

Земледелие и мелиорация

Рабинович Г.Ю., Зинковская Т.С., Анциферова О.Н.
Биомелиорация на осушаемых землях 3

Кружилин И.П., Никольская О.А. Обоснование водного режима почвы и регламента капельного полива саженцев черешни 9

Растениеводство, защита и биотехнология растений

Гончаренко А.А., Макаров А.В., Ермаков С.А., Семенова Т.В., Точилин В.Н., Гончаренко М.С., Крахмалева О.А., Яшина Н.А., Ратахов А.И.
Селекция гибридов озимой ржи на основе ЦМС типа Пампа 14

Щенникова И.Н., Зайцева И.Ю., Носкова Е.Н.
Современные подходы к моделированию сортов ячменя для Волго-Вятского региона 20

Шафигуллин Д.Р., Гинс М.С., Пронина Е.П., Байков А.А.
Онтогенетические изменения содержания вторичных метаболитов (спирто- и водорастворимых антиоксидантов) в семенах сои овощной 25

Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Сравнительная оценка различных методов определения содержания сырой клейковины в зерне пшеницы 30

Курьянович А.А., Кинчарова М.Н., Титова И.А. Протравливание семян маша (*Vigna radiata* L. (R) Wilczek) как элемент агротехнологии при интродукции культуры в среднем Поволжье 35

Брескина Г.М., Чуюн Н.А. Роль биопрепаратов и азотных удобрений в формировании продуктивности гречихи в условиях Курской области 39

Агропочвоведение и агроэкология

Васбиева М.Т., Ямалтдинова В.Р., Фомин Д.С. Влияние длительного применения систем удобрений на фракционный состав минеральных фосфатов и содержание подвижного фосфора по профилю дерново-подзолистой почвы 43

Бахмет О.Н., Солодовников А.Н., Дубина-Чехович Е.В. Влияние аэротехногенного загрязнения на химический состав снежного покрова агроландшафта 49

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

Лачуга Ю.Ф., Кирсанов В.В. Анализ цикличности развития техники и технологий в различных технологических укладах на примере молочного животноводства 54

Сыроватка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д.
Исследование кинетики движения ингредиентов лечебных кормов в шаровом смесителе 59

Зоотехния и ветеринария

Юлдашбаев Ю.А., Чылбак-оол С.О., Ерохин А.И., Карасев Е.А., Абдулмуслимов А.М., Салаев Б.К. Влияние пищевого поведения баранчиков на биологические и продуктивные особенности баранчиков тувинской породы 64

Ездакова И.Ю., Гулюкин А.М., Еремина М.А., Вальциферова С.В. Ассоциации между показателями уровня IgG быков-производителей и естественного иммунитета их дочерей 68

Нефедова Е.В., Шкиль Н.Н. Влияние комплексного препарата, содержащего наночастицы серебра и диметилсульфоксида, на показатели крови коров, больных послеродовым гнойно-катаральным эндометритом, с оценкой эффективности лечения 73

Farming and Amelioration

Rabinovich G.Yu., Zinkovskaya T.S., Antsiferova O.N. Biomelioratsiya on drained lands	3
---	---

Kruzhilin I.P., Nikolskaya O.A. Justification of the water regime of soil and the regulations of drop irrigation of cherry seedlings	9
---	---

Plant Growing, Plant Protection and Biotechnology

Goncharenko A.A., Makarov A.V., Ermakov S.A., Semenova T.V., Tochilin V.N., Goncharenko M.S., Krakhmaleva O.A., Yashina N.A., Ratakhov A.I. Breeding of hybrids of winter rye on a basis a CMS of type Pampa	14
--	----

Shchennikova I.N., Zaitseva I.Yu., Noskova E.N. Modern approaches in modeling barley cultivars for the Volga-Vyatka region	20
--	----

Shafgullin D.R., Gins M.S., Pronina E.P., Baikov A.A. Ontogenetic changes in the content of secondary metabolites (ethanol and water-soluble antioxidants) in vegetable soybean seeds	25
--	----

Pasynkov A.V., Pasynkova E.N. Comparative evaluation of different methods for deter-mining of raw gluten content in wheat kernel	30
---	----

Kurianovich A.A., Kincharova M.N., Titova I.A. Mung bean seed treater (<i>Vigna radiata</i> L. (R) Wilczek) as part of agritechnology during plant introduction in the middle volga area	35
--	----

Breskina G.M., Chuyan N.A. The role of biopreparations and nitrogen fertilizers in the formation of buckwheat productivity in Kursk region	39
---	----

Agricultural Soil Science and Agroecology

Vasbieva M.T., Yamaltdinova V.R., Fomin D.S. The influence of long-term application of fertilizer systems on the fractional composition of mineral phosphates and the content of mobile phosphorus of soddy-podzolic soil by profile	43
---	----

Bakhmet O.N., Solodovnikov A.N., Dubina-Chekhovich E.V. Influence of aerial technogenic pollution on elemental composition of snow cover of an agrolandscape	49
---	----

Mechanization, Electrification, Automation and Digitalization

Lachuga Y.F., Kirsanov V.V. Analysis of the cyclical development of equipment and technologies in various technological structures on the example of dairy farming	54
---	----

Syrovatka V.I., Zhdanova N.V., Obukhov A.D. Investigation of kinetics of ingredients movement treatment feeds in ball mixer	59
---	----

Animal Science and Veterinary Medicine

Yuldashbaev Yu.A., Chylbak-ool S.O., Erokhin A.I., Karasev E.A., Abdulmuslimov A.M., Salaev B.K. Influence of feeding behavior of rams on biological and productive characteristics of tuvan rams	64
--	----

Ezdakova I.Yu., Guulyukin A.M., Eremina M.A., Valtsiferova S.V. Associations between the indicators of the IgG level of bulls and the natural immunity of their daughters	68
---	----

Nefedova E.V., Shkil N.N. Influence of a complex preparation containing silver and dimethyl sulfoxide nanoparticles on blood indicators of cows with clinical endometritis with estimation of treatment efficiency	73
---	----

Земледелие и мелиорация

УДК 631.86 + 631.5

DOI: 10.31857/S2500262721020010

БИОМЕЛИОРАЦИЯ НА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ**Г.Ю. Рабинович**, доктор биологических наук,
Т.С. Зинковская, О.Н. Анциферова, кандидаты сельскохозяйственных наук*Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»,
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru*

Рациональное использование приемов и средств биологической мелиорации на осушаемых землях позволяет собирать запланированные урожаи хорошего качества, предупреждать деградацию почв, обеспечивать возможную детоксикацию почвенного покрова, водных источников и продукции растениеводства. В работе показано значение биологической мелиорации на осушаемых землях, связанное с использованием трёх классов мелиоративных средств: органических удобрений, удобрительных биопрепаратов и фитомелиорантов. Наиболее широкое применение на осушаемых почвах имеет класс органических удобрений, в котором преобладают навоз, птичий помёт и компосты, создаваемые на их основе. Технологии производства компостов из органического сырья постоянно совершенствуются, в том числе с использованием метода биологической аэробной твёрдой ферментации. Продукт биоконверсии органического сырья – компост многоцелевого назначения (КМН) характеризуется высоким содержанием питательных веществ (2,5–2,7 % общего азота; 2,0–2,2 % фосфора; 1,5–1,7 % калия) и обладает рядом других полезных свойств. Использование на осушаемых землях в качестве фитомелиоранта козлятника восточного позволяет накапливать благодаря бобоворизбиальному симбиозу до 480 кг/га азота в год. Биопрепараты, обладающие комплексным биомелиоративным действием, на мелиорированных почвах обеспечивают благоприятный режим питания возделываемых культур.

BIOMELIORATION ON DRAINED LANDS**Rabinovich G.Yu., Zinkovskaya T.S., Antsiferova O.N.***Federal Research Center V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
119017, Moscow, Pyzhevsky per., 7, str. 2
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru*

In connection with climate change, a model of varieties for winter triticale has been developed, and separately grain and Rational use of methods and means of biological reclamation on drained lands allows you to get the planned harvest of good quality, prevent soil degradation, and ensure the possible detoxification of the soil cover, water sources and crop production. The paper shows the importance of biological reclamation on drained lands associated with the use of three classes of bioreclamation agents: organic fertilizers, fertilizing biological products and phytomeliorants. The most widespread use on drained soils is the class of organic fertilizers, in which manure, bird droppings and composts created on their basis prevail. Technologies for the production of composts from organic raw materials are constantly being improved, including using the method of biological aerobic solid-phase fermentation. Thus, the product of bioconversion of organic raw materials - multipurpose compost (KMN), obtained at VNIIMZ, has a high content of nutrients (2.5–2.7% of total nitrogen; 2.0–2.2% of phosphorus; 1.5–1.7% potassium) and has a number of other beneficial properties. The use of the gallega orientalis as a phytomeliorant on drained lands makes it possible to accumulate up to 480 kg / ha of nitrogen per year due to the legume-rhizobial symbiosis. Biological products with a complex biomeliorative effect on reclaimed soils provide a favorable diet for cultivated crops.

Ключевые слова: биологическая мелиорация, органические удобрения, компосты, сидераты, фитомелиоранты, биопрепараты

Key words: biological reclamation, organic fertilizers, composts, green manure, phytomeliorants, biological products

Биологическая мелиорация почв при ограниченном применении химических средств не только способствует повышению плодородия, но и гарантируют производство высококачественной экологически безопасной растениеводческой продукции. Однако существующие трактовки биологической мелиорации в основном предполагают проведение мероприятий по воздействию на крупные объекты и в целом малопригодны для систем земледелия, так как не содержат конкретных приёмов и средств, реализуемых в процессе сельскохозяйственного использования земель [1, 2, 3]. Так, фитомелиоранты обычно рассматривают только в качестве рассолителей и закрепителей почвы или в виде древесно-кустарниковых насаждений, часть приёмов биомелиорации рекомендована для применения на охотничьих и рыбных угодьях.

В структурную схему биологических мелиораций, разработанную ВНИИМЗ для земледелия на осушае-

мых почвах, включены 3 класса биомелиорантов: органические удобрения, землеудобрительные биопрепараты и фитомелиоранты [4]. Среди них основное значение для производства имеет класс органических удобрений, разделяемый на подклассы, представленные в основном навозом, птичьим пометом и создаваемыми на их основе компостами. Кроме того, в подклассах рассматриваются сидераты, торф, солома, растительные остатки, сапропели и органические отходы различных предприятий.

Каждому классу биомелиорантов присущи определённые функции: органические удобрения – основные поставщики в почву элементов питания растений (в том числе микроэлементов) и органических веществ с полезной микрофлорой. Землеудобрительные биопрепараты оказывают комплексное влияние – целенаправленно увеличивают концентрацию агрономически полезной микрофлоры в почве, подавляют

развитие почвенных патогенов, обеспечивают повышение устойчивости растений к стрессовым ситуациям и др. Сильное мелиорирующее воздействие на те или иные агрофизические или агрохимические свойства почвы оказывают некоторые сельскохозяйственные культуры, поэтому их с полным правом можно отнести к фитомелиорантам. Сидераты присутствуют как в классе органических удобрений (зелёные удобрения), так и в классе фитомелиорантов [5].

Цель исследований – показать влияние различных биомелиорантов на плодородие осушаемой дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур на основе разработанной структурной схемы биологических мелиораций.

Методика. Разработку структурной схемы биологических мелиораций выполняли на основе анализа структуры биомелиораций, входящих в состав мелиоративного кадастра (ВНИИГиМ), схемы СевНИИГиМ, мелиоративной энциклопедии. Для ее обоснования использовали данные полевых экспериментов, проведенных Всероссийским научно-исследовательским институтом мелиорированных земель (ВНИИМЗ) на осушаемых дерново-подзолистых почвах.

Результаты и обсуждение. В земледелии Нечернозёмной зоны, из трёх классов, обозначенных ранее биомелиорантов, наиболее широкое распространение получили органические удобрения, среди которых преобладают удобрения на основе навоза и птичьего помета. Они оказывают неоспоримое биомелиоративное воздействие на многие свойства почвы. Органические удобрения способствуют накоплению гумуса и снижению кислотности, увеличивают запас питательных веществ и содержание поглощённых оснований, усиливают биологическую активность почвы, улучшают агрегатный состав, уменьшают уплотнение почвы и др. Мелиорируемые земли, отличающиеся благодаря регулируемому водно-воздушному режиму высокой потенциальной продуктивностью возделываемых культур, нуждаются в экологически безопасных биомелиоративных средствах, в первую очередь, органических удобрениях [6, 7].

Навоз и помет – основные виды удобрений биологической природы, включённые в замкнутую систему постоянно возобновляемой органической субстанции: «животноводство → органические удобрения → почва → почвенная микрофлора → биогенные элементы питания растений → продукция растениеводства → животноводство». С точки зрения земледелия основное звено этой цепи – почва, плодородие которой формируют органические удобрения.

Наибольшей питательной ценностью обладает птичий помет, использование 1 т которого равнозначно внесению 2,0-2,5 т навоза КРС и свиней. Наименьшей агрохимической ценностью характеризуются жидкие удобрения и навозные стоки. Хозяйства могут самостоятельно выбирать те или иные виды органических удобрений, но для каждого средства необходимо использовать проверенные наукой и практикой рекомендации по их наиболее эффективному производству и применению.

Следует учитывать, что на осушительных системах с закрытой дренажной сетью, закладываемой на глубину порядка 1 м, после обильных осадков уровень почвенно-грунтовых вод поднимается довольно близко к поверхности и при передозировке или неравномерном распределении органических удобрений вполне возможен их контакт с почвенной водой. В результате образовавшийся раствор, содержащий экологически

опасные соединения, через дренажно-коллекторную систему может попасть в природные водоприемники. Поэтому вносимые удобрения необходимо строго нормировать и незамедлительно заделывать.

На осушаемых землях внесение подстильных форм навоза и помета осуществляется в основном под интенсивные культуры (картофель, кормовые корнеплоды, овощные). Лучше всего навоз запахивать под зябь или ранней весной на глубину 15-25 см (более мелкая заделка – на тяжелых почвах). Эффективно локальное внесение в борозды или лунки. Известкование повышает удобрительную ценность навоза (по урожаю) до 40 % [7, 8].

Основное требование к внесению всех органических удобрений – равномерное распределение по поверхности полей [6]. Примерные дозы подстильного навоза в севооборотах составляют 30-60 т/га, помета – до 20-25 т/га. Для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почве в зависимости от их плодородия расчет проводят по ежегодным нормам внесения [9].

Рекомендуемые ВНИИМЗ дозы навоза для осушаемых окультуренных земель составляют 30-50 т/га, их вносят дважды за ротацию 6-7-польных севооборотов в первую очередь под картофель и озимые зерновые культуры. В первые годы окультуривания в зависимости от естественного плодородия почв необходимо ежегодно в течение 2-4 лет вносить навоз в дозе 50-100 т/га [7].

Бесподстильный навоз подразделяют на полужидкий (влажность до 92 %) и жидкий (влажность 92-97 %). В интенсивном земледелии рекомендуемые дозы применения жидкого навоза достигают 80-100 т/га, но не более 300 кг/га общего азота и предполагают быструю заделку совместно с измельченной соломой, оставляемой на поле. Внесение жидких форм навоза и помета рекомендуется ограничивать на осушаемых землях и при глубине залегания грунтовых вод выше 3 м. Наиболее приемлемый для жидких органических удобрений способ внесения – внутрисочвенный на глубину 18-20 см [10]. Не рекомендуется зимнее внесение жидких форм удобрений на склонах из-за их смыыва тальми водами.

Компостирование позволяет значительно расширить объемы производства органических удобрений на основе навоза и птичьего помета благодаря дополнительному привлечению природных органических ресурсов (торф, сапропель), растительных остатков, бытовых и промышленных отходов. Их производство становится наиболее актуальным сегодня, когда в стране резко сократилось поголовье сельскохозяйственных животных и выход навоза. Более того, компостирование с использованием различных влагопоглощающих материалов (торф, солома и др.) – наиболее приемлемый способ утилизации навоза и помета с высокой влажностью [11].

При соблюдении технологии компостирования и нормальном развитии биотермических процессов уже в исходном сырье происходит перегруппировка элементов питания из труднодоступных для растений соединений в легкоусвояемые формы, повышается их биологическая активность, устраняются жизнеспособные семена сорных растений и патогены. Удобрения приобретают такие необходимые технологические свойства, как сыпучесть и транспортабельность [6, 9].

Средние дозы применения торфонавозного компоста на осушаемых землях составляют 40-60 т/га, наиболее эффективно локальное внесение. Дозы внесения торфопометного компоста под пропашные культуры –

20-25 т/га, для зерновых – 8-15 т/га. Оптимальный срок внесения под яровые культуры – весенний, под озимые – начало августа [7].

В последние годы технологии приготовления компостов постоянно совершенствуются в направлении значительного сокращения сроков компостирования, дальнейшего повышения содержания в удобрениях питательных веществ и полезной микрофлоры, получения компостов с заданными удобрительными и технологическими свойствами [12].

Одна из технологий ускоренного производства высококачественного экологически безопасного компоста методом аэробной твердофазной ферментации органического сырья была разработана во ВНИИМЗ и внедрялась в регионах России и странах СНГ [13, 14]. Производство по этой технологии компоста многоцелевого назначения (КМН) предлагается осуществлять в специальных камерах – биоферментаторах, затраты на строительство которых окупаются менее чем за год. КМН – комплексное удобрение, 1 т которого содержит 25...27 кг азота, 20...22 кг фосфора, 15...17 кг калия, все необходимые культурным растениям микроэлементы и физиологически активные вещества, а также агрономически полезную микрофлору (до 10 млрд живых клеток/г). Совокупность этих качеств позволяет отнести его к полноценным биомелиорантам. Удобрение характеризуется высокой технологичностью применения. Срок удобрительного действия на полях превышает три года.

На мелиорированных землях успешно используют сидераты, солому и растительные остатки. Они, в первую очередь, служат очень важной статьей пополнения содержания органического вещества. В биомелиоративном отношении наиболее ценны сидераты, используемые как зеленые удобрения, существенно улучшающие агрохимические, агрофизические, биологические свойства почв и при этом выполняющие фитосанитарные и природоохранные функции [15, 16].

Сидераты по своей питательности практически не уступают подстилочному навозу и одновременно служат самыми дешевыми и экономически выгодными органическими удобрениями, затраты на производство и применение которых в 2-4 раза ниже, по сравнению с навозом и в 3-4 раза, по сравнению с торфонавозным компостом [7, 17]. Эффективность внесения сидератов определяет соблюдение рекомендуемых сроков посева и уборки, а также технологий их заделки в почву [17].

Основная биомелиоративная роль соломы и растительных остатков заключается в оптимизации гумусового баланса осушаемых почв. Среднее количество пожнивных-корневых остатков варьирует от 3,6 т/га (после зерновых культур) до 9,3 т/га (после многолетних бобовых трав). Пожнивные и корневые остатки клевера и клеверно-злаковой смеси по содержанию сухого вещества и азота в расчете на 1 га могут быть приравнены к 24 т навоза [7, 17]. В 1 т соломы злаковых и бобовых культур содержится до 760 кг органического вещества, в пожнивных и корневых остатках – до 540 кг (см. табл.).

Торф в качестве удобрений практически не используют, за исключением супесчаных и песчаных почв, на которых применяют только низинный торф в дозах 30-40 т/га. Его основное использование в сельском хозяйстве – для подстилки животным и в качестве наполнителя для компостов. В последние годы на его основе производят различные гуминовые удобрения [18, 19, 20].

Сапротели до сих пор не нашли широкого применения в земледелии. Основная причина – большие за-

Средний агрохимический состав и ценность удобрений из растительного сырья

Название	Содержание в 1 т удобрения естественной влажности, кг			
	органическое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Сидерат крестоцветных культур	140	4,3	1,8	5,8
Сидерат бобовых культур	140	8,0	1,2	3,0
Солома злаковых культур	760	5,0	2,0	9,0
Солома бобовых культур	760	12,0	2,5	6,0
Пожнивные и корневые остатки	540	2,8	1,8	4,1

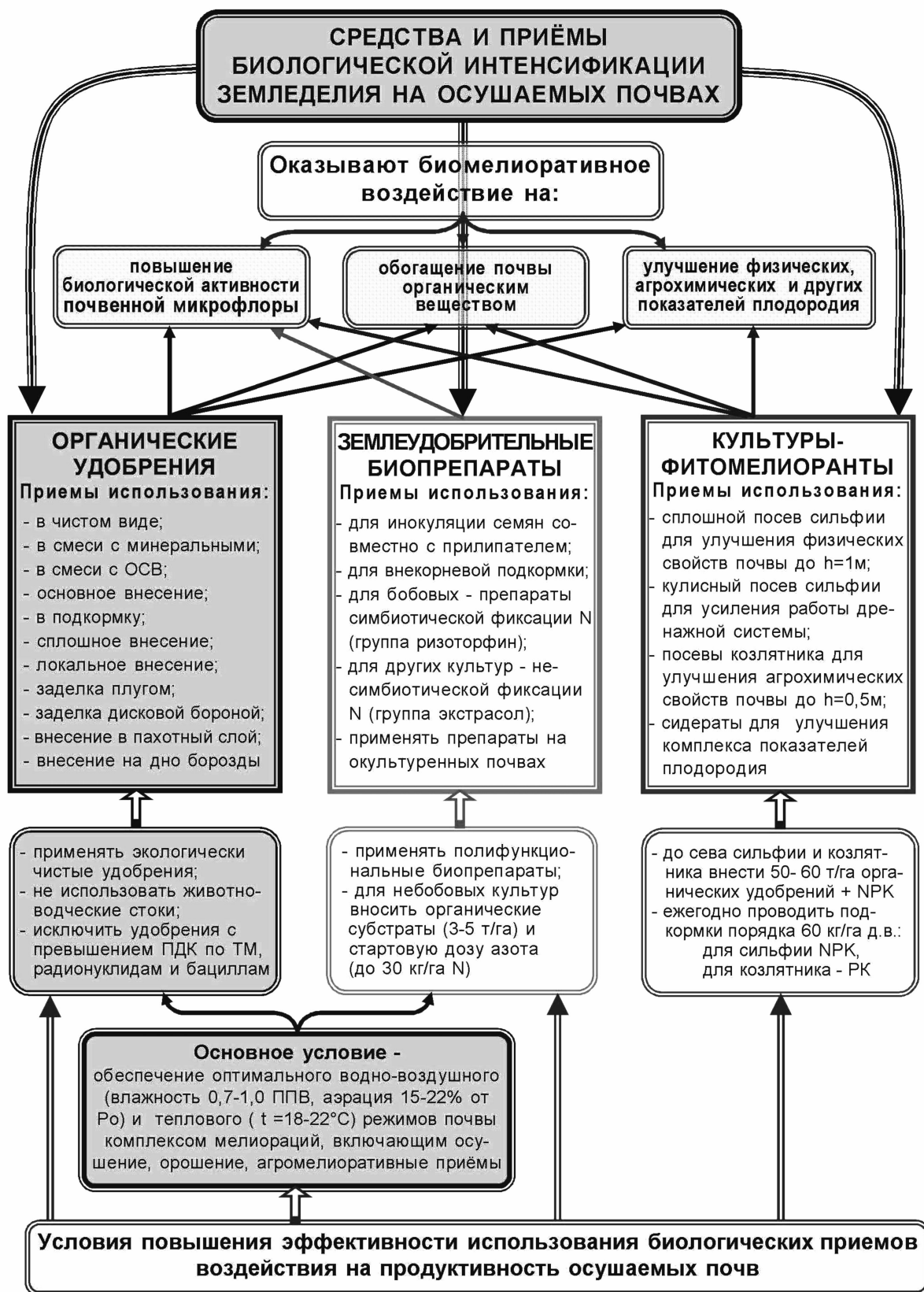
траты на добычу, сушку и перевозку, особенно, если доставка осуществляется на расстояние более 3 км. В зависимости от месторождения (и даже в самом месторождении), они сильно различаются по составу. Рекомендуемые дозы внесения 30-60 т/га. По действию на урожай сапротель в дозе 60 т/га равноценен 20 т/га навоза. В современных условиях применение этого удобрения можно рекомендовать только на полях, расположенных вокруг сапротелевых озер.

