm 10,7$, Me = 38,0 % при норме 32,0...40,0 %) [10, 11]. Между группами T1 и T2 обнаружены достоверные различия ($p < 0,05$) по содержанию палочкоядерных нейтрофилов и лимфоцитов (см. рис. 1).

Согласно результатам наших предыдущих исследований, у глубокоостельных коров в обеих группах содержание кальция, магния, калия, натрия, молибдена и селена в сыворотке крови находилось в пределах нормы, железа и никеля – превышало референсные значения, а меди, цинка, мышьяка, кобальта и хрома было ниже нормы. Статистически достоверных различий между группами K1 и K2 не выявлено. У новорожденных телят нормам соответствовало содержание кальция и молибдена в сыворотке крови, концентрации магния, железа, кобальта, никеля в обеих группах превышали референсные значения, а меди, цинка, мышьяка, хрома и селена были ниже нормы. У телат группы T2 выявлена более высокая концентрации никеля в сыворотке крови, по сравнению с животными из группы T1. [12, 13].

Гормональные статусы беременных коров в общем были сходными (табл. 2), однако в группе K2 медианный показатель уровня эстрадиола ($61,2$ пмоль/л) был на 47,6 % ниже, чем в группе K1 ($116,8$ пмоль/л). Выявлена сильная корреляционная связь между концентрациями эстрадиола у животных из группы K2 и их потомства ($r_s = 0,86$, $p = 0,01$) при отсутствии такой зависимости между группами K1 и T1 и в объединенной выборке.

Уровни прогестерона в крови у новорожденных телят в обеих группах ($1,9 \pm 0,8$, Me = 1,7 и $1,9 \pm 0,7$, Me = 1,6 нмоль/л в группах T1 и T2, соответственно) были приблизительно в 25 раз ниже, чем у их матерей ($49,7 \pm 31,7$, Me = 41,6 и $51,4 \pm 32,6$, Me = 40,6 нмоль/л в группах K1 и K2, соответственно).

Установлена отрицательная корреляция между концентрацией прогестерона и количеством лейкоци-

Табл. 2. Содержание стероидных гормонов в сыворотке крови беременных коров и полученных от них новорожденных телят, $M \pm s_x$ (Me)

Гормон	K1	K2	T1	T2
Прогестерон, нмоль/л	$49,7 \pm 31,7$ (41,6)	$51,4 \pm 32,6$ (40,6)	$1,9 \pm 0,8$ (1,7)	$1,9 \pm 0,7$ (1,6)
Эстрадиол, пмоль/л	$189,0 \pm 167,3$ (116,8)	$140,9 \pm 171,5$ (61,2)	$405,9 \pm 351,8$ (266,6)	$495,6 \pm 429,2$ (305,0)
ДГЭА-С, мкмоль/л	$0,41 \pm 0,36$ (0,34)	$0,53 \pm 0,44$ (0,34)	$0,18 \pm 0,14$ (0,14)	$0,22 \pm 0,32$ (0,10)
Кортизол, нмоль/л	$90,5 \pm 53,4$ (78,3)	$113,0 \pm 96,9$ (72,1)	$273,1 \pm 132,4$ (251,4)	$416,1 \pm 308,5$ (327,5) ^{trend}
Альдостерон, пг/мл	$25,9 \pm 4,2$ (26,1)	$26,8 \pm 4,3$ (24,6)	$27,2 \pm 4,8$ (26,4)	$23,5 \pm 4,5$ (23,5)*

*есть различия между медианами выборок ($p = 0,02$); trend – есть различия между медианами выборок на уровне статистической тенденции ($0,05 < p < 0,1$).