Многие органические отходы промышленности и коммунального хозяйства богаты макро- и микроэлементами, но из-за наличия в части отходов тяжелых металлов технология их переработки в органические удобрения сложна. К наиболее перспективному сырью для приготовления органических удобрений относят лигнин и древесную кору [9].

Более широкое распространение в последние годы получает использование осадков городских сточных вод, которые предварительно обеззараживают и обезвоживают. Главное условие при их применении в качестве удобрения – соблюдение требований по охране окружающей среды [21, 22]. В частности, не рекомендуется их внесение на мелиорируемых, в том числе осушаемых, землях [23].

Биологические препараты, также относящиеся к почвоулучшающим мелиорантам, обладают комплексным воздействием на режим питания растений [24]. При внесении в почву с обработанными семенами они усиливают минерализацию органического вещества, азотфиксацию, высвобождают дополнительное количество доступных элементов питания, повышают устойчивость культур к фитопатогенам и в суммарном воздействии увеличивают продуктивность и экологическую устойчивость агроценозов [25, 26, 27].

В «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации» (по состоянию на 2019 г.) внесено порядка 60 зарегистрированных видов бактериальных удобрений, таких как Азотовит, Бактофосфин, Байкал, Экстрасол и др. Такие препараты позволяют направленно регулировать состав и численность микробного комплекса в ризосфере в соответствии с потребностями и возможностями растений. В растениеводстве применяют биологически активные средства, приготовленные на основе как микробной массы, так и выделяемых ею метаболитов. В некоторых случаях оба компонента (микробная масса и метаболиты) используют совместно. Производство классических биопрепаратов, относящихся к земледобудительным, основано на присущих почве высокопродуктивных штаммам клубеньковых бактерий, фосфатмобилизую-



Структурно-функциональная схема использования биомелиоративных средств в биологизированных системах земледелия.

щих микроорганизмов, силикатных бактерий и других представителей микрофлоры [28].

Разработка технологий использования высокоэффективных и экологически безопасных биологических препаратов, предназначенных для оптимизации питания растений, – одно из приоритетных направлений современной биотехнологии [29, 30].

Большое влияние на эффективность биопрепаратов оказывают агроэкологические условия возделывания растений. Прежде всего, от них нельзя ждать хороших результатов на бедных или переувлажненных почвах. Для эффективного действия биопрепаратов в Нечерноземной зоне РФ осушительные системы должны обеспечивать нормальный водно-воздушный режим почв с поддержанием влажности в пахотном слое не ниже 70 % от ППВ. Для повышения эффективности процесса азотфиксации необходимо, чтобы в пахотном горизонте содержалось не менее 10–15 мг/100 г почвы подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) при кислотности близкой к нейтральной ($\text{pH} > 6$) [7].

При внесении биопрепаратов под бобовые культуры выявлена негативная роль азотных удобрений, которые при любых сроках внесения подавляют симбиотическую азотфиксацию. Только на слабоокультуренных, в основном, песчаных, почвах внесение малых «стартовых» доз азота (30–45 кг/га) может повысить эффективность биопрепаратов [31].

Для увеличения ассоциативной азотфиксации при использовании микробных препаратов необходима стартовая доза азота (до 30 кг/га). По нашим данным, на осушаемых почвах дополнительное внесение вместе с этой дозой энергетических субстратов (соломы, перегноя) способствует формированию ещё большего урожая благодаря влиянию на азотфиксацию определённой концентрации CO_2 и повышенному количеству органического вещества в почве [7].

В земледелии класс культур-фитомелиорантов включает группы растений, которые оказывают наиболее сильное воздействие на те или иные параметры: водный, пищевой и солевой режимы почв, содержание органического вещества и азота в почве (сидераты), тепловой режим почв и посевов, фитосанитарная обстановка. На осушаемых почвах первостепенное значение имеют фитомелиоранты, оказывающие непосредственное влияние на водный режим и повышающие эффективность работы мелиоративной системы. Так, для ускоренного снижения уровня грунтовых вод рекомендуются сплошные или кулисные посевы многолетней кормовой культуры сильной пронзеннолистной [7].

В качестве фитомелиоранта, улучшающего водно-физические и агрохимические свойства почвы, хорошо зарекомендовал себя козлятник восточный. В пахотном и подпахотном горизонтах осушаемых дерново-подзолистых почв его развитая корневая система оказывает эффективное рыхлящее воздействие, что способствует повышению водопроницаемости. Особая ценность козлятника как фитомелиоранта заключается в повышении плодородия почвы путем дополнительного гумусонакопления и создания больших запасов основных элементов питания. Благодаря мощной симбиотической азотфиксирующей корневой системе в корнеобитаемом слое почвы под посевами козлятника может накапливаться до 480 кг/га азота в год. В опытах ВНИИМЗ после распахки козлятника 8–10 года пользования в почве оставалось 28–30 т/га корневой массы, содержащей 550–590 кг/га азота, 104–112 кг/га фосфора и 210–220 кг/га калия [32].

Состав основных средств, применяемых для улучшения свойств почв при биологической интенсифи-

кации земледелия на мелиорируемых землях можно представить в виде системы (см. рисунок), каждая нижестоящая подсистема которой находится в зависимости от «природно-климатических и экономических условий», а также «переработки навоза» и влияет на «животноводческое предприятие» через «корма» [33]. При этом, наряду с прямыми, существуют и обратные связи.

Представленная система относится к сложным биотехническим системам из-за наличия живых объектов (сельскохозяйственные животные, птицы) и технических средств. В то же время, ввиду сильного воздействия на неё внешней среды эта система открытого типа, которая сама оказывает большое влияние на внешнюю среду.

Таким образом, основу биологической интенсификации на осушаемых почвах составляет научно обоснованное экономически и экологически оправданное использование оптимальных биологических приемов воздействия на плодородие, обеспечивающее высокую продуктивность мелиорируемых почв с производством высококачественной растениеводческой продукции. Первоочередное внимание при этом должно уделяться современным агротехническим и биомелиоративным приемам, способным направленно регулировать содержание органического вещества в почве и её биологическую активность, что в конечном итоге будет положительно влиять на плодородие.

Литература

1. Кирейчева Л.В., Рекс Л.М., Юрченко И.Ф. Структура сельскохозяйственных мелиораций в мелиоративном кадастре // *Гидротехника и мелиорация*. 1987. № 5. С. 13–15.
2. Пестряков В.К. К вопросу о комплексной мелиорации земель Северо-Запада Нечернозёмной зоны РСФСР // *Повышение плодородия почв путём мелиорации*. Л.: СевНИИГиМ, 1979. С. 3–13.
3. Мелиоративная энциклопедия. М.: Росинформагротех, 2003. Т. 1. 672 с.
4. Зинковская Т.С., Ковалёв Н.Г., Зинковский В.Н. Классификация биологических мелиорантов, применяемых в земледелии // *Плодородие*. 2012. № 4. С. 20–22.
5. Органическое удобрение – эффективный фактор оздоровления почвы и индуктор её супрессивности / М.С. Соколов, Ю.Я. Спиридонов, А.П. Глинушкин и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 1. С. 4–12.
6. Ковалев Н.Г., Барановский И.Н. Органические удобрения в XXI веке (Биоконверсия органического сырья). Тверь: ЧуДо, 2006. 304 с.
7. Зинковский В.Н., Зинковская Т.С. Теория и технологии комплексного управления плодородием осушаемых почв с использованием эффективных приёмов и средств биологической мелиорации. Тверь: ТГУ, 2018. 267 с.
8. Справочная книга по производству и применению органических удобрений: коллективная монография / А.И. Еськов, М.Н. Новиков, С.М. Лукин и др. М.: ВНИПТИОУ, 2001. 496 с.
9. Агрохимия / В.Г. Минеев, В.Г. Сычёв, Г.П. Гамзиков и др. М.: ВНИИА, 2017. ч. 6. С. 419–495.
10. Желязко В.И., Тиво П.Ф., Мажайский Ю.А. Использование бесподстилочного навоза на мелиорируемых агроландшафтах Нечерноземья. Рязань: ВНИИГиМ, 2006. 304 с.

11. Экологические проблемы утилизации отходов животноводства М.В. Шуварин, Е.Е. Борисова, Д.В. Ганин и др. // Вестник НГИЭИ. 2020. № 7 (110). С. 101–112.
12. Изучение процессов ферментации куриного помета под воздействием биологически активной добавки «Мефосфон» / Ф.С. Сибатуллин, З.М. Халиуллина, А.Р. Сафиуллина и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 2 (49). С. 42–47.
13. Технологии и технологический регламент производства компоста многоцелевого назначения (КМН) методом биоферментации. Методическое пособие. Тверь: ВНИИМЗ, 2001. 25 с.
14. Карасева О.В., Иванов Д.А., Рублюк М.В. Эффективность применения компоста многоцелевого назначения в севообороте в различных ландшафтных условиях // Земледелие. 2020. № 5. С. 28–31.
15. Ахметзянов М.Р., Таланов И.П. Продуктивность зернотравяного севооборота в зависимости от заделки навоза, соломы и промежуточного сидерата // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 4–2 (56). С. 11–15.
16. Теймуров С.А., Имашова С.Н., Бабаев Т.Т. Влияния видов удобрений на изменение физических свойств луговокаштановой почвы Терско-Сулакской долины // Земледелие. 2020. № 5. С. 18–22.
17. Новиков Н.М., Тамонов А.М., Фролова Л.Д. Сидераты в земледелии Нечернозёмной зоны // Агрохимический вестник. 2013. № 4. С. 20–26.
18. Поливанов М.А., Гаврилов С.В., Темеришин Д.Д. Применение торфа и продуктов его переработки в сельском хозяйстве // Вестник НГАУ. 2016. 3(40). С. 152–175.
19. Ильин Л.И., Ненайденко Г.Н. Резервы повышения урожайности сельскохозяйственных культур во Владимирской области (перспективы использования торфяных удобрений) // Достижения науки и техники АПК. 2015. № 5. С. 60–63.
20. Моторин А.С. Торф – важный ресурс для развития сельского хозяйства Тюменской области // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 8. С. 17–20.
21. Байбеков Р.Ф., Мерзлая Г.Е., Власова О.А. Продуктивность сельскохозяйственных культур при использовании удобрений из органических отходов на дерново-подзолистых почвах // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 9. С. 29–33.
22. Березнёв А.П., Томин А.П., Сидельников Н.А. Эффективность применения различных доз осадков сточных вод под многолетние травы используемых при озеленении городских территорий // Земледелие. 2018. № 3. С. 31–33.
23. Рабинович Г.Ю., Подолян Е.А., Зинковская Т.С. Использование осадка сточных вод и режим органического вещества дерново-подзолистой почвы // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 4. С. 37–41.
24. Влияние обработки растительных остатков сельскохозяйственных культур биопрепаратами на подвижные гумусовые вещества чернозема типичного слабоэродированного / Н.П. Масютенко, А.В. Кузнецов, М.Н. Масютенко и др. // Земледелие. 2020. № 5. С. 14–18.
25. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений / И.А. Тихонович, А.А. Завалин, Г.Г. Благовещенская и др. // Плодородие. 2011. № 3. С. 9–13.
26. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА, 2005. 302 с.
27. Применение микробных препаратов на черноземе обыкновенном в зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья / В.И. Фаизова, В.С. Цховребов, В.Я. Лысенко и др. // Земледелие. 2020. № 3. С. 27–29.
28. Дятлова К.Д. Микробные препараты в растениеводстве // Соровский образовательный журнал (СОЖ). 2001. Т. 7. С. 17–22.
29. Рабинович Г.Ю. Научные основы, опыт продвижения и перспективы биотехнологических разработок. Тверь: ТГУ, 2016. 195 с.
30. Соболева О.М. Роль ризосферных бактерий в повышении экологизации агроценозов // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 5. С. 19–22.
31. Биопрепараты в сельском хозяйстве: методология и практика микроорганизмов в сельском хозяйстве / И.А. Тихонович, А.П. Кожемяков, В.К. Чеботарь и др. М.: РАСХН, ВНИИСХМ, 2005. 154 с.
32. Многолетние бобовые травы в агроландшафтах Нечерноземья / В.А. Тюлин, Н.Н. Лазарев, Н.Н. Иванова и др. Тверь: Тверская ГСХА, 2014. 232 с.
33. Зинковский В.Н., Барановский И.Н., Зинковская Т.С. Функциональная схема механизма необходимых воздействий на регулируемые свойства осушаемых почв биомелиоративными средствами. Тверь: ВНИИМЗ, 2007. 38 с.

Поступила в редакцию 26.11.2020
После доработки 14.01.2021
Принята к публикации 28.02.2021

ОБОСНОВАНИЕ ВОДНОГО РЕЖИМА ПОЧВЫ И РЕГЛАМЕНТА КАПЕЛЬНОГО ПОЛИВА САЖЕНЦЕВ ЧЕРЕШНИ

И.П. Кружилин¹, доктор сельскохозяйственных наук,
О.А. Никольская², аспирант

¹Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия,
400002, Волгоград, ул. Тимирязевская, 9
E-mail: vnioz2009@rambler.ru

²Федеральный научный центр Агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения
Российской академии наук,
400062, Волгоград, Университетский просп., 97
E-mail: Lelka-Nikolskaya@mail.ru

В статье изложены результаты исследования влияния капельного орошения на выход и качество однолетних саженцев черешни. Схема опыта предусматривала изучение трех вариантов. В первом из них (контроль) влажность почвы поддерживали не ниже 80 % НВ в течении всего периода вегетации в слое 0,4 м; во втором – в слое 0,2 м до фазы активного прироста штамба с последующим углублением промачиваемого поливами слоя до 0,4 м. В третьем варианте дифференцируемый по слоям водный режим (аналогичный второму варианту) поддерживали до фазы завершения активного прироста саженцев, затем предполивную влажность снижали до 70 % НВ. Поливные нормы для промачивания слоя 0,2 м при поддержании влажности на уровне не ниже 80 % НВ составили 50 м³/га, слоя 0,4 м – 100 м³/га, слоя 0,4 м при 70 % НВ – 160 м³/га, оросительные – соответственно 1675, 1763 и 1577 м³/га. Лучшие показатели высоты центрального штамба, диаметра шейки и выхода саженцев 1 класса отмечены во втором варианте. Их величины были больше, чем в контроле, соответственно на 50 мм, 4,3 мм и 6 %. Самым водосберегающим был третий вариант, в котором затраты оросительной воды были ниже, чем в контроле, на 110 м³/га, а по сравнению со вторым – на 186 м³/га.

JUSTIFICATION OF THE WATER REGIME OF SOIL AND THE REGULATIONS OF DROP IRRIGATION OF CHERRY SEEDLINGS

Kruzhilin I.P.¹, Nikolskaya O.A.²

¹All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture
400002, Volgograd, ul. Timiryazeva, 9
E-mail: vnioz2009@rambler.ru

²Federal Research Center Agroecology, complex land reclamation and protective afforestation
of the Russian Academy of Sciences,
400062, Volgograd, Universitetskii prosp., 97
E-mail: Lelka-Nikolskaya@mail.ru

The article presents the results of the study of the effect of drip irrigation of annual cherry seedlings. The scheme of experience provided for the study of three options. In the first of them (control), the soil moisture was maintained at least 80 % HB during the entire growing season in a layer of 0.4 m; in the second – in a layer of 0.2 m until the phase of active growth of the stem, followed by deepening of the layer soaked by irrigation to 0.4 m. In the third variant, the water regime differentiated by layers (similar to the second variant) was maintained until the phase of completion of active growth of seedlings, then the pre-irrigation humidity was reduced to 70 % HB. Irrigation norms for wetting the 0.2 m layer were 50 m³/ha, the 0.4 m layer – 100 m³/ha and 0.4 m at 70 % HB – 160 m³/ha, irrigation – according to the variants 1675, 1763 and 1577 m³/ha, respectively. The best indicators of the height of the central stem, the diameter of the neck and the yield of seedlings of class 1 were noted in the second variant. Their values were greater than in the control, respectively, by 50 mm, 4.3 mm and 6 %. The third option was the most water – saving, in which irrigation water costs were lower than in the control, by 110 m³/ha, and in comparison with the second-by 186 m³/ha.

Ключевые слова: саженцы черешни, прирост штамба, высота растений, диаметр штамба, капельное орошение, режим орошения, оросительная норма

Key words: cherry seedlings, stem growth, plant height, stem diameter, drip irrigation, irrigation regime, irrigation rate

Площадь Волгоградской области составляет 112,9 тыс. км², из них 78 % относится к землям сельскохозяйственного назначения, в том числе многолетними садовыми насаждениями занято 0,15 % [1]. Их продукции недостаточно даже для удовлетворения спроса населения. А с учетом необходимости обеспечения потребности в сырье предприятий перерабатывающей промышленности (например, расположенного на территории области агрохолдинга «Сады Придонья», специализирующегося на производстве фруктовых соков и консервации фруктов) возникла настоятельная необходимость увеличения объемов производства волгоградских фруктов путем расширения площади садовых насаждений и повышения их продуктивности. Тем самым определена часть существующего дефицита

плодовой продукции, который сейчас устраняется завозом из других регионов страны и из-за рубежа, будет восполнена собственным сырьем. Расширение площади садовых насаждений связано с необходимостью развития орошаемого питомниководства для выращивания конкурентноспособных по качественным характеристикам саженцев.

Увеличение производства плодовой продукции в засушливых условиях до объемов, необходимых хотя бы для обеспечения спроса населения области, связано с решением ряда проблем [2, 3]. Основные из них, по нашему мнению, заключаются в отсутствии достаточного количества плодоносящих насаждений и питомников для производства стандартных саженцев, адаптированных к местным условиям, необходимости

активизации освоения инновационных технологий ухода за плодовыми насаждениями, организации рационального орошения садов и плодopитомников в комплексе с использованием макро- и микроудобрений, а также эффективных систем защиты садов от болезней и вредителей.

Теоретическими исследованиями обосновано, а успешно работающими зарубежными и отечественными предприятиями, занимающимися производством плодов и фруктов, подтверждена особая значимость закладки плодовых насаждений высококачественным посадочным материалом [4, 5, 6]. Высокие биометрические параметры саженцев оказывают значительное положительное влияние на их приживаемость, дальнейшее развитие и долголетие плодоношения сада [7, 8, 9].

Цель исследований – обоснование водного режима почвы и обеспечивающего его регламента поливов, обеспечивающих производство в одном из наиболее засушливых регионов высококачественных саженцев черешни.

Методика. Работу проводили в 2017–2020 гг. в плодopитомнике на базе ФНЦ «Агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН» в Дубовском районе Волгоградской области. Опытный участок расположен на слабощелочных (рН = 8,0 ед.) светло-каштановых почвах с глубоким (более 15 м) уровнем залегания грунтовых вод. Содержание гумуса в почве (по Тюрину) в среднем за годы исследований составляло 1,73 %, гидролизированного азота (по Тюрину – Кононовой) в пахотном слое – 2,35 мг/100 г почвы, подвижного фосфора (по Мачигину) – 2,27 мг/100 г почвы, обменного калия (по Масловой) – 11,03 мг/100 г почвы [10]. Изучали влияние водного режима почвы на рост и развитие, количественные и качественные показатели саженцев черешни сорта Василиса.

Схема опыта включала следующие варианты:

1) поддержание влажности почвы в слое 0,4 м (зона формирования основной массы корневой системы товарных саженцев) в течение всего периода вегетации капельным орошением не ниже 80 % наименьшей влагоемкости (НВ) – контроль;

2) поддержание влажности почвы поливами не ниже 80 % НВ в период адаптации привоя и подвоя (до фазы начала активного прироста штамба) в слое 0,2 м с последующим увеличением глубины промачивания до 0,4 м;

3) поддержание влажности почвы до прекращения активного прироста саженцев по схеме варианта 2 с последующим снижением с начала периода перехода их к зимнему покою предполивной влажности в слое 0,4 м до 70 % НВ.

Степень активизации роста штамба обусловлена интенсивностью фотосинтетической деятельности растений, и как следствие, бездефицитным обеспечением этого процесса водой, элементами минерального питания, жизненно необходимыми аминокислотами, пептидами и микроэлементами. В связи с этим активный прирост штамба саженцев синхронизируется с развитием корневой системы и распространением ее за пределы пахотного слоя почвы. Поэтому с фазы начала активного роста штамба саженцев глубина регулируемого поливами слоя увеличивалась до 0,4 м.

Уменьшение нижнего порога допустимой влажности активного слоя почвы в третьем варианте с фазы прекращения интенсивного прироста штамба саженцев до 70% НВ обусловлено тем, что у растений в этот период жизненного цикла в связи с последовательным переходом к состоянию зимнего покоя затухают ро-

стовые процессы и среднесуточное водопотребление. По нашему предположению, такие изменения водного режима почвы на завершающем этапе вегетации уже не могут существенно повлиять на биометрические показатели и качество саженцев, но избавляют от необходимости подачи оросительной воды, которая не используется растениями из-за последовательного уменьшения интенсивности фотосинтеза.

Повторность вариантов опыта трехкратная с одноярусным систематическим расположением. Увлажнение почвы осуществляли с использованием капельных линий водой, подаваемой в систему из скважины. Расстояние между линиями составляло 1,5 м, между капельницами – 0,3 м. Все необходимые измерения, учеты и наблюдения за реакцией саженцев на изучаемые водные режимы проводили с соблюдением требований общепринятых методик [11, 12, 13].

Поливные нормы по вариантам определяли расчетным способом с учетом водно-физических свойств, предполивной влажности и глубины промачивания почвы по формуле А.Н. Костякова в модификации для капельного орошения И.П. Кружилина и др. [14]:

$$m = 100 \cdot h \cdot \alpha \cdot S_{\text{увл.}} \cdot (\beta_{\text{н.в}} - \beta_{\text{п.в}}), \quad (1)$$

где m – поливная норма, м³/га; h – глубина увлажняемого слоя почвы, м; α – плотность увлажняемого слоя почвы, т/м³; $S_{\text{увл.}}$ – доля увлажняемой между капельными линиями полосы при несмыкающихся контурах; $\beta_{\text{н.в}}$ – средняя для увлажняемого слоя почвы влажность при НВ; $\beta_{\text{п.в}}$ – предполивная влажность увлажняемого слоя почвы, предусмотренная схемой опыта (70 и 80 % НВ), % массы сухой почвы.

Ширину увлажняемой вдоль капельной линии полосы уточняли в процессе исследований для каждого варианта поливной нормы, а ее долю определяли по соотношению:

$$S = B_{\text{увл.полосы}} / B_{\text{рас.кап.лин}}, \quad (2)$$

где $B_{\text{увл.полосы}}$ – ширина полосы, увлажняемой капельной линией, м; $B_{\text{рас.кап.лин.}}$ – расстояние между капельными линиями, м.

Для определения объема подачи воды в 1 ч использовали формулу:

$$w = 10 \cdot q/L \cdot x, \quad (3)$$

где w – объем подачи воды в 1 ч, м³/га; q – норма вылива одного эмиттера, л/ч, L – расстояние между оросительными трубками, м; x – расстояние между эмиттерами оросительной трубки, м.

Продолжительность полива рассчитывали по соотношению поливной нормы и объема подачи воды через капельницы в единицу времени:

$$t = m/\omega, \quad (4)$$

где t – продолжительность полива, ч; m – поливная норма, м³/га; ω – объем подачи воды в 1 ч, м³/га.

Поливные нормы, рассчитанные по этим формулам с учетом необходимости повышения влажности почвы в слоях 0,2 и 0,4 м от предполивного уровня, предусмотренного схемой опыта, до НВ были равны 50, 100 и 160 м³/га (табл. 1), продолжительность полива составляла соответственно 2,0, 4,1 и 6,6 ч. Ширина увлажняемой поливами полосы при норме 50 м³/га ограничивалась 0,6 м, 100 м³/га – 0,7 м и 160 м³/га – 0,8 м.

Табл. 1. Расчетные поливные нормы и продолжительность полива в зависимости от предполивной влажности и глубины увлажняемого слоя почвы

Предполивная влажность почвы, % НВ	Глубина промачивания, м	Влажность почвы, % массы сухой навески		Ширина увлажняемой полосы, м	Поливная норма, м ³ /га	Продолжительность полива, ч
		при НВ	перед поливом			
80	0,2	21,5	17,2	0,6	50	2,0
80	0,4	18,3	14,6	0,7	100	4,1
70	0,4	18,3	12,8	0,8	160	6,6

Условия увлажнения осадками в годы проведения исследований характеризовались следующими гидро-термическими коэффициентами (ГТК): 2017 г. – засушливый (ГТК=0,6), 2018 г. – сухой (ГТК=0,5), 2019 г. – слабо засушливый (ГТК=0,7), 2020 г. – сухой (ГТК=0,3). Под основную обработку почвы для закладки школки вносили удобрения в дозе $P_{40}K_{60}$. В дальнейшем, начиная с фазы распускания почек до начала активного прироста штамба, через каждые 10 дней осуществляли три подкормки школки минеральными удобрениями в дозах $N_{10}P_5$, с фазы активного прироста штамба до фазы начала вызревания саженцев подкормки проводили через 14 дней только азотными удобрениями (N_{10}). Удобрения вносили с поливной водой.

Результаты и обсуждение. Пробуждение почек растений начиналось со второй половины апреля. Снижение влажности почвы до предусмотренного схемой опыта предполивного уровня, а, следовательно, и начало поливов, во все годы исследований во всех вариантах опыта происходило в мае (табл. 2).

Самое раннее начало поливного сезона отмечали во втором и в третьем вариантах, несмотря на то, что во всех трех предполивной порог влажности почвы был одинаковым – 80% НВ. Связано это с тем, что в первом

варианте согласно схеме опыта необходимость полива диагностировали по влажности почвы в слое 0,4 м, а во втором и третьем до фазы активного роста штамба – 0,2 м. Соответственно, расчетный запас почвенной влаги, который может быть использован растениями в процессе эвапотранспирации и затем пополняется поливами составлял 100 м³/га и 50 м³/га.

Переход от поливных норм 50 м³/га к 100 м³/га во втором и третьем вариантах опыта отмечали в конце первой и начале второй декады июня, после завершения периода адаптации привоя и подвоя и перехода в фазу активного роста штамба саженца. Различия в глубине увлажняемого поливами слоя почвы в период адаптации привоя и подвоя способствовали тому что в этих вариантах в среднем за 4 года было на 3-7 поливов больше, чем в контроле. Увеличение числа поливов и объема подачи оросительной воды во втором и третьем вариантах способствовало созданию более благоприятных условий водообеспечения, а также активизировало процесс перехода антропогенно созданного растения в новое состояние – саженец. Переход школки в саженец во втором и третьем вариантах водного режима наступал на 3-4 дня раньше, чем в первом. С фазы активного прироста штамба во всех вариантах водного

Табл. 2. Распределения числа и норм полива саженцев черешни по месяцам вегетации

Вариант по водному режиму, год		Число поливов, шт.	Число поливов, шт. /поливная норма, м ³ /га					Оросительная норма, м ³ /га
			май	июнь	июль	август	сентябрь	
1	2017 г.	15	2/100	3/100	4/100	5/100	1/100	1500
	2018 г.	16	3/100	4/100	3/100	5/100	1/100	1600
	2019 г.	14	2/100	5/100	3/100	4/100	-	1400
	2020 г.	22	4/100	5/100	6/100	5/100	2/100	2200
	среднее	17	3/100	5/100	4/100	5/100	1/100	1675
2	2017 г.	19	5/50	1/50 3/100	4/100	5/100	1/100	1600
	2018 г.	22	7/50	3/50 3/100	3/100	5/100	1/100	1700
	2019 г.	18	5/50	2/50 4/100	3/100	4/100	-	1450
	2020 г.	29	8/50	3/50 5/100	6/100	5/100	2/100	2300
	среднее	22	5/50	2/50 4/100	4/100	5/100	1/100	1763
3	2017 г.	16	5/50	1/50 3/100	4/100	1/100 2/160	-	1420
	2018 г.	19	7/50	3/50 3/100	3/100	2/100 1/160	-	1460
	2019 г.	16	5/50	2/50 4/100	3/100	1/100 1/160	-	1310
	2020 г.	25	7/50	3/50 5/100	6/100	2/100 1/160	1/160	2120
	среднее	20	5/50	2/50 4/100	4/100	2/100 1/160	1/160	1577

Табл. 3. Влияние водных режимов почвы на качественные показатели характеристики саженцев черешни

Вариант	Биометрические показатели саженцев										Выход посадочного материала 1 сорта, %			
	высота надземной части, м					диаметр условной корневой шейки, мм								
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	средняя	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	средний	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
1 (К)	1,80	1,75	1,81	1,78	1,78	47	49	51	49	49	61	65	70	66
2	1,87	1,80	1,85	1,87	1,85	52	53	54	55	54	70	71	75	73
3	1,85	1,79	1,83	1,85	1,83	51	55	53	54	53	71	70	74	73
НСР _{0,5}	0,01	0,01	0,01	0,01	-	1	1	1	1	-	3	3	3	3

режима, наряду с приростом штамба на 0,12-0,15 м за 7 дней, происходит углубление корневой системы саженцев за пределы слоя 0,2 м.

Сроки и продолжительность созревания саженцев зависели от метеорологических условий, сложившихся в годы проведения исследований. Например, конец лета и осень 2019 г. были умеренно теплыми и влажными. (среднемесячная температура воздуха в сентябре 16,4 °С, сумма осадков 19,5 мм), что создало благоприятные для вегетации саженцев температурно-влажностные режимы в период перехода к покою. В результате их вызревание, по сравнению с 2017 и 2018 гг., по вариантам опыта затянулось на 9-12 дней. В 2020 г. из-за высоких температур воздуха в сентябре, в период вызревания саженцев, во всех вариантах опыта в связи со снижением влажности до предположительного уровня возникла необходимость в проведении дополнительных поливов, что также способствовало увеличению продолжительности периода вегетации растений. Поэтому во втором и первом вариантах к выкопке в обычные сроки саженцы не успели перейти в состояние покоя. В третьем варианте с более низким порогом предполивной влажности почвы в этот период вегетации (70 % НВ) растения подошли к зимнему периоду покоя с незначительным отклонением от обычных сроков. В результате саженцы в третьем варианте созрели раньше и характеризовались более высокими, по сравнению с контролем, качественными показателями.

Оросительная норма во втором варианте в среднем за 4 года оказалась на 76 м³/га больше, чем в контроле, а в третьем – на 110 м³/га меньше. Создание в начальный период вегетации более благоприятного водного режима почвы способствовало формированию саженцев с лучшими биометрическими показателями. Во все годы исследований высота центрального стебля, диаметр шейки и число первосортных саженцев во втором и третьем вариантах водного режима почвы имели более предпочтительные показатели, по сравнению с контролем. Так, при регулировании поливами влажности почвы в течении всего периода вегетации в слое 0,4 м средняя высота саженцев в состоянии покоя составила 1,78 м, а в вариантах с дифференцированным слоем промачивания почвы она была на 5...7 см больше (табл. 3). Объясняется это более благоприятным водным режимом почвы, лучше согласованным с биологическими потребностями растений и морфологией развития корневой системы саженцев. Дифференцированный режим орошения по глубине увлажняемого поливами слоя почвы способствовал формированию во втором и третьем вариантах большего числа скелетных корней на растениях, по сравнению с первым, увеличению общей массы корней к периоду готовности саженцев к реализации на 5-6 %, их длины – на 9-10 %.

Показатели общего потребления воды саженцами за вегетационный период свидетельствует, что максимальный расход влаги во все годы исследований складывался в наиболее водообеспеченном втором варианте опыта – 3303 м³/га. Это на 3,2 % больше, чем в контроле. В результате снижения предполивного порога влажности почвы в период вызревания саженцев в третьем варианте водного режима с 80 до 70 % НВ суммарное водопотребление уменьшалось, по сравнению с контрольным вариантом, в среднем на 3,4 %, со вторым – на 7 %.

Таким образом, из всех вариантов опыта, более отвечающим биологическим особенностям растений и морфологии развития корневой системы по показателям характеристики саженцев рекомендовали себя варианты дифференцированного промачивания почвы поливами на 0,2 м до фазы активного прироста с последующим увеличением глубины до 0,4 м. Наиболее адаптированным к биологическим особенностям растений и водосберегающим оказался вариант поддержания влажности почвы не ниже 80% НВ в период адаптации привоя и подвоя в слое 0,2 м, с фазы активного прироста штамба – в слое 0,4 м с последующим уменьшением предполивной влажности в начале периода перехода к зимнему покою до 70 % НВ.

Водосберегающий режим орошения саженцев в разные по условиям увлажнения годы характеризовался необходимостью проведения от 16 поливов в засушливые и слабо засушливые (соответственно 2017 и 2019 гг. с ГТК в пределах 0,6 и 0,7) до 25 поливов в сухие (2020 г., ГТК 0,3) годы. Число их нормами 50 м³/га изменялось от 6 до 10 поливов, нормой 100 м³/га – от 8 до 12 поливов и нормой 160 м³/га – от 1 до 2 поливов. Оросительная норма при этом составляла 1310-2120 м³/га и в среднем за 4 года была меньше, чем в контроле, на 110 м³/га. Высота штамба выращенных саженцев варьировала в пределах 1,79-1,85 м, диаметр корневой шейки – 51-55 мм, количество саженцев первого сорта – 70...75 %, что больше, чем в контроле, соответственно на 50 мм, 4,3 мм и 6 %.

Литература

1. Федеральная служба государственной статистики. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#\(data+obrazheniya+31.08.2020\)](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat/main/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy/#(data+obrazheniya+31.08.2020))
2. Szewczuk A., Gudarowska E. The effect of soil mulching and irrigation on yielding of apple trees in ridge planting // *Journal of fruit and ornamental plant research*. 2004. Vol. XII P. 139–146.
3. Винтер М.А., Щербаков Н.А. Производство посадочного материала плодовых культур в России: проблемы и решения // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2018. № 52 (4). С. 42–49.

4. ГОСТ Р 53135-2008 Посадочный материал плодовых, ягодных, субтропических, орехоплодных, цитрусовых культур и чая. Технические условия. М.: Стандартиформ. 2009. 45 с.
5. Мережко И.М. Качество посадочного материала и продуктивность плодовых насаждений. Киев: «Урожай», 1991. 152 с.
6. Pereira A.R., Green S., Villa Nova N.A. Penman–Monteith reference evapotranspiration adapted to estimate irrigated tree transpiration // *Agricultural water management*. 2006. Vol. 83. P.153–161.
7. Влияние способов водообеспечения на биометрические показатели саженцев яблони / Б.С. Гегечкори, С.Ю. Орленко, М.Ю. Рудь и др. // *Научный журнал КубГАУ*. 2013. №90. С. 581–598.
8. Кружилин И.П., Курапина Н.В., Гусев Д.Э. Элементы технологии выращивания саженцев при капельном орошении // *Природообустройство*. 2008. № 3. С. 25–29.
9. Никольская О.А., Киктева Е.Н., Курапина Н.В. Влияние орошения на рост и развитие саженцев косточковых культур в питомнике // *Орошаемое земледелие*. 2019. № 1. 42–45 с.
10. Дегтярева Е.Т., Жулидова А.Н. Почвы Волгоградской области. Волгоград: Нижне-Волж. кн. изд-во. 1970. 320 с.
11. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Изд. 5-е, доп. и перераб. М.: Альянс. 2014. 351 с.
12. Марков Ю. А. Программа и методика исследований по орошению плодовых и ягодных культур. Мичуринск: ВНИИС им. И.В.Мичурина. 1985. 118 с.
13. Плешаков В.Н. Методика полевого опыта в условиях орошения. Волгоград: ВНИИОЗ, 1983. 148 с.
14. Пат. 2204241 Российская Федерация, МПК А 01 G 25/02. Способ определения поливных норм при капельном орошении томатов / И.П. Кружилин, А.М. Салдаев, Ю.И. Кружилин и др.; заявитель и патентообладатель Всерос. науч.-исслед. ин-т орошаемого земледелия. № 2001128337/13; заявл. 18.10.01; опубл. 20.05.03. Бюл. № 14. 5 с.

Поступила в редакцию 09.12.2020

После доработки 24.02.2021

Принята к публикации 05.03.2021

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.14:575.222.6.78

DOI: 10.31857/S2500262721020034

**СЕЛЕКЦИЯ ГИБРИДОВ ОЗИМОЙ РЖИ
НА ОСНОВЕ ЦМС ТИПА ПАМПА**

А.А. Гончаренко, академик РАН, **А.В. Макаров**, доктор сельскохозяйственных наук,
С.А. Ермаков, **Т.В. Семенова**, **В.Н. Точилин**, **М.С. Гончаренко**, кандидаты сельскохозяйственных наук,
О.А. Крахмалева, **Н.А. Яшина**, **А.И. Ратахов**

Федеральный исследовательский центр «Немчиновка»,
143026, Московская обл., Одинцовский район, Новоивановское, ул. Агрохимиков, 6
E-mail: goncharenko05@mail.ru

Исследования проводили с целью создания высокогетерозисных межлинейных гибридов F₁ озимой ржи на основе ЦМС типа Пампа и выделения среди них высокоурожайных комбинаций с лучшим качеством зерна. Методом многократного инцухта самофертильных растений получено более 350 относительно высокопродуктивных и короткостебельных инбредных форм. На базе 40 лучших линий методом насыщающих скрещиваний созданы аналоги со стерильной цитоплазмой типа Пампа. Проведены межлинейные скрещивания и выделены линии с высокой общей и специфической комбинационной способностью, а также формы с полным восстановлением фертильности и закреплением стерильности. На базе инбредных линий, происходящих из саратовского (Н-1185, Н-1247) и вятского (Н-1423, Н-1432) генотипов, путем скрещивания простого межлинейного гибрида F₁ (смс Н-1185 × mf Н-1247) с двухлинейным синтетиком С-899/20 Rf (получен от скрещивания линий Н-1423 и Н-1432) создан перспективный коммерческий гибрид ржи Немчиновский 1. За годы конкурсного испытания (2017–2020 гг.) его средняя урожайность составила 6,4 т/га, превысив стандарт Валдай на 0,63 т/га, или 10,9 %. Преимущество достигалось благодаря более высокому числу колосьев на 1 м² (на 98 шт.). Средняя высота растений составляла 136 см, что на 3 см ниже стандарта. Благодаря прочному стеблю гибрид характеризуется лучшей устойчивостью к полеганию, а по зимостойкости и массе 1000 зерен находится на уровне стандарта. Немчиновский 1 отличается лучшими показателями качества зерна: стабильно превосходит стандарт по высоте амилорагмы (на 64 е.а.), числу падения (на 41 с), температуре клейстеризации крахмала (на 1 °С), вязкости водного экстракта зернового шрота (на 0,7 сП), формоустойчивости подового хлеба (на 0,04 ед.).

**BREEDING OF HYBRIDS OF WINTER RYE
ON A BASIS A CMS OF TYPE PAMPA**

Goncharenko A.A., **Makarov A.V.**, **Ermakov S.A.**, **Semenova T.V.**, **Tochilin V.N.**, **Goncharenko M.S.**,
Krakhmaleva O.A., **Yashina N.A.**, **Ratakhov A.I.**

Federal Research Center "Nemchinovka",
143026, Moskovskaya oblast, Odintsovskiy rayon, Novoivanovskoye, Agrochemikov, 6
E-mail: goncharenko05@mail.ru

Results of breeding the heterotic hybrids F₁ of winter rye on a basis a CMS of type Pampa are stated. The method of a repeated inbreeding of self-fertile plants received more than 350 highly productive and the short-stem the inbred of forms. On the basis of 40 best lines the method of the backcrossings received sterile analogs with sterile cytoplasm type Pampa. Interlinear crossings are carried out and lines with high general and specific combinational ability, and also forms with a complete restorer of fertility and fixing of sterility are allocated. On base the inbred of the lines coming from Saratov (N-1185, N-1247) and Vyatka (N-1423, N-1432) of genopol by crossing of a simple interlinear hybrid of F₁ (cms N-1185 x mf H-1247) with a two-linear synthetic of C-899/20 Rf (it is received from crossing of the N-1423 and N-1432 lines) is created a perspective commercial hybrid of rye Nemchinovsky 1. For years of competitive test (2017–2020) average productivity of a hybrid made 6,4 t/hectare, having exceeded the Valdai standard on 0,63 t/hectare or 10,9 %. Advantage of a hybrid on productivity was reached due to higher density of ears on 1 sq.m (on 98 stalks). Average height of plants makes 136 cm that is 3 cm lower than the standard. Thanks to a strong stalk the hybrid has the best resistance to lodging and on winter hardiness and mass of 1000 grains is up to the standard. Differs in the best indicators of quality of grain: steadily surpasses the standard in amilogramma height (on 64 units), to falling number (on 41 s), starch kleysterization temperature (on 1° C), viscosity of water extract of grain meal (on 0,7 sP), stable form of toppling bread (on 0,04 units).

Ключевые слова: озимая рожь (*Secale cereale* L.), инбредная линия, гибрид, цитоплазматическая мужская стерильность, урожайность, качество зерна

Key words: winter rye (*Secale cereale* L.), inbred line, hybrid, cytoplasmatic male sterility, productivity, quality of grain

В истории земледелия России озимая рожь зарекомендовала себя как ценная и стратегически важная хлебная и кормовая культура [1]. Еще недавно, в начале XX в., она была лидирующей зерновой культурой в мире и возделывалась на площади 45 млн га, из которых на долю России приходилось 25 млн га, или 55 %. Однако в последние три десятилетия посевы ржи многократно сократились. В 2019 г. их площадь в России составила 850 тыс. га, а валовой сбор зерна был рекордно малым – 1,423 млн т. И это несмотря на высокую адаптацию к неблагоприятным почвенно-климати-

ческим условиям, низкую себестоимость производства и более высокую питательную ценность зерна. В совокупности эти преимущества обеспечивают высокую рентабельность культуры при меньшей интенсивности возделывания, что очень важно с точки зрения ресурсосберегающего земледелия [2].

Сложившаяся ситуация обусловлена тем, что на фоне наметившегося потепления климата высокая зимо- и морозоустойчивость ржи стала менее востребованной. Это перевело ее в разряд второстепенной озимой зерновой культуры. Однако основная причина

неуклонного сокращения посевов ржи – слабый рыночный спрос на зерно этой культуры и ее меньшая конкурентоспособность, в сравнении с озимой пшеницей. Первенство в структуре посевных площадей рожь стала уступать в конце 1960-х гг., когда появились высокоурожайные сорта озимой пшеницы Безостая 1 и Мироновская 808. Их распространение привело к тому, что годовой прирост урожайности пшеницы стал более чем в 1,5 раза превосходить ее увеличение по ржи. На фоне низких закупочных цен производство отреагировало резким увеличением посевов озимой пшеницы и снижением посевов озимой ржи [3].