тов в группе K1 ($r_s = -0,38$, $p = 0,02$) и отсутствие связи между содержанием прогестерона у матерей с количеством лейкоцитов у новорожденных в группах K1-T1 и K2-T2. Обнаружены положительные корреляции концентрации ДГЭА-С с уровнями фагоцитирующих лейкоцитов у коров (моноцитов в группе K1 – $r_s = 0,37$, $p = 0,04$; палочкоядерных нейтрофилов в группе K2 – $r_s = 0,75$, $p = 0,03$) и телят (палочкоядерных нейтрофилов в группах K1-T1 – $r_s = 0,43$, $p = 0,02$; сегментоядерных нейтрофилов в группах K2-T2 – $r_s = 0,93$, $p = 0,005$). В группе K2 выявлена сильная отрицательная корреляция между уровнем кортизола и количеством лейкоцитов ($r_s = -0,79$, $p = 0,02$).

У новорожденных телят обнаружены положительные корреляции между содержанием кортизола и количеством моноцитов (в группе T1 – $r_s = 0,39$, $p = 0,04$; в объединенной выборке новорожденных животных – $r_s = 0,35$, $p = 0,03$) и эозинофилов (в группе T2 – $r_s = 0,59$, $p = 0,04$). У телат из группы T2 отмечено более низкое содержание альдостерона, по сравнению с группой T1 ($23,5 \pm 4,5$, Me = 23,5 и $27,2 \pm 4,8$, Me = 26,4 пг/мл соответственно).

Анализ результатов исследований свидетельствует, что изученные признаки различаются по механизмам и интенсивности воздействия на статус здоровья новорожденных телят. Изменения отдельных показателей крови часто носят субклинический характер и теоретически не представляют угрозы для жизни и здоровья матери и новорожденного, однако их совокупное воздействие может вызывать заметные эффекты на уровне организма.

В целом систему связей между показателями крови матери и новорожденного, а также их роль в формировании предрасположенности к осложненному течению респираторных заболеваний у телят, установленную с учетом представленных и ранее опубликованных [9, 12, 13] результатов исследований, можно суммировать в виде концептуальной схемы (рис. 2). Среди эндогенных токсических соединений главную роль в формировании предрасположенности к бронхопневмонии следует отнести СМП, концентрация которых у коров-матерей телят, заболевших бронхопневмонией, в 1,5 раза превышала таковую у животных из группы K1. Альбумин (при нормальном содержании в сыворотке крови) эффективно связывал токсические гидрофобные вещества, хотя на эту систему приходилась повышенная нагрузка, о чем свидетельствовало сни-