Одной из причин такой «революции культур» было селекционное несовершенство возделываемых популяционных сортов ржи. Сильнее всего это проявилось в их длинностебельности и слабой устойчивости к полеганию при интенсивной технологии возделывания. Относительно медленный прогресс в селекционном улучшении ржи объясняется тем, что широко применяемые в популяционной селекции методы массового и семейного отборов не позволяют добиться быстрого преобразования морфотипа создаваемых сортов в нужном направлении.

В этой связи особый интерес для ржи как перекрестно опыляемой культуры представляют методы гетерозисной селекции с использованием цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) [4]. Работы в этом направлении были начаты сравнительно недавно – около 50 лет назад. Пионерами гибридной селекции озимой ржи стали Н. Н. Geiger и F. W. Schnell [5] в Германии, которые первыми обнаружили ЦМС у аргентинского сорта ржи Пампа. Изучив генетическую природу этого явления, они отобрали гомозиготные инбредные линии с ЦМС, разработали схему гибридной селекции и создали первые гетерозисные гибриды ржи (Аккорд, Актин, Форте), которые передали на официальные испытания в 1981 г. Их оценка показала, что система ЦМС типа Пампа может обеспечить производство гибридных семян в коммерческих масштабах. Кроме того, результаты исследований подтвердили неоспоримое превосходство гибридов над популяционными сортами по многим другим признакам. В частности, было установлено, что в среднем гибриды F_1 озимой ржи формируют урожай зерна на 15–20 % больше, чем популяционные сорта [6].

На сегодняшний день площадь посевов гибридной ржи в мире превышает 1 млн га. В Германии в 2017 г. озимую рожь возделывали на площади 550 тыс. га, из которых 80 % занимали гибридные сорта. В Польше гибридную рожь высевают на 125 тыс. га, или 14 % от общей площади посевов культуры. В странах Северной Европы (Дания, Швеция, Финляндия, Латвия, Литва, Эстония) практически 100 % посевов ржи в производстве – гибриды F_1 . В результате урожайность культуры в этих странах возросла с 2,0 до 5,8 т/га, а в государственном испытании Германии максимум сбора зерна ржи превысил 10 т/га [7]. Положительная динамика роста посевных площадей под гибридной рожью отмечается в Украине, Беларуси и России.

В ряде стран Европы благодаря появлению гибридов F_1 рожь стали возделывать не только на бедных, но и на высокоплодородных почвах, на которых она формирует более высокий урожай, чем другие культуры. На низкоплодородных почвах гибриды F_1 так же не уступают по урожайности популяционным сортам: средняя прибавка составляет 15 %. Немаловажно и то, что на базе гибридных сортов ржи появляется возможность быстрой реализации многих специфических

требований потребителя относительно различных направлений хозяйственного использования культуры. Популяционная селекция такой мобильностью не обладает [8].

За последние годы немецкими компаниями создана серия гибридов ржи, сочетающих в себе высокую урожайность с другими ценными признаками. Их сравнительное изучение показало [9], что за период с 1982 по 2005 гг. средний годовой прирост урожайности сортов-популяций составил 30 кг/га, гибридных сортов – 51 кг/га, что на 70 % выше. За 26 лет (1991–2016 гг.) сбор зерна гибридов ржи с единицы площади в опытах государственного испытания в Германии увеличился на 23,3 %, популяционных сортов – на 18,1 % [10].

Цель наших исследований – создание высокогетерозисных межлинейных гибридов F_1 озимой ржи на основе ЦМС типа Пампа и выделение среди них высокоурожайных комбинаций с лучшим качеством зерна.

Методика. Исходным материалом для скрещивания были гомозиготные инбредные линии ржи, созданные методом многократного инцухта растений из генопулов различного происхождения: немчиновского, саратовского и вятского. Их выбрали по причине относительной генетической удаленности. Предполагалось, что межпуловые гибриды будут демонстрировать более высокую гибридную мощность, чем внутрипуловые, так как гетерозис сильнее всего проявляется в случае, если различные аллели одного гена зафиксированы в разных родительских линиях [11].

За годы исследований создано и изучено в селекционном питомнике более 350 относительно высокопродуктивных, короткостебельных и хорошо зимующих гомозиготных линий. На базе 40 лучших из них методом насыщающих скрещиваний созданы стерильные аналоги на базе ЦМС типа Пампа. Оценку восстановительной способности этих линий проводили в 2017–2018 гг. путем визуального осмотра пыльников у гибридов от парных скрещиваний типа *cms* × *mf* и расчета индекса восстановления RI по методике Н. Geiger und K. Morgenstern [12]. Лучшим восстановителем фертильности считался тот генотип, тесткроссы которого не содержали в себе стерильных и полустерильных растений ($RI \geq 67\%$).

Создание гомозиготных линий ржи с высокой собственной продуктивностью и перевод их на стерильную цитоплазму типа Пампа – первый этап гетерозисной селекции. Второй этап, на котором требуется оценка их генетических свойств в межлинейных скрещиваниях, более сложный и затратный. Оценку инбредных линий на общую и специфическую способность проводили методом полных топкроссов. Тестовые скрещивания осуществляли на изолированных участках, в качестве материнской формы использовали 5 стерильных линий с цитоплазмой типа Пампа (Н-649, Н-577, Н-842, Н-1058, Н-1185), отцовской – 4 полностью фертильные линии с нормальной цитоплазмой (Н-451, Н-1011,

Табл. 1. Дисперсионный анализ комбинационной способности инбредных линий

Источник дисперсии	SS	Df	ms ²	F _{факт.}	F ₀₅
ОКС стерильные линии (5)	6,49	4	1,62	54,0	2,6
ОКС линии-тестеры (4)	1,92	3	0,64	21,3	2,9
СКС	2,27	12	0,19	6,3	2,0
Ошибка	0,97	38	0,03		

Табл. 2. Результаты испытания лучших простых гибридов F_1 в контрольном питомнике (2017–2020 гг.)

Генотип	Урожайность, т/га	Зимостойкость, балл	Высота растений, см	Устойчивость к полеганию, балл	Масса 1000 зерен, г
Валдай, стандарт	6,31 ± 0,29	7 ± 0,7	127 ± 1,4	4,0 ± 0,4	23,7 ± 0,9
F_1 msH-1185×mfH-1247	7,54 ± 0,13*	8 ± 0,4	125 ± 1,8	5,0 ± 1,1	23,8 ± 2,2
F_1 msH-649×mfH-1247	7,35 ± 0,05	8 ± 0,4	123 ± 1,1	5,5 ± 0,9	24,8 ± 2,5
F_1 msH-1179×mfH-842	7,11 ± 0,17	8 ± 0,4	125 ± 0,4	3,0 ± 0,7	23,6 ± 2,5
F_1 msH-700×mfH-1247	7,11 ± 0,25	7 ± 0,4	122 ± 2,4	3,5 ± 0,5	22,6 ± 2,4
F_1 msH-1185×mfH-842	7,10 ± 0,17	8 ± 0,6	120 ± 1,7*	3,5 ± 0,5	21,2 ± 1,9

*отклонение от стандарта достоверно на 5 %-ном уровне значимости.

H-1247, H-1423, H-1432). На их базе по схеме топкросса было создано 20 простых межлинейных гибридов F_1 типа $A_{cms} \times B_{mf}$, которые испытывали в контрольном питомнике на делянках 10 м² в 2-х кратной повторности. Семена тройных межлинейных гибридов получали путем тестовых скрещиваний простых гибридов F_1 с линиями mf H-1423 и mf H-1432, показавшими наиболее высокое восстановление фертильности в тестовых скрещиваниях (RI=83,1-86,1%). Всего было создано 20 трехлинейных гибридов F_1 со структурной формулой $(A_{cms} \times B_{mf}) \times CR_f$, оптимально учитывающей полноту использования эффекта гетерозиса и экономическую выгоду при семеноводстве, где A_{cms} – линия с ЦМС, B_{mf} – фертильная линия, CR_f – восстановитель фертильности. Материнский и отцовский компоненты этих гибридов высевали полосами в соотношении 3:1 на изолированном участке. Полевые испытания тройных межлинейных гибридов F_1 проводили в 2017–2020 гг. на делянках 15,0 м² в 4-х кратной повторности. В качестве стандарта использовали популяционный сорт Валдай. Хлебопекарные качества зерна определяли по общепринятым методикам.

Результаты и обсуждение. По способности к восстановлению мужской фертильности в цитоплазме типа Пампа изучаемые линии можно разделить на три группы: слабые, средние и сильные. Среди испытываемых линий почти полными восстановителями мужской фертильности оказались mfH-1432Rf и mfH-1423Rf. Путем их скрещивания создан двухлинейный синтетик-восстановитель С-899/20. Почти полными закрепителями мужской стерильности оказались линии H-451, H-577, H-700, H-732, H-842, H-1058, H-1185, H-1247.

Основной причиной варьирования урожайности простых межлинейных гибридов F_1 стали различия их родительских форм по комбинационной способности. В дисперсию признака урожайность существенный вклад вносили как общая (ОКС), так и специфическая (СКС) комбинационная способность (табл. 1). При этом на долю эффектов ОКС приходилось 91,1 % всей изменчивости признака, СКС – только 7,7 %. Следовательно, основной компонент генотипической вариации урожайности – аддитивное взаимодействие, а не внутриволюсное доминирование генов. В то же время высокое соотношение вариантов ОКС/СКС указывает на значительную генетическую дивергенцию инбредных линий, взятых для скрещивания. Обусловлено это тем, что исходные генопулы, из которых они отобраны, обладают достаточно высоким генетическим разнообразием и содержат специфический комплекс генов, по-разному влияющих на уровень комбинационной способности.

Табл. 3. Урожайность тройного гибрида Немчиновский 1 в конкурсном испытании, т/га

Генотип	2017	2018	2019	2020	Средняя
Валдай (стандарт)	5,25	6,01	6,25	5,57	5,77
Московская 12	5,63	6,01	6,55	5,83	6,00
Немчиновский 1	6,35	6,58	6,70	5,96	6,40
НСР ₀₅	0,61	0,50	0,38	0,53	

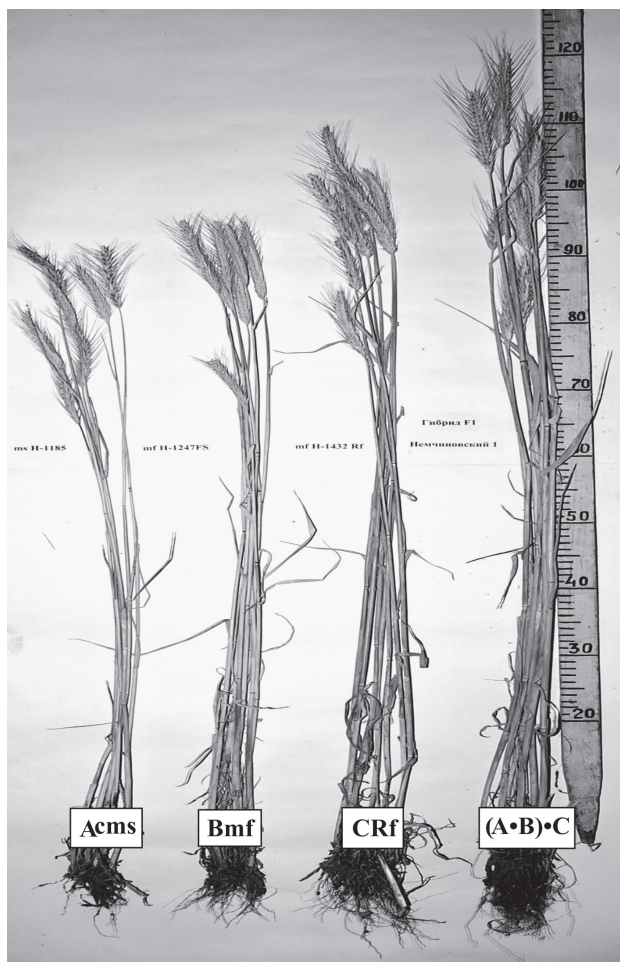


Рис.1. Родительские формы гибрида Немчиновский 1: A_{cms} – линия с ЦМС, B_{mf} – фертильная линия, CR_f – восстановитель фертильности, $(A \cdot B) \cdot C$ – гибрид F_1

Табл. 4. Селекционная оценка гибрида Немчиновский 1 по морфо-биологическим признакам (среднее за 2017–2020 гг.)

Генотип	Зимостойкость, %	Высота растений, см	Число колосьев, шт./м ²	Устой к полеганию, балл	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
Валдай, стандарт	82,6 ± 6,0	139 ± 2,5	326 ± 16	6,2 ± 1,4	55,0 ± 0,4	31,7 ± 2,5
Московская 12	76,5 ± 9,2	137 ± 3,9	346 ± 38	6,7 ± 1,3	53,6 ± 3,2	31,5 ± 2,5
Немчиновский 1	81,5 ± 8,5	136 ± 5,3	424 ± 26*	6,8 ± 1,0	52,0 ± 1,4	30,8 ± 2,7

*отклонение от стандарта достоверно на 5 %-ном уровне значимости.

Наиболее высокие оценки по ОКС получили линии Н-842, Н-700, Н-649, Н-1185, Н-1247. Предварительно они были изучены в системе диаллельных скрещиваний, где также показали хорошие результаты [3]. Было установлено, что высокая собственная урожайность инбредных линий важнее в плане их семеноводства, чем в качестве косвенного критерия для отбора по ОКС. В этом отношении рожь сходна с кукурузой, у которой продуктивность линий *per se* не считают надежным показателем их ОКС [13].

Результаты испытания лучших простых межлинейных гибридов F₁, созданных с участием перечисленных линий свидетельствуют, что при урожайности 7 т/га они превосходили стандарт Валдай на 12,5–19,5 % (табл. 2), не уступая ему по зимостойкости, короткостебельности и массе 1000 зерен. Наиболее урожайным в этой группе оказался межлинейный гибрид F₁ msH-1185×mfH-1247 (7,54 т/га).

Среди изучаемых тройных гибридов лучшим по урожайности и другим признакам оказался Немчиновский 1. В его родословную входят линия с цитоплазматической мужской стерильностью Н-1185, происходящая из саратовского генопула, мужски фертильная линия Н-1247 из этого же генопула, которая служит закрепителем стерильности, и синтетик-восстановитель фертильности С-899/20 Rf, происходящий от скрещивания двух линий из вятского генопула, показавших высокую восстановительную способность в тестовых скрещиваниях со стерильными линиями. Синтетик С-899/20 Rf служит отцовской формой для стерильного простого гибрида F₁ msH-1185×mfH-1247. Производство сертифицированных семян осуществляется методом смешивания семян, взятых от семенного (95 %) и пыльцевого (5 %) родителей (рис. 1).

Средняя урожайность тройного гибрида Немчиновский 1 за годы испытания составила 6,4 т/га, превысив стандарт Валдай на 0,63 т/га, или 10,9 % (табл. 3). Благодаря быстрому стартовому росту в осенний период гибрид хорошо кустится, что способствует лучшей перезимовке и формированию густого стеблестоя весной. Средняя перезимовка растений за годы испытания у Немчиновского 1 была равна 81,5 % (табл. 4), что находится на уровне стандарта Валдай (82,6 %) и несколько выше, чем у сорта Московская 12 (76,5 %). По степени поражения снежной плесенью существенных различий не выявлено (соответственно 80,8 % и 79,6 %), однако

пораженные растения гибрида характеризовались относительно высокой (10–20 %) способностью к отрастанию весной. По высоте растений Немчиновский 1 ближе к модели сорта интенсивного типа. В среднем она составляет 136 см, что на 3 см ниже, чем у стандарта Валдай. Стебель гибрида более прочный и толстый, благодаря чему он не уступает стандарту по устойчивости к полеганию (соответственно 6,8 и 6,2 балла). Преимущество Немчиновского 1 по урожайности достигается благодаря дружному колошению и более плотному стеблестоя. Количество колосьев на 1 м² у гибрида в среднем выше, чем у стандарта, на 98 шт. Он формирует зерно средней крупности, масса 1000 шт. составляет 30,8 г, что находится на уровне сортов Валдай и Московская 12. Зерно хорошо выполненное, что положительно влияет на его натуру, которая за годы испытания составила 713 г/л (табл. 5). По ряду других признаков качества зерна (высота амилограммы, число падения, температура клейстеризации крахмала, вязкость водного экстракта зернового шрота, формоустойчивость подового хлеба) Немчиновский 1 имеет лучшие показатели, чем стандарт Валдай. Учитывая явные преимущества, гибрид передан на государственное испытание.

В контексте изложенного следует отметить некоторые особенности и сложности семеноводства гибридных сортов ржи. В отличие от популяционных сортов в производственных посевах используется только первое поколение гибрида (F₁). Посев второго поколения (F₂) не допускается, поскольку в расщепляющейся популяции происходит снижение урожайности, которое в зависимости от погодных условий и технологии возделывания может достигать 25–50 % [14]. Причина такого феномена обусловлена снижением уровня гетерозиготности популяции, приводящим к появлению разноярусного стеблестоя, большой черездерзости в колосе, низкой его продуктивности и увеличению поражения спорыньей.

Важно подчеркнуть, что сам факт замены популяционных сортов гибридными нельзя считать достаточным для решения проблемы повышения урожайности ржи. Обязательное условие рентабельного возделывания гибридной ржи – высокий агрофон и низкая стоимость семян. Практика возделывания гибридной ржи в Германии показала, что затраты на производство ее семян в 2 раза выше себестоимости семян популяционных сортов. Поскольку гибридная рожь хорошо ку-

Табл. 5. Оценка хлебопекарных качеств зерна гибрида Немчиновский 1 (среднее за 2017–2020 гг.)

Генотип	Натура зерна, г/л	Высота амилограммы, е.а.	Температура клейстеризации, °С	Число падения, с	Вязкость водного экстракта, сП	Формоустойчивость подового хлеба, Н/Д	Объем формового хлеба, см ³
Валдай, стандарт	711 ± 14	222 ± 67	58,4 ± 2,2	142 ± 45	4,0 ± 0,03	0,21 ± 0,01	320 ± 14
Московская 12	715 ± 13	265 ± 61	57,4 ± 1,8	191 ± 44	4,2 ± 0,08	0,23 ± 0,03	308 ± 15
Немчиновский 1	713 ± 11	286 ± 41	59,4 ± 1,9	183 ± 37	4,7 ± 0,13	0,25 ± 0,03	299 ± 11

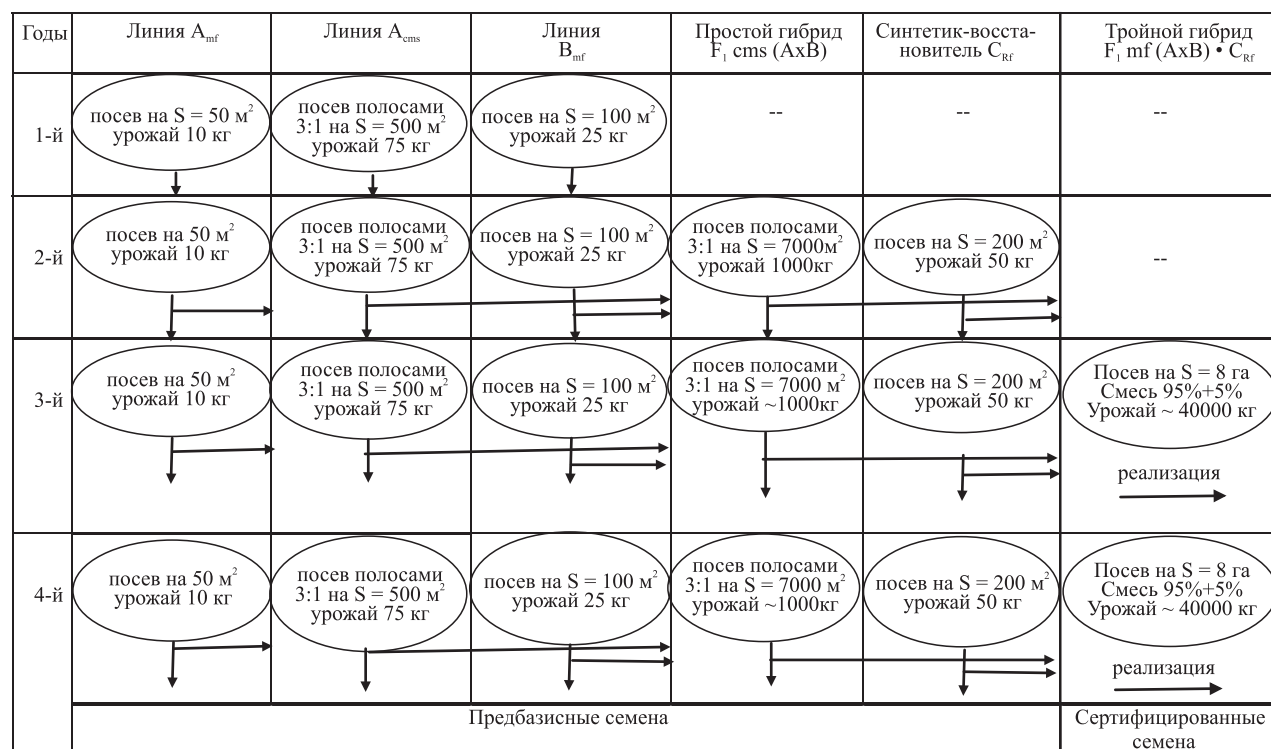


Рис. 2. Схема производства предбазисных и сертифицированных семян гибрида озимой ржи Немчиновский 1.

стится, выходом из ситуации стало снижение производственной нормы высева семян до 2-х посевных единиц, или 70-80 кг/га. Надо полагать, что в условиях России низкая норма высева семян потребует дополнительной компенсации с помощью высокой агротехники, путем использования различных факторов интенсификации, повышающих полевую всхожесть и энергию кущения растений, а также их защиту от вредителей и болезней в осенне-зимний период. Результаты расчетов свидетельствуют, что рентабельное возделывание гибридной ржи при такой норме высева возможно только на высокоплодородных почвах, в экологически благоприятных зонах и в отдельных высокотехнологичных хозяйствах, в которых можно обеспечить урожайность на уровне 50 ц/га и более. В этом случае прибавка урожая перекроет увеличение затрат на покупку гибридных семян.