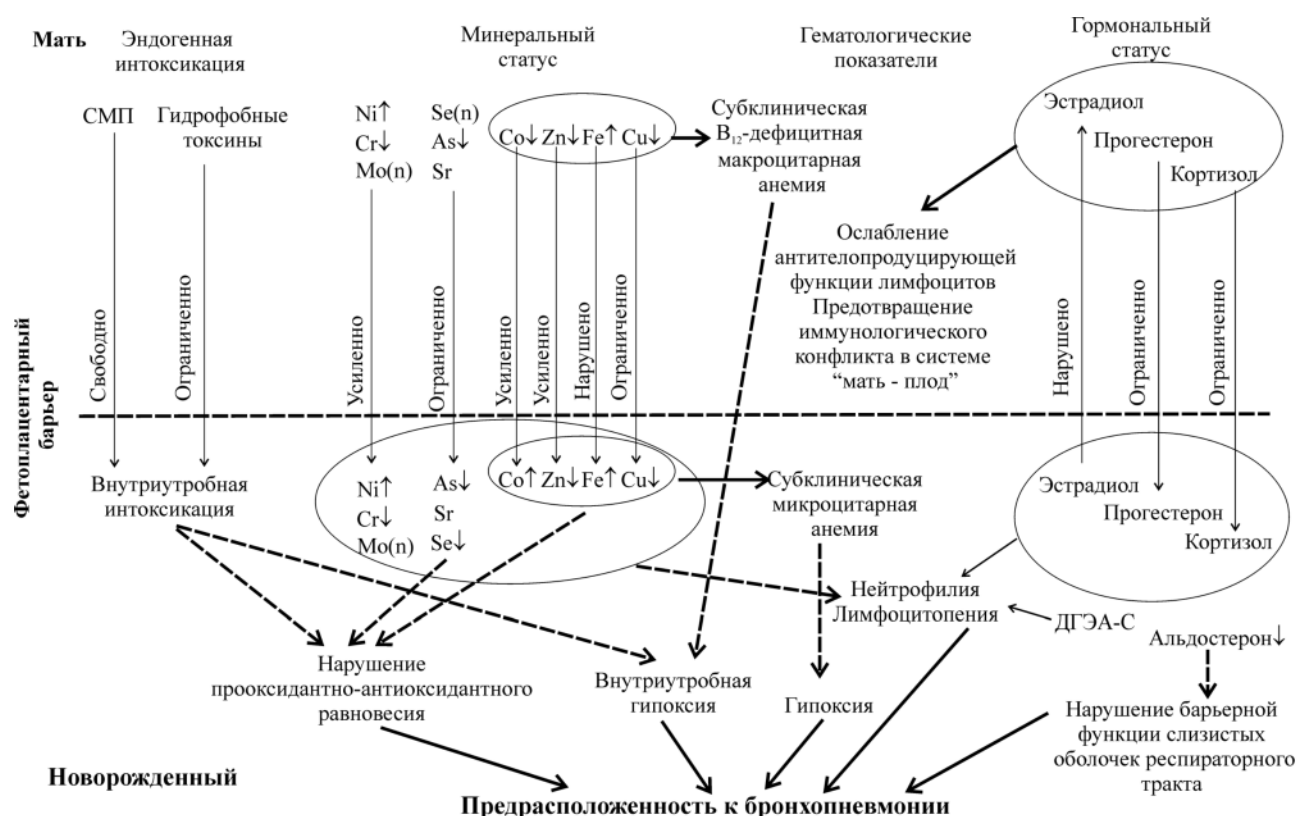


Рис. 2. Концептуальная схема взаимосвязей между клеточными, минеральными, гормональными компонентами крови матери и новорожденного и их роль в формировании предрасположенности к бронхопневмонии у телят.

жение эффективной концентрации белка. Гидрофобные метаболиты, вероятно, не оказывали заметного негативного влияния на плод, так как проницаемость фетоплацентарного барьера для них невысока [9], однако полностью исключить их прямое или опосредованное (через воздействие на материнский организм) влияние на здоровье новорожденного нельзя [9, 14]. Повышенное содержание никеля и железа в сыворотке крови коров и телят, дисбаланс соотношения элементов в триадах «железо – медь – цинк», «железо – медь – кобальт» негативно влияли на эритропоэз, формирование иммунной системы и метаболический статус новорожденного, что позволяет считать их факторами риска развития бронхопневмонии у телят [12, 13]. На системном уровне дисэлементоз в совокупности с воздействием других неблагоприятных факторов приводил к повышению нагрузки на дыхательную систему и гемопоэз у телят в период постнатальной адаптации, создавая предпосылки для развития бронхопневмонии. Показатели лейкоцитарной формулы, хотя и служат надежными маркерами инфекционного процесса, не позволяют заблаговременно прогнозировать риск заболевания, поэтому их используют, в основном, для мониторинга текущего состояния организма и формирования прогнозов исхода болезни [7, 13]. Нарушения баланса эстрогена и прогестерона в системе «мать – новорожденный» свидетельствуют о функциональной недостаточности фетоплацентарной системы [15, 16]. Указанные гормоны выполняют функции репрессоров иммунной системы, способствуют сохранению беременности и подавлению иммунологического конфликта в системе «мать – новорожденный» [16]. Дисбаланс концентраций эстрогена и прогестерона у