Очень важен этап так называемого предбазисного семеноводства (рис. 2), который начинается с размножения линий А (стерильный аналог и его закрепитель), В (фертильная линия, способная закреплять стерильность), С (синтетик, несущий гены-восстановители фертильности). Сложность в том, что семена родительских форм необходимо размножать в условиях строгой пространственной изоляции от других посевов ржи. Практика показывает, что вести семеноводство межлинейных гибридов ржи на территории одного сельхозпредприятия практически невозможно. Поэтому важно использовать опыт немецких фирм, предложивших выращивать гибридные семена ржи в пшеничных регионах, в которых рожь практически не возделывают [14].

К изложенному следует добавить, что схема производства гибридных семян ржи – многоступенчатая процедура, требующая хорошо продуманной логистики, строгого и своевременного выполнения отдельных технологических операций, наличия высококвалифицированных специалистов и современной материаль-

но-технической базы для очистки и сортировки семян. В этих целях необходима кооперация усилий и возможностей учреждений-оригинатора и заинтересованных производителей семян гибридной ржи.

Таким образом, оценка инбредных линий ржи на общую и специфическую комбинационную способность в системе топкроссных скрещиваний позволила выявить наиболее ценные из них для целей гибридной селекции. Среди простых межлинейных гибридов лучшим оказался $F_1 \text{ msH-1185} \times \text{mfH-1247}$, который при урожайности 7,54 т/га превысил стандарт на 19,5 %. Высокое соотношение вариантов ОКС/СКС по признаку урожайности указывает на хорошие перспективы использования рекуррентного отбора с целью создания высокопродуктивных линий в качестве как семенного, так и пыльцевого родителей. По результатам конкурсного испытания выделен тройной коммерческий гибрид F_1 Немчиновский 1, созданный путем скрещивания простого гибрида $F_1 \text{ msH-1185} \times \text{mfH-1247}$ (саратовский генопул) с двухлинейным синтетиком С-899/20 Rf (вятский генопул). Урожайность гибрида выше, чем у популяционного сорта Валдай, на 10,9 %, что обусловлено формированием более плотного стеблестоя ко времени уборки. Кроме того, он характеризуется лучшими хлебопекарными качествами зерна.

В контексте обсуждаемой проблемы важно подчеркнуть, что озимая рожь – перспективная культура в плане гетерозисной селекции. Результаты исследований свидетельствуют, что методами гибридной селекции можно относительно быстро преобразовать морфотип возделываемых сортов ржи по многим хозяйственно ценным признакам и тем самым повысить ее конкурентоспособность, в сравнении с пшеницей. В совокупности это оптимизирует и стабилизирует валовые сборы зерна такой важной продовольственной культуры, как озимая рожь.

Литература.

1. Жученко А.А. Ресурсный потенциал производства зерна в России. М.: ООО Агрорус, 2004. 1109 с.
2. Кедрова Л.И., Уткина Е.И. и др. Перспективная ресурсосберегающая технология производства зерна озимой ржи: методические рекомендации. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. 76 с.
3. Гончаренко А.А. Актуальные вопросы селекции озимой ржи. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2014. 372 с.
4. Geiger H.H. Strategies of Hybrid Rye Breeding // *Vortr. Pflanzenzuchtung*, 2007. Vol. 41. P. 1–5.
5. Geiger H.H., Schnell F.W. Cytoplasmatic male sterility in rye (*Secale cereal L.*) // *Crop Sci.* 1970. Vol. 10. P. 590–593.
6. Geiger H.H., Miedaner T. Hybrid rye and Heterosis // *Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops*. Madison: Crop Soc., 1999. P. 439–450.
7. Кадыров Р. Гибридная рожь: растущие перспективы // *Наше сельское хозяйство. Агрономия*. 2013. URL: <http://nsh.by/articles/agro/72/167.html> (дата обращения: 20.11.2020)
8. Miedaner T., Laidig F. Hybrid Breeding in Rye (*Secale cereale L.*) // *Advances in Plant Breeding Strategies: Cereals*. 2019. Vol. 5. P. 343–372.
9. Geiger H.H., Miedaner T. Rye Breeding // *Cereals*. ed. M.J. Carena. N.Y.: Springer Science + Business Media LLC, 2009. P. 157–182.
10. Breeding progress, variation and correlation of grain and quality traits in winter rye hybrid and population varieties and national on-farm progress in Germany over 26 years. *Theoret. and Appl. / F. Laidig, H.-P. Piepho, D. Rentel, et al.* // *Genetics*. 2017. Vol. 130. No. 5. P. 981–998.
11. Фолконер Д.С. Введение в генетику количественных признаков. М.: Агропромиздат, 1985. 485 с.
12. Geiger H., Morgenstern K. Angewandt – genetische Studien zur cytoplasmatischen Pollensterilität bei Winterroggen // *Theoret. and Appl. Genet.* 1975. 46. P. 269–276.
13. Gama E.E.G., Hallauer A.R. Relation between inbred and hybrid traits in maize // *Crop Sci.* 1977. 17. P.703–706.
14. Урбан Э.П., Гордей С.И. Селекция и проблемы возделывания гетерозисных гибридов F1 озимой ржи в Республике Беларусь // *Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук*. 2018. Т. 56. №4. С. 448–455. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2018-56-4-448-455>

Поступила в редакцию 28.12.2020

После доработки 21.01.2021

Принята к публикации 05.03.2021

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ ДЛЯ ВОЛГО-ВЯТСКОГО РЕГИОНА

И.Н. Щенникова, член-корреспондент РАН, И.Ю. Зайцева, аспирант
Е.Н. Носкова, кандидат сельскохозяйственных наук

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

Модели сортов сельскохозяйственных культур создают для определенных агроклиматических условий. Цель исследований – дополнить существующие модели двурядного и многорядного сортов ярового ячменя, адаптивных к почвенно-климатическим условиям Волго-Вятского региона, новыми признаками и свойствами для более эффективной их реализации. Исследования проводили на основе обширных, статистически обработанных данных коллекционных питомников и конкурсных сортоиспытаний за 2003–2019 гг. Высокой урожайностью характеризовались сорта с более продолжительным вегетационным периодом. В условиях региона сорта ячменя формировали урожайность за счет различного сочетания элементов ее структуры. Определенный вклад вносили продуктивность колоса и масса 1000 зёрен, при этом у многорядного ячменя зависимость урожайности от указанных признаков была более значительной ($r = 0,61$ и $0,78$ соответственно), чем у двурядных ($r = 0,40$ и $0,42$). Плотность растений у всех сортов на 1 м^2 к уборке не должна превышать $350\text{--}400\text{ шт./м}^2$. Оптимальное соотношение числа зерен в колосе и массы 1000 зерен у двурядных сортов составляет $1,0:2,3$; у многорядных – $1:1$. Устойчивые к полеганию сорта обоих подвидов характеризовались большим количеством узловых корней и отношением массы зерна к соломе – $1,0:1,0$ или $1,1:1,0$ в зависимости от условий вегетации. Для отбора форм с высокими адаптивными свойствами необходимо использовать показатель ИДК, характеризующий рост корневой системы в условиях стресса, и RSR, отражающий распределение пластических веществ, величины которых должны приближаться к 100% , изменения физиологических процессов в растениях под влиянием стресса должны быть минимальными (интегральный индекс устойчивости). Статистически значимая (при $p \leq 0,05$) взаимосвязь урожайности с содержанием хлорофилла a ($r = 0,64$), хлорофилла b ($r = 0,58$) и каротиноидов ($r = 0,60$) в подфлаговом листе также делает эти показатели перспективными для использования в селекции.

MODERN APPROACHES IN MODELING BARLEY CULTIVARS FOR THE VOLGA-VYATKA REGION

Shchennikova I.N., Zaitseva I.Yu., Noskova E.N.

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

Models of cultivars of agricultural crops are created for certain agro-climatic conditions. The aim of the research is to supplement the existing model of two- and multi-row spring barley cultivars that are adaptive to the soil-and-climatic conditions of the Volga-Vyatka region with new features and properties for its more effective implementation. Studies were conducted on the basis of extensive, statistically processed data from collection nurseries and competitive variety tests for 2003–2019. Cultivars having longer growing period were characterized with high productivity. Under the conditions of the region, barley cultivars formed yields due to a different combination of elements of its structure. So, a significant contribution to the productivity was made by the spike productivity and the 1000-grain mass; however, in multi-row barley, the dependence of productivity on these traits was more significant ($r = 0.61$ and 0.78 , respectively) than in two-row barley ($r = 0.40$ and 0.42). In all cultivars, the density of plants per unit area for harvesting should not exceed $350\text{--}400$ pieces per m^2 . The optimal ratio of the number of grains per spike and the 1000-grain mass in two-row cultivars is $1.0: 2.3$; in multi-row cultivars – $1:1$. Lodging-resistant cultivars of both subspecies were characterized by a large number of nodular roots and a ratio of grain mass to straw – $1.0: 1.0$ or $1.1: 1.0$ depending on the growing conditions. To select forms with high adaptive properties, it is necessary to use RTI index that characterize the growth of the root system under stress, and RSR index – the distribution of plastic matters whose values should approach 100% , and the change in physiological processes in plants under the influence of stress should be minimal (integral index of resistance). The statistically significant relationship (at $p \leq 0.05$) of chlorophyll a ($r = 0.64$), chlorophyll b ($r = 0.58$) and carotenoids ($r = 0.60$) in the second leaf with yield capacity also makes this indicator promising for use in barley breeding.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, урожайность, продуктивность, элементы структуры, устойчивость к полеганию, корни, алюмотолерантность, осмотический стресс, пигменты

Key words: *Hordeum vulgare*, yield, productivity, elements of structure, lodging resistance, roots, aluminium tolerance, osmotic stress, pigments

Проблему создания моделей сортов сельскохозяйственных культур рассматривают в селекционном, анатомо-физиологическом, биохимическом и других аспектах [1, 2, 3]. Предполагается, что в будущем прогресс сельского хозяйства будет основан на более эффективной адаптации культур и сортов к изменяющимся во времени и пространстве факторам внешней среды. Следовательно, разработку моделей сортов необходимо вести непрерывно, так как с течением времени меняются требования к возделываемой культуре,

появляются новые знания и представления о генетических и физиологических закономерностях онтогенеза растений [4, 5]. А.В. Кильчевский и Л.В. Хотылева [6] указывали на необходимость более углубленных знаний о том, какие сочетания внешних условий (реально существующих и тех, которые можно создать) наиболее благоприятны для максимально полной реализации потенциала сортов в отношении их общей и полезной продуктивности. В.А. Крупинов [7] подчеркивал, что модель сорта следует разрабатывать, в первую очередь,

на основе лучших генотипов, обладающих рекордной адаптивностью.

Наличие модели сорта позволяет селекционеру целенаправленно создавать генотипы, максимально приближенные к идеальным. При этом любая разработанная модель, основанная на конкретных условиях и результатах, в большей или меньшей степени гипотетическая [4]. Прежде всего, создание модели сорта, учитывающей реализацию его генетического потенциала в конкретных условиях региона, для которого предназначен сорт, требуется для целенаправленного поиска исходного материала. Результаты оценки большого количества образцов из мирового генофонда ячменя ВИР в ФАНЦ Северо-Востока показали, что в большинстве случаев их непригодность для возделывания в Кировской области связана с низкой урожайностью, склонностью к полеганию, поражению болезнями и др. [8, 9]. Формирование стабильно высоких урожаев зерна ярового ячменя в Волго-Вятском регионе способны обеспечить только сорта, соответствующие, как минимум, трем основным требованиям: успешно противостоящие неблагоприятным (экстремальным) воздействиям внешних факторов биотической и абиотической природы; максимально эффективно использующие благоприятные условия среды; имеющие высокий потенциал продуктивности. Обобщая данные разных авторов, С.Н. Новоселов [4] делает обоснованный вывод о том, что создаваемая модель сорта должна отвечать на следующие вопросы: экономическое значение сорта, агротехнические условия предполагаемого ареала возделывания, совокупность признаков и свойств для реализации модели, генетико-селекционные методы и исходный материал для достижения ожидаемого результата.

Ячмень – проверенная и высоконадёжная зернофуражная культура, которая в почвенно-климатических условиях Кировской области максимально реализует свой биологический потенциал, обеспечивая формирование устойчивых урожаев [9]. В последние годы в Кировской области наблюдалась тенденция увеличения площади посевов ячменя, которая в 2019 г. составила 100,7 тыс. га.

Высокие и стабильные урожаи культуры возможны только при освоении современных агротехнологий [10]. Для выращивания ячменя лучше всего подходят дерново-карбонатные глинистые и суглинистые почвы. При возделывании культуры на дерново-подзолистых почвах самые высокие результаты достигаются на слабооподзоленных суглинках средней связности. Корневая система ячменя развита слабее, чем у других зерновых, и ее усвояющая способность ниже, поэтому для культуры необходимы легкодоступные элементы минерального питания, особенно в начальный период роста [9]. Правильное их соотношение – главное условие эффективности применяемых удобрений. Так как на дерново-подзолистых почвах Волго-Вятского региона, в том числе в Кировской области, в первом минимуме находится азот, урожайность зерна ячменя в этих условиях в основном определяет применение азотных и в меньшей степени фосфорных и калийных удобрений. Установлено [10], что на почвах с высоким содержанием P_2O_5 (170-190 мг/кг) и K_2O (230-250 мг/кг почвы), слабой обеспеченностью гумусом (до 1,54 %) и низкой pH (4,17-4,55 ед.) урожайность ярового ячменя при высоких дозах азотных удобрений (до 150 кг д.в.) достигает 3,61 т/га (без удобрений – 1,40 т/га). Применение по 60 кг д.в./га только азотных (урожай-

ность ячменя 2,35 т/га), фосфорных (1,75 т/га) или калийных (1,63 т/га) удобрений менее эффективно, чем их комплексное использование. При внесении удобрений под яровую ячмень оптимальной дозой, обеспечивающей повышение урожайности в 2,4 раза (до 3,41 т/га), по сравнению с фоном естественного плодородия дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, можно считать $N_{90}P_{90}K_{90}$.

Изучение влияния видов основной обработки почвы на урожайность ячменя показало большую эффективность вспашки, по сравнению с плоскорезным рыхлением, сбор зерна возрастал на 0,79 т/га ($HCP_{05}=0,17$ т/га) [11]. Кроме того, было установлено преимущество использования комбинированных агрегатов, выполняющих предпосевную обработку почвы, внесение удобрений и посев, перед классической культивацией. При этом отмечено [12], что для выполнения всего комплекса работ по обработке почвы и посеву достаточно орудия для основной обработки почвы со сменными рабочими органами и почвообрабатывающе-посевного агрегата.

В результате наших исследований и данных государственного сортоиспытания доказана перспективность возделывания в условиях Волго-Вятского региона как двурядных, так и многорядных сортов ячменя. В результате многолетних исследований создана и успешно используется в практической селекции рабочая коллекция современных источников хозяйственно ценных признаков и свойств культуры. В нее входят коллекционные образцы, а также линии и сорта, созданные в ФАНЦ Северо-Востока с использованием классических (гибридизация и отбор) и инновационных (клеточных) методов селекции [13]. Для ускорения селекционного процесса по созданию стрессоустойчивых генотипов ячменя разработаны селективные системы *in vitro*, позволяющие получать растения-регенеранты ячменя, устойчивые к комплексу таких стрессовых факторов, как кислотность почвы, ионная токсичность металлов и засуха [14, 15].

Цель исследований – дополнить существующую модель сортов ярового ячменя, адаптивных к почвенно-климатическим условиям Волго-Вятского региона, новыми признаками и свойствами для более эффективной ее реализации.

Методика. Разработка моделей сортов ярового ячменя для условий Волго-Вятского региона основана на обширном, статистически обработанном наборе данных коллекционных питомников и конкурсных сортоиспытаний за 2003–2019 гг. Исследования проводили в ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) в соответствии с методикой государственного сортоиспытания [16] и методическими указаниями ВИР [17]. При фенологических наблюдениях и структурном анализе образцов ячменя во всех питомниках изучали количественные и качественные признаки. Определение устойчивости генотипов к алюмокислоте и осмотическому стрессам проводили в соответствии с методикой [18], засухоустойчивости – на основании способности семян прорастать в растворах осмотиков, чем она выше, тем более засухоустойчивым считается сорт. Кроме того, в дополнение использовали те же показатели, что и для определения алюмоустойчивости – RSR и относительная RSR.

Период проведения исследований характеризовался разнообразием гидротермических условий. Количество осадков за вегетационный период меньше нормы (251 мм) отмечено в 2010, 2011, 2013, 2014 и 2016 гг.,

близкое к средней многолетней – в 2005 г. и больше нормы – в 2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, 2012, 2017 гг. Неравномерным было и распределение осадков в период май–август. Майскую засуху наблюдали в 2003, 2009, 2010, 2011, 2012, 2015, 2016 и 2018 гг., июньскую – в 2007 г., в июле неблагоприятные условия сложились в 2003, 2004, 2006, 2008, 2009, 2010 и 2016 гг. Теплообеспеченность ячменя была достаточно благоприятной во все годы исследований.

Почва экспериментальных участков дерново-подзолистая с низким содержанием гумуса (1,4 % по Тюнину), небольшой мощностью перегнойного горизонта в значительной части с низкой pH_{KCl} (4,6 ед.), повышенным содержанием подвижного фосфора и очень высоким калия (соответственно 136 мг/кг почвы и 219 мг/кг почвы по Кирсанову), типичная для Кировской области. Основную и предпосевную обработку почвы проводили в соответствии с зональными рекомендациями [11, 12]. В целом почвенно-климатические условия способствовали выявлению потенциальных возможностей сортов.

Результаты и обсуждение. В конкретных экологических условиях урожайность сорта складывается из большого числа различных признаков и свойств. Решение проблемы склонности сортов ячменя к полеганию неразрывно связано с задачей дальнейшего повышения урожайности. Устойчивость к полеганию зависит от анатомо-морфологических особенностей растений, которые подвержены широкой изменчивости в зависимости от погодных условий. Например, высота соломины, будучи генетически детерминированным свойством, изменялась у сортов Дина и Лель от 55 до 100 см. Устойчивость к полеганию также связывают с такими морфологическими особенностями второго нижнего междоузлия, как длина, диаметр и масса. Исследованиями установлены различия между двурядными и многорядными сортами по этим признакам. Так, при практически одинаковом диаметре двурядные сорта коллекционного питомника отличались более коротким и легким междоузлием, чем многорядные, и были устойчивы к полеганию (табл. 1). Корреляционный анализ не выявил наличия существенной зависимости устойчивости к полеганию от изучаемых признаков, возможно, большее влияние оказывает анатомическое строение соломины. Однако эти параметры используют в селекционных программах по созданию устойчивых к полеганию сортов ячменя.

Оценку на устойчивость к полеганию лишь по надземной части растения нельзя считать исчерпывающей. Важна и корневая система, которая создает прочную опору для стебля и препятствует полеганию.

Табл. 1. Морфологические особенности второго нижнего междоузлия (2018–2020 гг.)

Показатель	Стандартный сорт	Двурядные сорта	Многорядные сорта
Устойчивость к полеганию, балл	9,0	8,1–9,0 (8,8)*	5,8–8,8 (6,6)
Длина 2-го нижнего междоузлия, см	7,9	5,0–7,9 (6,3)	5,8–8,9 (6,7)
Масса 2-го нижнего междоузлия, мг	74,8	39,4–94,8 (65,3)	46,0–122,2 (77,0)
Диаметр 2-го нижнего междоузлия, мм	2,4	2,2–2,8 (2,4)	2,2–2,9 (2,5)

*в скобках среднее значение признака.

Табл. 2. Коэффициенты парных корреляций элементов структуры с урожайностью ячменя

Признак	Двурядные сорта	Многорядные сорта
Вегетационный период	0,69	0,63
Полевая всхожесть	-0,20	0,17
Сохранность растений к уборке	0,15	-0,11
Общая кустистость	-0,11	0,26
Продуктивная кустистость	-0,07	0,32
Длина колоса	-0,45	-0,11
Количество колосков в колосе	-0,37	0,05
Количество зерен в колосе	-0,08	0,01
Масса зерна с колоса	0,40	0,61
Масса зерна с растения	0,19	0,27
Масса 1000 зерен	0,42	0,78

У устойчивых сортов вторичные (узловые) корни толстые, упругие и радиально расходятся от узла кущения, а их количество и диаметр больше, чем у полегающих [19]. Анализ корневой системы сортов коллекционного питомника показал наличие вариативности количества зародышевых и узловых корней в разные фазы развития растений. Были выявлены существенные различия ($t_f < t_r$) по числу узловых корней между сортами двурядного (22–23 шт.) и многорядного (26–28 шт.) ячменя. Многорядные сорта уже в фазе кущения выделялись большим количеством узловых корней и сохраняли это преимущество на более поздних этапах онтогенеза. Установлена статистически значимая (при $p \leq 0,05$) корреляционная связь средней степени между устойчивостью к полеганию и количеством узловых корней, сформированных к фазе созревания ($r = 0,44$).

Высота соломины и устойчивость сортов к полеганию связаны с соотношением массы зерна и соломы, которое характеризует нагрузку колоса на растение. У устойчивых сортов при урожайности 5,0–6,0 т/га величина этого показателя варьировала от 1,0:1,0 до 1,1:1,0 в зависимости от условий года. Примерно такое соотношение целесообразно сохранять и во вновь создаваемых сортах.

В Кировской области рекомендуемая норма высевы ячменя составляет 5,0 млн всхожих зерен на 1 га, что при прочих благоприятных условиях вегетации обеспечивает густоту стояния растений к уборке 350–400 растений на 1 м². Анализ урожайности сортов в конкурсном сортоиспытании показал, что именно такое количество растений обеспечивает максимальный в опытах сбор зерна. Культура характеризуется высоким коэффициентом продуктивного кущения. Как правило, двурядные сорта кустятся лучше многорядных.