беременных негативно влиял на состояние иммунной системы новорожденных телят и предрасполагал к развитию у них респираторных инфекций. ДГЭА-С, вероятно, оказывал стимулирующее действие на систему микро- и макрофагов в крови животных. Отсутствие связи между концентрацией ДГЭА-С и показателями лейкоцитарной формулы у телят, возможно, связано с недостаточной для реализации иммунорегулирующего действия концентрацией гормона в крови новорожденных. Кратковременное повышение содержания кортизола в крови телят, вызванное родовым стрессом [17], могло оказывать стимулирующее действие на систему фагоцитирующих клеток крови, когда лимфоцитарная система новорожденных еще незрелая и вырабатывать собственные антитела не способна. Дефицит альдостерона у новорожденных, очевидно, приводил к нарушениям водно-солевого обмена и ослаблению барьерной функции слизистых оболочек дыхательных путей [18].

Таким образом, эндогенная интоксикация у беременных коров предрасполагает к осложненному течению респираторных заболеваний у их потомства в неонатальном периоде. Содержание СМП в сыворотке крови коров, чьи новорожденные впоследствии заболели бронхопневмонией, на 98,1 % превышало величину аналогичного показателя у матерей телят с неосложненным бронхитом.

У беременных коров, чьи новорожденные впоследствии заболели бронхопневмонией, выявлен лейкоцитоз, признаки субклинической B12-дефицитной анемии: средняя концентрация гемоглобина в эритроците была снижена на 2,8 %, степень анизоцитоза – на 4,8 %, по сравнению с коровами, от которых получено потомство с неосложненным бронхитом.

У телят, предрасположенных к развитию бронхопневмонии, через 24 ч после рождения выявлены характерные изменения в картине красной крови и лейкоцитарной формуле: снижение среднего объема эритроцита на 2,4 %, повышение относительного количества палочкоядерных нейтрофилов на 41,7 % и снижение содержания лимфоцитов на 19,6 %, по сравнению с новорожденными, заболевшими неосложненным бронхитом.

Субклинические изменения минерального состава сыворотки крови у матери на заключительном этапе беременности приводят к дисэлементозу и нарушениям гемопоэза у новорожденного. Телята с пониженным содержанием меди, избытком железа и никеля в сыворотке крови характеризовались признаками субклинической микроцитарной гипохромной анемии и имели повышенный риск развития бронхопневмонии в неонатальном периоде.

При дисбалансе между содержанием стероидных гормонов в системе «мать – новорожденный» и фетоплацентарной недостаточности у беременной происходит нарушение формирования и функционирования иммунной системы новорожденного и ослабление барьерной функции слизистых оболочек его респираторного тракта.

Литература

1. Влияние нарушения обменных процессов в организме коров-матерей на заболеваемость телят желудочно-кишечными и респираторными болезнями / И.Т. Шапошников, Ю.Н. Бригадиров, В.Н. Коцарев и др. // Ученые записки УО ВГАВМ. 2018. Т. 54. № 4. С. 137–140.
2. Effect of the level of maternal energy intake prepartum on immunometabolic markers, polymorphonuclear leukocyte function, and neutrophil gene network expression in neonatal Holstein heifer calves / J.S. Osorio, E. Trevisi, M.A. Ballou, et al. // J. Dairy Sci. 2013. Vol. 96. No. 6. P. 3573–3587. doi: 10.3168/jds.2012-5759.
3. Влияние состояния агроэкосистемы на формирование стационарного неблагополучия по болезням молодняка крупного рогатого скота / И.И. Калужный, Ю.В. Калинин, А.А. Федорин и др. // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2016. № 10. С. 35–42.
4. Serum proteins and lipids in mild form of calf bronchopneumonia: candidates for reliable biomarkers / M. Kovačić, D. Marković, I. Maslovarić, et al. // Acta Veterinaria-Beograd. 2017. Vol. 67. No 2. P. 201–221. doi: 10.1515/acve-2017-0018.
5. Guterbock W.M. The impact of BRD: the current dairy experience // Anim. Health Res. Rev. 2014. Vol. 15. No. 2. P. 130–134. doi: 10.1017/S1466252314000140.
6. Risk factors associated with exposure to bovine respiratory disease pathogens during the peri-weaning period in dairy bull calves / G.M. Murray, S.J. More, T.A. Clegg, et al. // BMC Veterinary Research. 2018. Vol. 14. No. 53. URL: <https://bmcvetres.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12917-018-1372-9> (дата обращения: 19.02.2021). doi: 10.1186/s12917-018-1372-9.
7. Методическое пособие по прогнозированию и ранней диагностике респираторных болезней у телят / А.Е. Черницкий, Л.И. Ефанова, А.И. Золотарев и др. Воронеж: Истоки, 2013. 48 с. doi: 10.13140/RG.2.2.11326.28481.
8. Ollivett T.L., Buczinski S. On-farm use of ultrasonography for bovine respiratory disease // Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract. 2016. Vol. 32. No. 1. P. 19–35. doi: 10.1016/j.cvfa.2015.09.001.
9. Markers of endogenous intoxication in late-pregnancy cows as predictors of pneumonia in newborn calves / E.A. Kalaeva, A.E. Chernitskiy, V.N. Kalaev, et al. // Russian Agricultural Sciences. 2019. Vol. 45. No. 6. P. 580–584. doi: 10.3103/S1068367419060107.
10. Mohri M., Sharifi K., Eidi S. Hematology and serum biochemistry of Holstein dairy calves: age related changes and comparison with blood composition in adults // Res. Vet. Sci. 2007. Vol. 83. No. 1. P. 30–39. doi: 10.1016/j.rvsc.2006.10.017.
11. Reference ranges of hematology and lymphocyte subsets in healthy Korean native cattle (Hanwoo) and Holstein dairy cattle / Y.-M. Kim, J.-A. Lee, B.-G. Jung, et al. // Anim. Sci. J. 2016. Vol. 87. No. 6. P. 796–801. doi: 10.1111/asj.12485.
12. Incidence risk of bronchopneumonia in newborn calves associated with intrauterine diselementosis / E. Kalaeva, V. Kalaev, A. Chernitskiy, et al. // Veterinary World. 2020. Vol. 13. No 5. P. 987–995. doi: 10.14202/vetworld.2020.987-995.
13. Роль микроэлементного и гематологического статуса матери и плода в формировании предрасположенности к развитию бронхопневмонии у телят в неонатальный период / Е.А. Калаева, В.Н. Калаев, А.Е. Черницкий и др. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 2. С. 44–53. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.2.44-53.
14. The impact of endogenous intoxication on biochemical indicators of blood of pregnant cows / B. Gutty, Y. Grymak, M. Drach, et al. // Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2017. Vol. 8. No. 3. P. 438–443. doi: 10.15421/021768.
15. Safonov V.A. Hormonal status of pregnant and infertile high producing cows // Russian Agricultural Sciences. 2008. Vol. 34. No. 4. P. 273–275. doi: 10.3103/S1068367408040198.
16. Endocrine and metabolic mechanisms of embryo and fetal intrauterine growth retardation in dairy cows / A. Nezhdanov, S. Shabunin, V. Mikhalev, et al. // Turk. J. Vet. Anim. Sci. 2014. Vol. 38. No. 6. P. 675–680. doi: 10.3906/vet-1405-12.
17. Sapolsky R.M., Romero L.M., Munck A.U. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions // Endocr. Rev. 2000. Vol. 21. No 1. P. 55–89. doi: 10.1210/edrv.21.1.0389.
18. Characteristics of hypertension in premature infants with and without chronic lung disease: a long-term multi-center study / R.D. Jenkins, J.K. Aziz, L.L. Gievers, et al. // Pediatr. Nephrol. 2017. Vol. 32. No. 11. P. 2115–2124. doi: 10.1007/s00467-017-3722-4.

Поступила в редакцию 04.04.2021

После доработки 25.04.2021

Принята к публикации 14.05.2021