Создание сорта, соответствующего модели, – сложная задача, так как в разные годы урожайность достигается благодаря сочетанию различных факторов. Корреляционный анализ результатов многолетних исследований продемонстрировал ее фенотипическую сопряженность с элементами структуры продуктивности и продолжительности вегетационного периода. Самой высокой была урожайность сортов с более продолжительным вегетационным периодом (табл. 2).

К числу наиболее значимых признаков можно отнести продуктивность колоса и массу 1000 зёрен. При этом у многорядного ячменя корреляция этих признаков с величиной урожайности была выше, чем у двурядного.

Учитывая связь между количеством зерен в колосе и массой 1000 зерен, а также то, что их величины, в конечном итоге, определяют продуктивность колоса, в новых сортах необходимо найти оптимальное соотношение между этими компонентами. В конкурсном сортоиспытании у лучших сортов многорядного ячменя ФАНЦ Северо-Востока при урожайности $5,98 \pm 0,66$ т/га число зерен в главном колосе составляло в среднем 35 ± 2 шт., масса 1000 зерен – $36,0 \pm 0,9$ г при оптимальной норме высева 5,0 млн. всхожих зерен на 1 га. Соотношение изучаемых показателей 1:1 было наиболее благоприятным, при этом их абсолютные величины могли варьировать. У двурядных сортов при аналогичной норме высева и урожайности $5,83 \pm 0,57$ т/га, количество зерен в главном колосе составляло $20,6 \pm 0,5$ шт., масса 1000 зерен – $47,4 \pm 0,7$ г, соотношение величин этих показателей – 1,0:2,3. Такие соотношения целесообразно сохранять во вновь создаваемых сортах.

Учитывая особенности почвенно-климатических условий и различия морфо-биологических признаков изучаемых сортов, разработаны модели двурядного и многорядного сорта ярового ячменя для Волго-Вятского региона (табл. 3).

Исходя из полученных результатов, увеличения урожайности культуры в регионе можно достичь, в первую очередь, путем создания оптимального продук-

Табл. 3. Параметры модельных сортов ярового ячменя

Показатель	Стандартный сорт	Модельный сорт	
		многорядный	двурядный
Урожайность, т/га	4,3-6,4	10,0-12,0	8,0-10,0
Вегетационный период, дней	76-80	76-80	76-80
Густота стеблестоя, шт./м ² :			
полные всходы	400-420	400-450	400-450
сохранность к уборке	290-310	350-400	350-400
Количество узловых корней, шт.	19-20	26-28	20-22
Продуктивная кустиность	1,9-2,1	2,0-2,5	2,0-2,5
Средняя высота стеблестоя, см	62-78	65-75	65-75
Количество колосков в колосе, шт.	21-23	46-50	22-25
Количество зерен в колосе, шт.	19-22	40-46	20-24
Плотность колоса	12-13	12-13	13-14
Масса зерна с колоса, г	0,9-1,1	1,2-1,7	1,0-1,5
Масса зерна с растения, г	1,5-2,5	2,5-3,0	2,0-2,5
Масса 1000 зерен, г	46-52	36-42	48-52
Засухоустойчивость*, балл	3,9-4,1	4,5-5,0	4,5-5,0
Устойчивость к полеганию*, балл	4,1-4,4	4,5-5,0	4,5-5,0
Устойчивость к осыпанию*, балл	3,9-4,1	4,5-5,0	4,5-5,0
Устойчивость к пятнистостям листьев*, балл	3,5-5,0	4,5-5,0	4,5-5,0
Устойчивость к пыльной головне*, балл	4,0-5,0	4,5-5,0	4,5-5,0

*по 5-и балльной шкале

Табл. 4. Параметры алюмоустойчивого сорта ярового ячменя

Показатель	Стандартный сорт	Модельный сорт
ИДК, %	75,8	выше 65
Относительная RSR, %	83,7	приближен к 100%
Интегральный индекс устойчивости, %	40,5	минимальное значение (0-20)

тивного стеблестоя, обеспечения полноценных всходов и хорошей сохранности растений к уборке.

Несмотря на очевидные успехи в создании высокоурожайных и скороспелых сортов ячменя, многие проблемы селекции этой культуры в Волго-Вятском регионе остаются нерешенными. Усиливающиеся тенденции изменения почвенно-климатических условий возделывания вызывают необходимость создания агроэкологически устойчивых сортов ячменя, способных переносить стрессы различной природы.

Повышенная кислотность почвы – основной эдафический стрессор, вызывающий значительные потери урожая ячменя. Для отбора форм с высокими адаптивными свойствами необходима оценка комплекса биологически ценных признаков на разных этапах онтогенеза. Большое значение имеет изучение степени развития первичной корневой системы и надземных органов, изменчивость которых при наличии стресса может характеризовать устойчивость генотипа к неблагоприятным факторам среды. Так, величины показателей ИДК, характеризующего рост корневой системы в условиях стресса, и RSR, отражающего распределение пластических веществ, должны приближаться к 100 %, а изменение физиологических процессов под влиянием стресса (интегральный индекс устойчивости) должно быть минимальным (табл. 4).

Волго-Вятский регион считается зоной достаточного увлажнения, но для него характерно неравномерное выпадение осадков в течение вегетационного периода, кроме того, раз в четыре-пять лет на территории региона наблюдается засуха. Анализ экспериментальных данных показал, что всхожесть засухоустойчивых генотипов в стрессовых условиях превышает 80 %, а относительная RSR приближена к 100 %.

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях ячменя – один из значимых физиологических показателей, влияющих на урожайность культуры. Количество хлорофилла в листьях ячменя в фазе цветения определяют условия выращивания и генотип. Так, для сортов двурядного ячменя отмечено варьирование содержания хлорофилла а во флаговом листе от 6,73 до 12,28 мг/г сухой массы, хлорофилла б – от 3,60 до 6,92 мг/г, для подфлагового листа – соответственно от 9,93 до 12,86 мг/г и от 5,53 до 7,98 мг/г. Характеристики пигментного комплекса могут быть использованы для прогноза развития отдельных элементов продуктивности растений ячменя, в частности содержание пигментов во флаговом листе – признаков длины колоса, масса зерна с колоса и масса 1000 зерен; содержание пигментов в подфлаговом листе – длина колоса и урожайность. Нашими исследованиями установлена статистически значимая (при $p \leq 0,05$) взаимосвязь урожайности с содержанием хлорофилла а ($r = 0,64$), хлорофилла б ($r = 0,58$) и каротиноидов ($r = 0,60$) в подфлаговом листе, что делает этот показатель перспективным для использования в селекции.

Таким образом, анализ результатов многолетних исследований дает научную информацию, позволяющую выявить и обосновать перспективные направления дальнейшей селекционной работы. Предложена модель сорта ярового ячменя с учетом технологичности и адаптации к условиям Волго-Вятского региона. При селекции на продуктивность необходимо отбирать растения среднеспелые (76-80 дней), устойчивые к полеганию (4,5-5,0 баллов) и болезням (4,5-5,0 баллов), характеризующиеся хорошо развитой вторичной корневой системой (многорядные сорта – 26-28 шт., двурядные – 20-22 шт.) и элементами структуры урожайности (продуктивная кустистость – 2,0-2,5, продуктивность колоса – 1,0-1,7 г, масса 1000 зерен у многорядных – 36-42 г, у двурядных – 48-52 г). При создании высокоурожайных, адаптивных к регионспецифичным стрессам сортов эффективно дополнительное использование таких параметров как ИДК, RSR, а также содержание хлорофилла в подфлаговом листе растений ячменя.

Литература.

1. Методология создания продуктивных, экологически устойчивых сортов овса пленчатого / Г.А. Баталова, С.Н. Шевченко, Е.М. Лисицын и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 6. С. 3–6.
2. Лисицын Е.М. Использование маркерной селекции в создании моделей сортов зерновых культур, устойчивых к абиотическим стрессам // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 3(64). С. 4–12.
3. Методы и результаты селекции ярового ячменя на Кубани / Т.Е. Кузнецова, С.А. Левитанов, Н.В. Серкин и др. // Достижения науки и техники АПК. 2015. № 29. С. 20–22.
4. Новоселов С.Н. Философия идеотипа сельскохозяйственных культур. I. Методология и методика // Научный журнал КубГАУ, 2006. № 24(8). URL: <http://ej.kubagro.ru/2006/08/pdf/27.pdf> (дата обращения: 23.08.2020 г.)
5. Байкалова Л.П. Голозерный ячмень и овес в Сибири: монография. Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2018. 298 с.
6. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Экологическая селекция растений. Минск: Техноложя, 1997. 372 с.
7. Крупнов В.А. Проблемы создания модельного сорта // Селекция и семеноводство. 1981. № 9. С. 7–11. Шешегова Т.К., Щенникова И.Н. Источники ценных признаков ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и их использование в ФАНЦ Северо-Востока // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (173). С. 25–31.
8. Родина Н.А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 488 с.
9. Козлова Л.М., Попов Ф.А., Денисова А.В. Разработка полевых севооборотов с различным насыщением зерновыми и зернобобовыми культурами для увеличения выхода кормов // Адаптивное кормопроизводство. 2016. № 2. С. 46–52.
10. Влияние возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя / В.Д. Абашев, Е.В. Светлакова, Ф.А. Попов и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 1 (50). С. 24–30.
11. Kozlova L.M., Popov F.A., Demshin S.L. Characteristic and efficiency of operation of the unit for non-plough soil cultivation and sowing unit in conditions of the Eastern European part of Russia // Agricultural Engineering. 2014. № 4 (152). P. 163.
12. Дёмин С.Л. Техника для обработки почвы и посева в условиях Евро-Северо-Востока России. Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 3(18). С. 17–24.
13. Щенникова И.Н., Кокина Л.П. Приоритетные направления и некоторые результаты селекции ярового ячменя в Волго-Вятском регионе // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. №2(2). С. 214–219.
14. Шуплецова О.Н., Щенникова И.Н. Генетические источники селекции ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в Волго-Вятском регионе // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. Т. 180. Вып. 1. С. 82–88.
15. Шуплецова О.Н. Клеточная технология создания сортов ячменя с комплексной устойчивостью к ионной токсичности металлов и засухе. Биология клеток растений *in vitro* и биотехнологии: тезисы докладов XI Междун. конф. Минск: Медисонт, 2018. С. 278–279.
16. Методика Госкомиссии по испытанию сельскохозяйственных культур. М.: Калининская областная типография, 1985. 389 с.
17. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. СПб.: ВИР, 2012. 63 с.
18. Лисицын Е.М. Показатели развития корневых систем в эдафической селекции ячменя // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. №2(26). С. 66–71.
19. Григулецкий В.Г. О полегании злаковых растений и методиках оценки устойчивости их стеблей // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 1(373). С. 62–67.

Поступила в редакцию 21.09.2020

После доработки 18.12.2020

Принята к публикации 20.02.2020

ОНТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ (СПИРТО- И ВОДОРАСТВОРИМЫХ АНТИОКСИДАНТОВ) В СЕМЕНАХ СОИ ОВОЩНОЙ

Д.Р. Шафигуллин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, М.С. Гинс^{1,2}, член-корреспондент РАН,
Е.П. Пронина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, А.А. Байков¹

¹Федеральный научный центр овощеводства,
143080, Московская обл., Одинцовский р-н, пос. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14
²Российский университет дружбы народов,
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6
E-mail: shafigullin89@yandex.ru

Исследования проводили с целью изучения суммарного содержания водорастворимых антиоксидантов, полифенольных соединений и флавоноидов в семенах сои овощной в фазе технической (R6) и биологической спелости (R8). В фазе технической спелости овощных форм сои величины этих показателей составили соответственно 2,6 мг-экв галловой кислоты/г, 4,1 мг-экв галловой кислоты/г и 0,69 мг-экв кверцетина/г. При этом содержание суммы водорастворимых антиоксидантов у зерновых и овощных образцов находилось на одном уровне, полифенольных соединений у овощных форм было выше, чем у зерновых сортов, на 36,6 %, а накопление изофлавонов ниже на 16,6 %. В период перехода растений от технической спелости к биологической наблюдался рост аккумуляции спирторастворимых антиоксидантов, в то время как доля водорастворимой фракции уменьшалась. В фазе биологической спелости содержание суммы водорастворимых антиоксидантов, полифенольных соединений и флавоноидов у сои овощной составило соответственно 2,2 мг-экв галловой кислоты/г, 4,8 мг-экв галловой кислоты/г, 0,90 мг-экв кверцетина/г. Это выше, чем у зерновых сортов, на 10,0 %, 26,3 % и 9,7 % соответственно. В фазе биологической спелости выявлены достоверные взаимосвязи между суммарным содержанием водорастворимых антиоксидантов и полифенольных соединений ($r=0,80 \pm 0,14$), полифенольных соединений и изофлавонов ($r=0,81 \pm 0,12$). В условиях Центрального района Нечерноземной зоны накопление водо- и спирторастворимых антиоксидантов в семенах сои овощной типа, отличается от сортов сои зерновой.

ONTOGENETIC CHANGES IN THE CONTENT OF SECONDARY METABOLITES (ETHANOL AND WATER-SOLUBLE ANTIOXIDANTS) IN VEGETABLE SOYBEAN SEEDS

Shafigullin D.R.¹, Gins M.S.^{1,2}, Pronina E.P.¹, Baikov A.A.¹

¹Federal Scientific Vegetable Center,
143080, Moskovskaya obl., Odintsovskiy r-n, pos. VNISSOK, ul. Selektionnaya, 14
²Peoples' Friendship University of Russia,
117198, Moskva, ul. Miklucho-Maklaya, 6
E-mail: shafigullin89@yandex.ru

The work reflects the results of a three-year study of the total content of water-soluble antioxidants, polyphenolic compounds and flavonoids in seeds in the phase of technical (R6) and biological ripeness (R8) of vegetable soybean. The accumulation of the total water-soluble antioxidant content, the polyphenolic content and flavonoid content in the phase of R6 of vegetable soybeans samples were, respectively, 2.6 mg GAE/g DW, 4.1 mg GAE/g DW and 0.69 mg QE/g DW, while the content of water-soluble antioxidants in grain and vegetable samples was at the same level, the content of polyphenolic compounds in vegetable forms were higher than in grain varieties by 36.6 %, and the accumulation of isoflavones in grain soybean varieties exceeded their content in vegetable forms by 16.6 %. During the period of plant development from R6-phase to R8, an increase in the accumulation of ethanol-soluble antioxidants was observed, while the content of the water-soluble fraction decreased. In R8-phase, the total water-soluble antioxidant content, the polyphenolic content and flavonoid content in vegetable soybean seeds were, respectively, 2.2 mg GAE/g DW, 4.8 mg GAE/g DW, 0.90 mg QE/g DW, which exceeded grain soybean varieties by 10.0 %, 26.3 % and 9.7 %, respectively. In R8-phase, significant relationships were revealed between the content of ethanol- and water-soluble antioxidants: between the total content of water-soluble antioxidants and polyphenolic compounds ($r=0.80 \pm 0.14$), as well as between the content of the polyphenolic compounds and isoflavones ($r=0.81 \pm 0.12$). The data obtained allow us to conclude that under the conditions of the Central Region of the Non-Chernozem Zone, vegetable-type of soybean has other patterns of accumulation of the water- and ethanol-soluble antioxidants in the seeds, which are different from the grain-type varieties of soybean.

Ключевые слова: соя овощная, *Glycine max* (L.) Merr., антиоксиданты, вторичные метаболиты, полифенольные соединения, изофлавоны, функциональные продукты

Key words: vegetable soybean, *Glycine max* (L.) Merr., antioxidants, secondary metabolites, polyphenolic compounds, isoflavones, functional products

Под состоянием окислительного стресса имеют в виду нарушение равновесия, ведущее к избытку содержания в клетках активных форм кислорода (АФК), в числе которых – синглетный кислород, супероксидрадикал, пероксид кислорода, гидроксильный радикал. Это сильные окислители, способные повреждать структуру ДНК, клеточных мембран, белков, липидов [1, 2].

Антиоксидантами (АО) принято считать химические соединения, которые могут останавливать сво-

боднорадикальное окисление веществ органической природы АФК или способствовать образованию менее токсичных продуктов. Они регулируют реакции окисления в большинстве метаболических процессов. Под влиянием АО создаются условия для нормального роста клеток и тканей [3, 4]. Известно, что АО играют положительную роль в профилактике болезней, связанных с антиокислительным стрессом [5], вследствие чего использование компонентов, обладающих антиок-

сидантными свойствами, в функциональном питании – необходимый элемент предотвращения заболеваний и усиления иммунной системы организма [6, 7].

К водорастворимым антиоксидантам относят аскорбиновую кислоту, витамины группы В, полифенольные соединения, ароматические амины [8]. Спирторастворимые антиоксиданты, содержащиеся в растениях, в основном, принадлежат к числу полифенольных соединений вторичной природы [9]. Это одна из самых больших и распространенных групп биоорганических соединений, которые проявляют физиолого-биохимическую активность. Полифенольные соединения содержат бензольные кольца с гидроксильной группой. В растительных организмах фенольные соединения находятся в свободном состоянии или в виде гликозидов [10, 11]. Полифенольные соединения – необходимая составляющая растений. Важно отметить, что в организме человека они не синтезируются и поступают, в основном, в составе растительной пищи [12]. Особую ценность среди фенольных соединений представляют флавоноиды [13, 14].

Изофлавоны (ИФ) относятся к подгруппе флавоноидов – продуктов вторичного метаболизма растений. Соя – природный источник ИФ. Их содержание в семенах варьирует в пределах 0,1-5, мг/г, в зависимости от типа изофлавонов и условий выращивания [15]. Они привлекают большое внимание из-за важных физиологических функций в профилактике и лечении сердечно-сосудистых заболеваний, остеопороза и старческого слабоумия. Изофлавоны играют огромную роль в качестве антиоксидантов [16]. Продукты из сои обладают профилактическим действием в отношении онкологических заболеваний, подавляя рост раковых опухолей благодаря высокому содержанию генистеина, который служит природным ингибитором тирозинспецифической протеинкиназы, вследствие чего продукты из соевых бобов рассматривают как функциональные [17].

При интродукции новых форм культурных растений необходимо проводить скрининг исходного материала на содержание вторичных метаболитов, поскольку их накопление подвержено значительной изменчивости в зависимости от эколого-географической зоны выращивания [18].

Цель исследований – изучение закономерностей изменения содержания полифенольных соединений, в том числе флавоноидов и водорастворимых антиоксидантов, в семенах сои овощного типа в динамике в условиях Центрального района Нечернозёмной зоны для выделения образцов с повышенным накоплением вторичных метаболитов и их последующего использования в селекционных программах.

Методика. Объектом исследований были 10 образцов *Glycine max* (L.) Мегг., в том числе два масличного, два универсального и шесть овощного типа (табл. 1). Изучение селекционного материала проводили в лаборатории физиологии и биохимии Федерального научного центра овощеводства в 2016–2018 гг.

Принадлежность к овощным формам определяли в соответствии со сформированной моделью сортоотбора: по морфологическим и хозяйственным признакам, биологическим особенностям, биохимическим параметрам [19]; к универсальным отнесены формы, проявлявшие признаки, присущие как овощным, так и масличным сортам; к зерновым – сорта масличного направления. В качестве стандарта выбран сорт Окская, допущенный к использованию, в том числе в Центральном регионе.

Табл. 1. Происхождение образцов сои и направление использования

Образец	Происхождение	Направление использования
Окская (стандарт)	Россия	зерновое (масличное)
Соер 5	Россия	зерновое (масличное)
Gokuwase Hayabusa	Япония	овощное
Edamame	Япония	овощное
Образец А	Япония	овощное
Hidaka	Япония	овощное
740-1	Швеция	овощное
Fiskeby III	Швеция	овощное
Cha Kura Kake	Япония	овощное
Tundra	Канада	универсальное
Нордик	Россия	универсальное

Посев проводили вручную в 2016 и 2018 гг. в третьей декаде мая в открытом грунте, в 2017 г. – в первой декаде июля в защищенном грунте (теплице) в три ряда длиной 1,5 м (густота стояния – 55 шт./м²).

Содержание фенольных соединений определяли методом Фолина-Чокальтеу [20]. Их экстрагировали раствором C₂H₅OH (70 %) на водяной бане при 70 °С в течение 45 мин. Калибровку проводили по галловой кислоте (безводная), степень чистоты – «чистая для анализа» (ЧДА). Концентрацию изофлавонов определяли по цветной реакции с треххлористым железом с построением калибровочного графика по стандартным растворам ди-гидрокверцетина (химически чистый) [21]. Экстракцию проводили 70 %-ным раствором C₂H₅OH на водяной бане при 70 °С в течение 45 мин. Суммарное содержание антиоксидантов измеряли амперометрическим методом на приборе «ЦветЯуза 01-АА» [22]. Экстракцию проводили бидистиллированной водой при температуре 20 °С. Калибровку осуществляли по галловой кислоте (безводная), ЧДА.

Содержание вторичных метаболитов в семенах анализировали в динамике: в фазе технической (R6) и биологической (R8) спелости. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием программ Microsoft Office Excel (2010) и Origin 9.1.

Результаты и обсуждение. В фазе R6 образцы масличной и овощной форм характеризовались почти одинаковым суммарным содержанием водорастворимых антиоксидантов (САО) – 2,63 мг-экв галловой кислоты/г. У сорта Окская, а также овощных образцов Gokuwase Hayabusa Edamame и Cha Kura Kake сумма водорастворимой фракции антиоксидантов была на 34,7 % выше, чем у остальных образцов, они быстрее перешли к интенсивному накоплению АО в семенах в фазе технической спелости.

Биохимические процессы, связанные с созреванием растений, отразились на накоплении гидрофильных антиоксидантов в семенах. К фазе биологической спелости оно в большинстве образцов снижалось, в сравнении с технической, на 14,3 %. Этот факт обусловлен общим уменьшением суммы водорастворимых антиоксидантов к концу вегетации на фоне значительного снижения влажности семян (в несколько раз). В этой фазе овощные образцы отличались большим САО, чем масличные сорта (на 15,0 %), кроме генотипов Нордик

Табл. 2. Содержание основных антиоксидантов в обезжиренных семенах сои (среднее за 2016-2018 гг.), мг-экв/г сухой массы

Название	САО, мг-экв галловой кислоты/г*	Vс, %	ФС, мг-экв галловой кислоты/г	Vс, %	ИФ, мг-экв кверцетина/г	Vс, %
Окская	3,2 ± 0,1 1,9 ± 0,3	26,6	3,0 ± 0,1 3,6 ± 0,3	15,2	0,8 ± 0,0 0,8 ± 0,0	9,1
Соер-5	2,3 ± 0,1 2,1 ± 0,3	25,3	3,1 ± 0,1 3,9 ± 0,5	23,2	0,8 ± 0,0 0,8 ± 0,0	10,1
Gokuwase Hayabusa Edamame	3,1 ± 0,1 2,3 ± 0,4	33,0	3,8 ± 0,1 4,9 ± 0,4	14,3	0,8 ± 0,0 0,9 ± 0,1	13,1
Образец А	н/д 2,2 ± 0,3	26,1	н/д 5,0 ± 0,6	21,1	н/д 9,0 ± 0,1	12,5
Hidaka	2,3 ± 0,1 2,1 ± 0,4	37,7	4,3 ± 0,1 4,7 ± 0,5	20,1	0,7 ± 0,0 0,9 ± 0,0	1,4
740-1	2,2 ± 0,1 2,3 ± 0,3	21,3	3,8 ± 0,1 4,7 ± 0,2	8,1	0,6 ± 0,0 0,9 ± 0,0	9,1
Fiskeby III	2,4 ± 0,1 2,2 ± 0,2	17,8	3,2 ± 0,1 4,7 ± 0,4	13,8	0,6 ± 0,0 0,9 ± 0,0	7,2
Cha Kura Kake	3,2 ± 0,1 1,5 ± 0,2	22,4	5,6 ± 0,2 4,1 ± 0,4	18,7	0,7 ± 0,0 0,9 ± 0,0	9,8
Tundra	2,3 ± 0,1 2,5 ± 0,4	30,1	3,7 ± 0,1 5,5 ± 0,4	13,0	0,7 ± 0,0 1,0 ± 0,0	10,4
Нордик	2,4 ± 0,1 1,7 ± 0,5	45,7	4,2 ± 0,1 3,7 ± 0,5	21,2	0,7 ± 0,0 0,8 ± 0,0	7,0

*числитель – в фазе технической спелости, знаменатель – в фазе биологической спелости.

и Cha Kura Kake, у которых оно было ниже на 25 %, по-видимому, вследствие причин наследственного характера. Содержание водорастворимых антиоксидантов значительно варьировало по годам, тем не менее, выявлены генотипы со стабильно повышенным САО в семенах в фазе биологической спелости. Это Gokuwase Hayabusa Edamame, Образец А, Fiskeby III и Tundra, у которых оно составляло в среднем 2,3 мг-экв галловой кислоты/г (табл. 2). Их целесообразно использовать в качестве источника признака высокое содержание АО в селекционных программах по созданию новых сортов для производства функциональных продуктов питания с более высоким содержанием компонентов, обладающих антиоксидантной активностью.

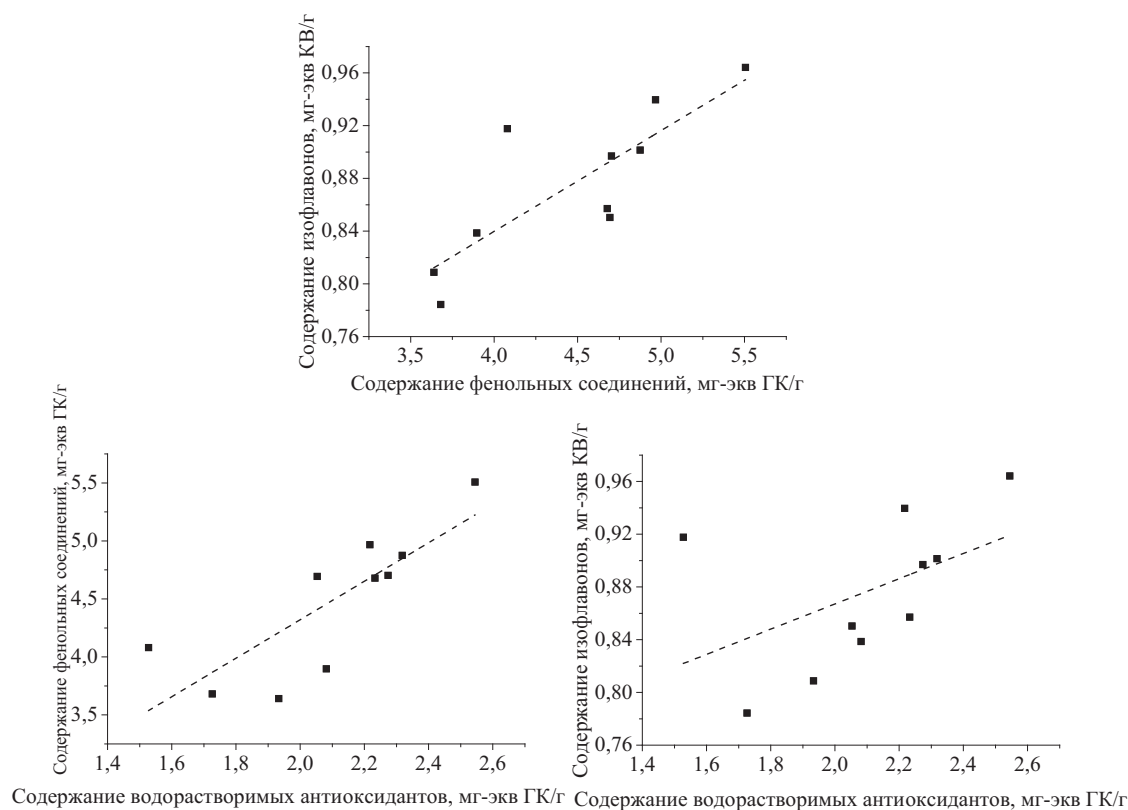
Содержание фенольных компонентов в фазе R6 у овощных и зерновых форм в среднем составляло соответственно 4,1 и 3,0 мг-экв галловой кислоты/г; в фазе R8 – 4,8 и 3,8 мг-экв галловой кислоты/г. Таким образом, сумма фенольных соединений (ФС) в семенах овощных образцов в оба периода развития была выше, чем у масличных сортов, соответственно на 36,6 % и 26,3 %. У образцов Нордик, Cha Kura Kake выявлено их снижение, по сравнению с фазой технической спелости, на 8,9 % и 24,4 % соответственно, что может свидетельствовать о разрушении фенольных соединений, вероятно, вследствие теплового стресса. Среди овощных образцов высоким накоплением ФС в фазе биологической спелости отличались Gokuwase Hayabusa Edamame, Образец А и Tundra – в среднем 5,1 мг-экв галловой кислоты/г. Изменчивость содержания ФС была невысокой (см. табл. 2).

В процессе генеративного развития отмечено увеличение накопления ИФ во всех образцах. Так, в фазе R6 у масличных сортов их сумма была больше, чем у овощных, на 16,6 %, за исключением Gokuwase Hayabusa Edamame. К периоду полной биологической спелости эти различия нивелировались из-за более интенсивного синтеза изофлавонов у овощных форм на поздних этапах развития.

Результаты анализа аккумуляции изофлавонов в фазе биологической спелости свидетельствуют о более высоком содержании ИФ у овощных форм, по сравнению с зерновыми (на 9,7 %). Коэффициент вариации признака был низким. Стабильно повышенным накоплением изофлавонов за три года наблюдений отличались Образец А, Tundra, Cha Kura Kake, величина этого показателя у них была больше, чем в среднем по овощной группе, на 9,6 %. Овощные формы, в среднем, к концу вегетации синтезировали 0,90 мг-экв кверцетина/г. Величину этого показателя можно использовать при оценке селекционного материала сои овощного направления для повышения пищевого качества семян.

Установлена значимая взаимосвязь между суммарным содержанием водорастворимых антиоксидантов и полифенольных соединений ($r=0,80 \pm 0,14$), что вполне закономерно, поскольку фенольные соединения, отчасти, относятся к группе водорастворимых АО (см. рисунок). Содержание фенольных соединений также тесно связано с накоплением, входящих в эту группу, изофлавонов ($r=0,81 \pm 0,12$). Корреляция между аккумуляцией водорастворимых антиоксидантов и изофлавонов была более слабой, так как водная экстракция не позволяет полностью извлекать флавоноиды ($r=0,49 \pm 0,15$).

Таким образом, содержание водорастворимых антиоксидантов в семенах сои овощной в фазе технической спелости составляет 2,6 мг-экв галловой кислоты/г, в фазе биологической спелости в семенах овощных форм оно на 15,0 % выше, чем у масличных сортов, и в среднем достигает 2,2 мг-экв галловой кислоты/г. Суммарная количество полифенольных соединений в семенах образцов овощной сои по фазам развития находится на уровне 4,1 и 4,8 мг-экв галловой кислоты/г соответственно, что было выше, чем у масличных, на 36,6 и 26,3 %. Накопление изофлавонов в семенах сои в фазе технической спелости составляет 0,69 мг-экв кверцетина/г. В процессе развития растений к концу фазы биологической спелости оно увеличивается у



Корреляционные взаимосвязи между содержанием спирто- и водорастворимых антиоксидантов у образцов сои.

овощных сортов до 0,90 мг-экв кверцетина/г, что больше, чем у зерновых, на 9,7 %.

Полученные результаты позволяют рекомендовать использование овощных форм *Glycine max* (L.) Merr. в селекционных программах на повышенное накопление водо- и спирторастворимых антиоксидантов.

Литература.

1. Владимиров Ю. А., Проскурина Е. В. Свободные радикалы и клеточная хемилюминесценция // *Успехи биологической химии*. 2009. Т. 49. № 7. С. 341–388.
2. Сигнальная роль активных форм кислорода при стрессе у растений / В. Д. Креславский, Д. А. Лось, С. И. Аллахвердиев и др. // *Физиология растений*. 2012. Т. 59. № 2. С. 163–163.
3. Antioxidants: scientific literature landscape analysis / A. W. K. Yeung, N. T. Tzvetkov, O. S. El-Tawil, et al. // *Oxidative medicine and cellular longevity*. 2019. Vol. 2019. URL: <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2019/8278454>.
4. Содержание антиоксидантов в лекарственных и овощных растениях, проявляющих противоопухолевую активность / М.С. Гинс, В.К. Гинс, А.А. Байков и др. // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*. 2013. № 2. С. 010–015.
5. Role of ROS and nutritional antioxidants in human diseases / Z. Liu, Z. Ren, J. Zhang, et al. // *Frontiers in physiology*. 2018. Vol. 9. P. 477.
6. Исследование суммарного содержания антиоксидантов в семенах овощных бобовых культур, выращенных в условиях Московской области / Д.Р. Шафигуллин, А.А. Байков, Е.П. Пронина и др. // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 4 (28). С. 103–109.
7. Food antioxidants and their anti-inflammatory properties: a potential role in cardiovascular diseases and cancer prevention / K. Griffiths, B. B. Aggarwal, R. B. Singh, et al. // *Diseases*. 2016. Vol. 4. No. 3. URL: <https://www.mdpi.com/2079-9721/4/3/28#>. doi: 10.3390/diseases4030028.
8. Natural antioxidants in foods and medicinal plants: extraction, assessment and resources / D. P. Xu, Y. Li, X. Meng, et al. // *International journal of molecular sciences*. 2017. Vol. 18. No. 1. URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/18/1/96>. doi: 10.3390/ijms18010096.
9. Предрасположенность накопления фенольных соединений у сои (*Glycine max* (L.) Merr.) в зависимости от овощного направления использования / Д.Р. Шафигуллин, Е.П. Пронина, М.С. Гинс и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 4. С. 22–24.
10. Olszowy M. What is responsible for antioxidant properties of polyphenolic compounds from plants? // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019. Vol. 144. P. 135–143.
11. Ganesan K., Xu B. A critical review on polyphenols and health benefits of black soybeans // *Nutrients*. 2017. Vol. 9. No. 5. URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/9/5/455#>. doi: 10.3390/nu9050455.
12. Profile analysis and correlation across phenolic compounds, isoflavones and antioxidant capacity during germination of soybeans (*Glycine max* L.) / F. A. Guzmán-Ortiz, E. San Martín-Martínez, M. E. Valverde, et al. // *CyTA-Journal of Food*. 2017. Vol. 15. No. 4. P. 516–524.

13. Pal D., Verma P. Flavonoids: A powerful and abundant source of antioxidants // *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2013. Vol. 5. No. 3. P. 95–98.
14. Pérez-Cano F. J., Castell M. Flavonoids, inflammation and immune system. *Nutrients*. 2016. Vol. 8. No.10. URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/8/10/659/htm#>. doi: 10.3390/nu8100659.
15. Extracted or synthesized soybean isoflavones reduce menopausal hot flash frequency and severity: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / K. Taku, M. K. Melby, F. Kronenberg, et al. // *Menopause*. 2012. Vol. 19. No. 7. P. 776–790.
16. Soy isoflavones: a safety review / I. C. Munro, M. Harwood, J. J. Hlywka, et al. // *Nutrition Reviews*. 2003. Vol. 61. No. 1. URL: <https://academic.oup.com/nutritionreviews/article/61/1/1/1824597>. doi: 10.1301/nr.2003.janr.1-33.
17. Biochemistry and use of soybean isoflavones in functional food development / C. Hu, W. T. Wong, R. Wu, et al. // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2020. Vol. 60. No. 12. P. 2098–2112.
18. Analysis of isoflavones and phenolic compounds in Korean soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seeds of different seed weights / S.J. Lee, J.J. Kim, H.I. Moon, et al., Chung I.M. // *Journal of agricultural and food chemistry*. 2008. Vol. 56. No. 8. P. 2751–2758.
19. Накопление сырого белка образцами сои овощного типа в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России / Д.Р. Шафигуллин, М.С. Гинс, Е.П. Пронина и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 2. С. 13–16.
20. Ainsworth E.A., Gillespie K.M. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent // *Nature protocols*. 2007. Vol. 2. No. 4. P. 875–877.
21. Получение фракций олигосахаридов и изофлавоноидов из соевой мелассы / Н. В. Хабибулина, А. А. Красноштанова, Т. М. Бикбов и др. // *Химия растительного сырья*. 2014. №. 4. С.115–124.
22. Яшин А. Я., Яшин Я. И., Черноусова Н. И. Определение природных антиоксидантов амперометрическим методом // *Пищевая промышленность*. 2006. №. 2. С. 10–12.

Поступила в редакцию 21.12.2020

После доработки 03.02.2021

Принята к публикации 12.03.2021

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ СЫРОЙ КЛЕЙКОВИНЫ В ЗЕРНЕ ПШЕНИЦЫ

А.В. Пасынков, доктор биологических наук,
Е.Н. Пасынкова, доктор биологических наук

Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка» –
филиал Федерального исследовательского центра картофеля имени А.Г. Лорха
188338, п. Белогорка, Гатчинский район, Ленинградская обл.
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

Проведение регрессионного анализа позволило получить уравнение множественной нелинейной регрессии, отражающее зависимость содержания сырой клейковины в зерне пшеницы (Y , %) от содержания белка ($X_1 = N_{\text{общ.}} \cdot 5,7$, %) и массы 1000 зерен (X_2 , г): $Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$, в котором все показатели качества приведены на 12 %-ную влажность. В случае, когда содержание белка определено на абсолютно сухое вещество, зависимость принимает следующий вид: $Y(2) = -41,928 + 0,063X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$. Разработанные уравнения могут быть использованы для ориентировочного определения (прогноза) содержания сырой клейковины в зерне озимой и яровой мягкой и твердой пшеницы во всех случаях, когда показатели ее технологических качеств определены традиционными аналитическими методами. Уравнения также пригодны для проведения косвенной проверки точности определения содержания сырой клейковины, когда содержание белка и (или) сырой клейковины измерено с использованием различных приборов, в частности, Инфра-Люм ФТ-10 или ФТ-12, Spektra Star 2400, Infraneo, DA 7200 NIR analyzer, Inframatic 9200 и Infratec 1241.

COMPARATIVE EVALUATION OF DIFFERENT METHODS FOR DETERMINING OF RAW GLUTEN CONTENT IN WHEAT KERNEL

Pasynkov A.V., Pasynkova E.N.

Leningrad Research Agriculture Institute Branch of Russian Potato Research Centre
188338, p. Belogorka, Gatchinskii raion, Leningradskaya obl.
E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

The regression analysis allowed us to obtain a multiple nonlinear regression equation that reflects the dependence of the crude gluten content in wheat grain (Y , %) on the protein content ($X_1 = N_{\text{total}} \cdot 5.7\%$) and the mass of 1000 grains (X_2 , g): $Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$, in which all quality indicators are given at 12% humidity. In the case when the protein content is determined content are determined to be dry matter (d. m.), the following equation was calculated: $Y(2) = -41,928 + 0,063X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$. The developed equations can be used to predict the content of wet gluten in the grain of winter and spring soft and durum wheat in all cases when the indicators of its technological qualities are determined by traditional analytical methods. The equations can also be used to indirectly verify the accuracy of crude gluten determination when the protein and / or crude gluten content is determined using various instruments, such as InfraLUM FT-10 or FT-12, Spektra Star 2400, Infraneo, DA 7200 NIR analyzer, Inframatic 9200, and Infratec 1241.

Ключевые слова: пшеница, белок, сырая клейковина, масса 1000 зерен, множественный регрессионный анализ, методы определения клейковины

Key words: wheat, protein, raw gluten, 1000-kernel weight, multiple regression analysis, gluten determination methods

В работе [1] представлено уравнение множественной нелинейной регрессии, отражающее зависимость содержания сырой клейковины (Y , %) от содержания белка ($X_1 = N_{\text{общ.}} \cdot 5,7$, %) и массы 1000 зерен (X_2 , г), используемое для ориентировочного определения (прогноза) величины этого показателя в зерне пшеницы: $Y(1) = -41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$. В последующий период был разработан алгоритм проверки прогностических возможностей уравнения, получены данные по точности определения содержания сырой клейковины в зерне пшеницы при его использовании и показана сравнительно высокая эффективность этой модели [2, 3]. В разработанном уравнении содержание белка, сырой клейковины и масса 1000 зерен приведены к 12 %-ной влажности или в пересчете на воздушно-сухое вещество (в.с.в.). Если содержание белка определено в пересчете на абсолютно сухое вещество (а.с.в.), как регламентирует ГОСТ 10846-91, то при использовании уравнения для определения содержания сырой клейковины в зерне пшеницы проводится перерасчет с применением коэффициента 0,88. С целью исключения перерасчета в тех случаях, когда содержание сырой клейковины и масса 1000 зерен определены без учета влажности зерна или на в.с.в., а содержание бел-

ка – на а.с.в., было выведено уравнение $Y(2) = -41,928 + 0,063X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$ и проведена проверка его прогностических возможностей и точности прогноза [4].

С использованием указанных уравнений со сравнительно высокой степенью вероятности можно дать ориентировочный прогноз содержания клейковины в зерне пшеницы без использования ручного или механического ее отмыывания. Для этого необходимо знать массу 1000 зерен, которая определяется вручную или (что более быстро и точно) с использованием счетчика любой конструкции и весов, и содержание белка, которое можно определить традиционными химическими методами или (что более быстро и безопасно для персонала и окружающей среды) на различного типа анализаторах [1, 4].

В последние годы получили распространение различного вида инфракрасные анализаторы (в частности, Infratec 1225, 1241 и др.), позволяющие определять комплекс показателей качества зерна пшеницы (влажность, содержание белка, крахмала, клейковины и др.), за исключением массы 1000 зерен. Сущность работы таких приборов заключается в измерении спектра пропускания исследуемого образца в ближней инфракрас-

Табл. 1. Проверка точности прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы (X_1 , X_2 и $Y_э$ - без учета влажности зерна или на в.с.в.) по уравнению (1)

Яровая твердая пшеница [6]*					1 сорт яровой и 1 сорт озимой пшеницы [7]*				
X_1	X_2	$Y_т$	$Y_э$	($Y_э - Y_т$)	X_1	X_2	$Y_т$	$Y_э$	($Y_э - Y_т$)
14,7	42,5	33,3	32,6	- 0,7	13,2	46,2	30,1	30,3	0,2
14,6	41,0	32,7	33,9	1,2	14,0	47,4	31,8	32,6	0,8
14,1	42,2	31,	32,0	0,2	13,7	45,7	31,2	32,7	1,5
13,9	41,9	31,3	30,6	- 0,7	14,0	45,8	31,9	32,5	0,6
14,6	42,1	33,0	31,9	- 1,1	13,2	44,4	30,1	30,3	0,2
14,9	42,5	33,8	33,5	- 0,3	14,0	47,3	31,8	32,6	0,8
14,7	41,5	33,1	32,4	- 0,7	12,7	44,2	29,1	29,3	0,2
n = 7	ЧЗ = 0		ОП = 100		12,8	44,1	29,3	29,6	0,3
19 сортов озимой мягкой пшеницы [8]**					Озимая мягкая пшеница сорт Московская 39[9]*				
13,1	39,4	28,9	27,0	- 1,9	11,5	32,7	22,2	24,3	2,1
13,2	41,6	29,7	28,0	- 1,7	12,0	34,3	24,2	24,7	0,5
13,1	46,1	29,9	27,0	- 2,9	12,1	35,3	25,0	25,0	0,0
13,0	40,7	29,1	26,0	- 3,1	12,2	36,3	25,7	25,2	- 0,5
13,1	43,7	29,8	27,0	- 2,8	12,4	36,6	26,3	25,4	- 0,9
13,4	39,1	29,4	29,0	- 0,4	11,8	33,8	23,5	24,7	1,2
12,1	43,9	27,8	27,0	- 0,8	12,4	36,8	26,4	25,3	- 1,1
14,0	43,6	31,8	30,0	- 1,8	12,6	37,7	27,2	25,4	- 1,8
13,6	42,1	30,7	28,0	- 2,7	12,8	37,9	27,7	25,8	- 1,9
12,0	45,7	27,7	27,0	- 0,7	12,8	38,2	27,8	26,1	- 1,7
12,4	39,2	27,4	28,0	0,6	12,5	37,2	26,8	26,4	- 0,4
12,4	39,6	27,5	27,0	- 0,5	12,4	37,7	26,8	26,5	- 0,3
12,6	41,1	28,4	27,0	- 1,4	12,6	37,8	27,2	26,8	- 0,4
12,5	40,2	27,9	27,0	- 0,9	12,7	38,2	27,6	27,7	0,1
12,7	43,8	29,0	29,0	0,0	12,9	38,9	28,3	26,5	- 1,8
13,0	41,2	29,2	28,0	- 1,2	13,1	40,0	29,1	26,7	- 2,4
13,1	39,2	28,8	28,0	- 0,8	13,3	40,4	29,6	26,9	- 2,7
13,4	43,1	30,4	29,0	- 1,4	13,6	40,9	30,4	27,3	- 3,1
13,2	42,0	29,8	28,0	- 1,8					
n = 19	ЧЗ = 4		ОП = 78,9		n = 18	ЧЗ = 4		ОП = 77,8	

*модификационные различия; **генотипические различия; X_1 – содержание белка в зерне, %; X_2 – масса 1000 зерен, г; $Y_т$ – теоретическое содержание сырой клейковины (расчет по уравнению регрессии), %; $Y_э$ – экспериментальное содержание сырой клейковины, %; ($Y_э - Y_т$) – отклонения экспериментальных величин от теоретических, ±; n – общее число наблюдений; 2,9 – выделенные значения выходят за пределы ± 2 %; ЧЗ – число значений, выходящих за пределы ± 2 %; ОП – оправдываемость прогноза, % (то же в табл. 2-4).

ной области. Определение показателей качества зерна проводится по градуировочным графикам, созданным на основе анализа традиционными аналитическими методами значительного количества образцов целого или размолотого до гомогенного состояния зерна [5].

Учитывая изложенное, было сделано предположение, что разработанные уравнения (после определения массы 1000 зерен) могут быть использованы для косвенной проверки точности инструментального определения содержания сырой клейковины в зерне пшеницы [1].

Цель исследования – выявить возможность и оценить эффективность косвенной проверки точности определения содержания сырой клейковины в зерне пшеницы для тех случаев, когда ее и (или) содержание белка определяли на различного вида анализаторах.

Методика. Для косвенной проверки точности определения содержания сырой клейковины в зерне пше-

ницы использовали независимые экспериментальные данные по содержанию белка, сырой клейковины и массе 1000 зерен, полученные отечественными и зарубежными авторами из Беларуси, Польши, Словакии, Турции, Украины и Чехии при проведении исследований с различными сортами озимой и яровой мягкой и твердой пшеницы и в разных почвенно-климатических условиях. Теоретическое ($Y_т$) содержание сырой клейковины в зерне рассчитывали, подставляя экспериментальные данные по массе 1000 зерен и содержанию белка на в.с.в или а.с.в. в уравнение (1) или (2) соответственно и используя простые математические действия. Следующий шаг – сравнение теоретических величин содержания сырой клейковины с экспериментальными данными ($Y_э$), полученными при использовании традиционных аналитических или инструментальных методов ($Y_э - Y_т$). Один из критериев оценки

Табл. 2. Проверка точности прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы (X_1 – а.с.в.; X_2 и $Y_э$ – в.с.в.) по уравнению (2)

[10]**. 9 сортов твердой пшеницы					[11]*. Сорта мягкой и твердой пшеницы				
X_1	X_2	$Y_т$	$Y_э$	$(Y_э - Y_т)$	X_1	X_2	$Y_т$	$Y_э$	$(Y_э - Y_т)$
15,5	41,7	30,8	29,4	- 1,4	14,3	47,6	28,7	30,3	1,6
14,8	40,6	29,2	28,6	- 0,6	14,2	48,1	28,5	29,5	1,0
15,0	42,7	30,0	29,0	- 1,0	14,2	48,4	28,5	29,1	0,6
13,3	41,2	26,7	26,0	- 0,7	14,1	48,6	28,2	29,0	0,8
14,7	41,5	29,2	30,4	1,2	14,1	45,1	28,5	28,0	- 0,5
15,2	42,9	30,4	30,2	- 0,2	14,2	45,2	28,7	28,8	0,1
14,8	40,5	29,1	25,6	- 3,5	14,2	46,7	28,6	29,3	0,7
15,1	41,6	30,0	29,0	- 1,0	14,3	47,3	28,8	29,8	1,0
14,4	43,7	29,0	27,6	- 1,4	n = 8	ЧЗ	0	ОП	100
n = 9	ЧЗ = 1		ОП = 88,9		[13]*. Озимая мягкая пшеница. Сорт Краса Дона				
[12]**. 15 сортов озимой мягкой пшеницы					X_1	X_2	$Y_т$	$Y_э$	$(Y_э - Y_т)$
10,8	36,2	21,0	19,7	- 1,3	14,0	41,9	28,0	27,5	- 0,5
10,5	32,4	18,2	18,2	0,0	13,8	43,4	27,9	28,5	0,6
10,4	41,3	22,4	18,3	- 4,1	13,6	43,6	27,6	27,6	0,0
11,7	37,5	22,9	21,3	- 1,6	13,6	43,9	27,6	28,5	0,9
11,6	35,6	21,8	21,1	- 0,7	13,2	44,7	27,0	26,9	- 0,1
9,8	36,0	19,6	19,7	0,1	13,4	45,0	27,3	28,1	0,8
9,6	31,6	16,4	18,0	1,6	13,5	44,7	27,5	27,5	0,0
9,9	36,8	20,1	19,9	- 0,2	13,7	44,5	27,8	28,9	1,1
10,1	31,4	16,9	20,2	3,3	12,9	43,9	26,5	26,6	0,1
10,4	37,2	20,9	20,4	- 0,5	12,6	44,8	26,0	27,1	1,1
10,1	35,5	19,7	19,5	- 0,2	13,0	44,0	26,6	28,2	1,6
10,0	32,2	17,4	18,4	1,0	12,9	44,5	26,5	26,8	0,3
10,2	39,9	21,7	19,0	- 2,7	11,5	43,0	24,2	21,1	- 3,1
11,2	35,3	21,0	20,8	- 0,2	11,2	43,5	23,8	22,9	- 0,9
10,8	36,1	20,9	20,9	0,0	11,2	43,5	23,8	22,4	- 1,4
n = 15	ЧЗ = 3		ОП = 80,0		11,3	43,7	24,0	21,9	- 2,1
					n = 16	ЧЗ = 2		ОП = 87,5	

точности разработанных уравнений – регламентируемое ГОСТ Р 54478 - 2011 отклонение: «оба результата признают приемлемыми, если критическая разность ... не превышает 2 %» в абсолютном выражении. Второй критерий – точность определения или отношение количества значений, когда отклонения экспериментальных величин содержания сырой клейковины в зерне от теоретических ($Y_э - Y_т$) не превышают регламентируемого ГОСТ Р 54478 - 2011 допускаемого отклонения, к общему числу наблюдений (n), выраженное в %. При этом максимально быстро провести расчеты с высокой точностью и проверку прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы можно с использованием программного комплекса «Excel» [3, 4].

Результаты и обсуждение. Сравнение теоретических величин содержания сырой клейковины ($Y_т$) с экспериментальными данными ($Y_э$), полученными при использовании традиционных аналитических методов, показало относительно высокую и практически одинаковую степень их совпадения: у уравнения (1) – 77,8-100 % (табл. 1), у уравнения (2) – 80,0-100 % (табл. 2). Аналогичные показатели точности прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы были получены ранее при обобщении данных 265 литературных источников отечественных и зарубежных авторов с об-

щим числом наблюдений $n = 4630$, когда оправдываемость прогноза достигла 81,5 % [4].

Результаты проверки точности прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы для тех случаев, когда ее содержание и (или) содержание белка определяли различными инструментальными методами показали, что при общем количестве наблюдений $n = 225$ оправдываемость прогноза составила 81,8 % (табл. 3, 4). Это практически соответствует точности современных традиционных аналитических методов, используемых при определении содержания белка и сырой клейковины в зерне пшеницы (см. табл. 1 и 2).

Таким образом, разработанные уравнения множественной нелинейной регрессии, отражающие зависимость содержания сырой клейковины в зерне пшеницы от содержания белка и массы 1000 зерен, могут быть использованы для ориентировочного определения (прогноза) содержания сырой клейковины в зерне озимой и яровой мягкой и твердой пшеницы во всех случаях, когда перечисленные показатели технологических качеств определены традиционными аналитическими методами. Уравнения также могут быть использованы для косвенной проверки точности измерения содержания сырой клейковины в зерне пшеницы, когда содержание белка и (или) клейковины определено с исполь-

Табл. 3. Точность прогноза содержания сырой клейковины при различных инструментальных методах определения содержания белка и (или) клейковины в пшенице

Сорт Batuta (Польша) [14]*					Сорт Orkisz (Польша) [15]*				
$Y(1) = - 41,928 + 0,081X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$									
X ₁	X ₂	Y _T	Y _э	(Y _э -Y _T)	X ₁	X ₂	Y _T	Y _э	(Y _э -Y _T)
13,0	43,9	29,7	31,1	1,4	12,37	39,7	27,5	27,5	0,0
13,2	43,2	30,0	29,9	-0,1	13,28	39,3	29,2	30,2	1,0
13,3	42,6	30,1	30,5	0,4	12,60	40,3	28,1	28,6	0,5
13,2	43,6	30,1	30,7	0,6	12,31	39,6	27,3	27,8	0,5
13,1	43,2	29,8	30,5	0,7	13,00	39,3	28,7	29,4	0,7
13,3	42,8	30,2	30,5	0,3	12,88	40,0	28,6	29,1	0,5
n = 6	ЧЗ = 0	ОП = 100			n = 6	ЧЗ = 0	ОП = 100		
$Y(2) = - 41,928 + 0,063X_1^2 + 2,548X_2 - 0,028X_2^2$									
Сорт Бурятская остистая (Россия) [16]*					10 кластеров сортов озимой пшеницы (Польша) [5], р. 10**				
15,3	35,8	28,2	28,4	0,2	14,7	45,6	29,7	30,3	0,6
15,7	37,4	29,7	30,0	0,3	14,6	45,6	29,5	29,8	0,3
15,1	38,3	29,0	28,5	-0,5	14,8	45,6	29,8	30,5	0,7
15,6	37,0	29,3	29,8	0,5	14,2	46,6	28,7	29,1	0,4
15,4	38,2	29,5	29,2	-0,3	13,7	47,1	27,8	26,7	-1,1
15,9	37,0	29,9	30,7	0,8	12,4	48,0	25,6	23,1	-2,5
15,4	37,7	29,3	29,3	0,0	13,9	52,9	26,7	28,0	1,3
15,8	37,1	29,8	30,3	0,5	14,5	47,0	29,2	29,6	0,4
15,4	38,0	29,4	29,5	0,1	13,7	40,7	27,2	25,9	-1,3
16,1	37,2	30,4	31,3	0,9	14,6	37,4	27,6	30,2	2,6
n = 10	ЧЗ = 0	ОП = 100			n = 10	ЧЗ = 2	ОП = 80,0		

Табл. 4. Результаты проверки точности прогноза с использованием уравнений при различных инструментальных методах определения содержания белка и (или) клейковины в пшенице

Прибор или метод определения		n / ОП	Страна	Источник
белок	клейковина			
Y (1) = - 41,928 + 0,081X ₁ ² + 2,548X ₂ - 0,028X ₂ ²				
Instalab 600	отмывание	6 / 100	Польша	[14]
Infratec 1241		6 / 100	Польша	[15]
Инфрапид 61	отмывание	6 / 100,0	Россия	[17]
Infraneo		30 / 73,3	Беларусь	[18]
Optical near-infrared technology (марка прибора не указана)		5 / 100	Польша	[19]
DA 7200 NIR analyzer		11 / 81,8	Словакия	[20]
Y (2) = - 41,928 + 0,063X ₁ ² + 2,548X ₂ - 0,028X ₂ ²				
Nicolet Antaris II	Glutomatic	22/72,7	Чехия	[5], С. 10 [5], С. 12
ИнфраЛюм ФТ - 12		10 / 100	Россия	[16]
ДСТУ 4117-2007		16 / 93,8	Украина	[21]
LECO CNS-2000	Inframatic 9200	8 / 75,0	Польша	[22]
Спектрофотометр Model 6500	Glutomatic 2200	31 / 87,1	Турция	[23]
Infratec 1241		6 / 100	Россия	[24]
Spektra Star 2400		37 / 70,3	Россия	[25]
ИнфраЛюм ФТ - 10		21 / 81,0	Россия	[26]

зованием различных приборов, в частности Инфралом ФТ-10 или ФТ-12, Spektra Star 2400, Infraneo, DA 7200 NIR analyzer, Inframatic 9200 и Infratec 1241.

Литература.

1. Пасынков А.В., Дубовик Д.В., Пасынкова Е.Н. Прогноз содержания сырой клейковины в зерне пшеницы на основе уравнений множественной регрессии // Вестник Курской ГСХА. 2017. № 4. С. 8–14.
2. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Особенности использования уравнений множественной регрессии для прогноза содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // Агрохимический вестник. 2018. № 3. С. 69–74. doi: 10.24411/0235-2516-2018-10016.
3. 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.
4. 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.
5. Genetic characterization and evaluation of twenty Chinese winter wheat cultivars as potential sources of new diversity for breeding / J. Hermuth, L. Leišová-Svobodová, J. Bradová, et al. // Czech J. Genet. Plant Breed. 2019. Vol. 55. No. 1. P. 8–14. doi: 10.17221/192/2017-CJGPB.
6. Качество зерна яровой пшеницы при современных технологиях возделывания / Е.В. Щербинина, О.И. Горянин, Б.Ж. Джангабаев и др. // Аграрный научный журнал. 2018. № 12. С. 53–55.
7. Сабитов М.М. Влияние многолетних трав на повышение плодородия почв и продуктивности зерновых культур // Агрохимический вестник. 2019. № 5. С. 50–54. doi: 10.24411/0235-2516-2019-10075.
8. Изучение сортов и линий озимой пшеницы по хозяйственно-ценным признакам / И.Д. Фадеева, М.Ш. Тагиров, И.Н. Газизов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2019. № 3. (54). С. 71–76.
9. Оценка эффективности удобрений и биопрепарата Гумистим при возделывании озимой пшеницы на радиоактивно загрязненной почве / Е.В. Справцева, Р.В. Мимонов, Н.М. Белоус и др. // Агрохимический вестник. 2019. № 2. С. 42–47. doi: 10.24411/0235-2516-2019-10026.
10. 35 лет научной деятельности лаборатории селекции и семеноводства яровой твердой пшеницы: результаты и перспективы / С.Н. Гапонов, Г.И. Шутарева, Н.М. Цетва и др. // Аграрный вестник Юго-Востока. 2019. № 3. (23). С. 4–6.
11. Влияние препарата Агримин на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области / А.С. Попов, Г.В. Овсянникова, А.А. Сухарев и др. // Зерновое хозяйство России. 2019. № 3. (63). С. 14–18. doi: 10.31367/2079-8725-2019-63-3-14-18.
12. Егушова Е.А., Кондратенко Е.П. Изменчивость хозяйственно-ценных признаков озимой пшеницы в условиях лесостепной зоны Западной Сибири // Вестник Алтайского ГАУ, 2012. № 9 (95). С. 19–24.
13. Влияние сроков посева по различным предшественникам на урожайность и качество зерна мягкой озимой пшеницы сорта Краса Дона в южной зоне Ростовской области / А.В. Алабушев, А.С. Попов, Г.В. Овсянникова и др. // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1 (67). С. 4–10. doi: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-4-10.
14. Effect of tillage simplifications on yield and grain quality of winter wheat after different previous crops / I. Jaskulska, D. Jaskulski, K. Kotwica, et al. // Acta Sci. Pol., Agricultura, 2013. No. 12 (3). P. 37–44.
15. Wpływ dolistnego nawożenia Cu, Zn i Mn na wskaźniki jakościowe ziarna i elementy plonowania pszenicy ozimej Orkisz (Triticum aestivum SSP. Spelta L.) / A. Stępień, K. Wojtkowiak, M. Skłodowski, et al. // Fragm. Agron. 2017. No. 34(3). P. 97–108.
16. Дьяченко Е.Н., Шевелев А.Т. Влияние последствий минеральных и известковых удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях Прибайкалья // Агрохимический вестник. 2020. № 3. С. 45–48. doi: 10.24411/1029-2551-2020-10038.
17. Новые регуляторы роста озимой пшеницы / Л.В. Дядюченко, В.В. Морозовский, Д.Ю. Назаренко и др. // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 112 (08). С. 21.
18. Лапа В.В., Кулеш О.Г., Мезенцева Е.Г. Особенности удобрения яровой пшеницы при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с очень высоким содержанием фосфора и калия // Почвоведение и агрохимия. 2016. № 1 (56). С. 93–105.
19. The effectiveness of nitrogen-phosphorus fertilization in winter Wheat (Triticum aestivum L.) Cultivation / P. Rusek, M. Mikos-Szymanska, M. Karsznia, et al. // Bulgarian journal agricultural sciens. 2016. No. 5 (22). P. 752–755.
20. Variability of quantitative and qualitative traits of coloured winter wheat / A. Žofajová, M. Havrlentová, M. Ondrejovič, et al. // Agriculture (Pol'nohospodárstvo). 2017. Vol. 63. No. 3. P. 102–111.
21. Дубовий В.І., Табакаєва М.Г. Вплив осадів стічних вод на продуктивність і якість зерна пшениці // Збалансоване природокористування. 2014. № 3. С. 127–131.
22. The effect of sulphur and nitrogen fertilization on grain yield and technological quality of spring wheat / H. Klikocka, M. Cybulska, B. Barczak, et al. // Plant Soil Environ. 2016. Vol. 62. No. 5. P. 230–236. doi: 10.17221/18/2016-PSE.
23. Hüsni Aktaş, Faheem Shehzad Baloch. Allelic variations of glutenin subunits and their association with quality traits in bread wheat genotypes // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2017. No. 41. P. 127–134.
24. Мельник А.Ф., Кондрашин Б.С. Биологизированные технологии – фактор повышения продуктивности озимой пшеницы // Зерновое хозяйство России. 2018. № 5 (59). С. 3–6. doi: 10.31367/2079-8725-2018-59-5-3-6.
25. Продуктивность, технологические и хлебопекарные показатели качества зерна сортов и линий озимой мягкой пшеницы / Б.И. Сандухадзе, М.А. Кузьмич, Р.З. Мамедов и др. // Инновационные разработки по селекции и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур. М.: ФИЦ «Немчиновка», 2018. С. 276–288.
26. 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.

Поступила в редакцию 30.11.2020

После доработки 14.01.2021

Принята к публикации 02.03.2021

ПРОТРАВЛИВАНИЕ СЕМЯН МАША (*Vigna radiata* L. (R) Wilczek) КАК ЭЛЕМЕНТ АГРОТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ КУЛЬТУРЫ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

А.А. Курьянович, кандидат биологических наук,
М.Н. Кинчарова, кандидат сельскохозяйственных наук, И.А. Титова

Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова,
446442, Самарская область, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Шоссейная, 76
E-mail: kuryanovich52@mail.ru

*Бобовая культура маша (*Vigna radiata* L. (R) Wilczek), рассматривается как возможная для интродукции в климатических условиях Среднего Поволжья. Возбудители корневой гнили присутствуют в почве и на поверхности семян, поэтому всегда есть риск поражения растений в агроценозе этой болезнью. Цель исследований – дать теоретическое и практическое обоснование применения протравителей семян в комплекс защитных мероприятий при возделывании маша. Работу проводили в 2018–2020 гг. За годы наблюдений у растений из обработанных семян выявлено снижение поражения возбудителями корневых гнилей, по сравнению с контролем, на 0,34–0,44 балла, увеличение высоты сортообразца Салтан – на 2,2–10,9 см; Гвидон – на 6,0–7,4 см, высоты прикрепления нижнего боба – до 7,4 см. Обработка семян протравителем способствовала увеличению образования количества бобов на растении сортообразца Салтан на 0,3–4,5 шт. (7,5–59,7 %), Гвидон – на 1,6–4,3 (14,5–110,4 %), количества семян в бобе – до 2,3 шт. (32,9 %) и 2,5 шт. (32,9 %) соответственно. Эффективность семяобразования за годы наблюдений у растений из обработанных семян была выше, чем в контроле, на 3–7 %. Совокупность этих изменений обеспечила повышение продуктивности растений и урожайности агроценоза.*

MUNG BEAN SEED TREATER (*Vigna radiata* L. (R) Wilczek) AS PART OF AGRITECHNOLOGY DURING PLANT INTRODUCTION IN THE MIDDLE VOLGA AREA

Kurianovich A.A., Kincharova M.N., Titova I.A.

Samara Federal Scientific Center of Russian Academy of Sciences,
Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov
446442, Samarskaya oblast, p.g.t. Ust-Kinelskiy, ul. Shosseynaya, 76
E-mail: kuryanovich52@mail.ru

*Mungbean (*Vigna radiata* L. (R) Wilczek), is considered as potential culture for introduction within the Middle Volga area. Plant foot rot agent spreads both in the soil and on the surface of seeds, and thus there is always risk of plant affect in agroecosystem with this disease. The purpose of the work is to provide both theoretical and practical justification for including the seed disinfectants into the scope of protective measures for the cultivation of mungbean. The work was carried out in 2018–2020. Over the years of observation, the plants obtained from treated seeds showed a decrease in the damage to mung bean plants by root rot pathogens compared with the control by 0.34–0.44 points, an increase in the height of plants for the cultivar Saltan from 2.2 to 10.9 cm was noted; Guidon - from 6.0 to 7.4 cm, as well as the attachment height of the lower bean up to 7.4 cm. The treatment contributed to a greater formation of the number of beans from 0.3 to 4.5 beans per plant (7.5–59.7 %) for the Saltan variety, and for the Guidon variety - from 1.6 to 4.3 (14.5–110.4%). At the same time, an increase in the number of seeds in the bean was also noted: for the Saltan variety up to 2.3 seeds per bean (32.9%), and for the Guidon variety - up to 2.5 (32.9%). The efficiency of seed formation over the years of observations in plants from treated seeds was higher than in the control, by 3–7%. Due to the combination of these changes, plant productivity increases, a more productive agroecosystem of the crop is formed.*

Ключевые слова: маш, корневые гнили, химическая защита, протравители, продуктивность

Key words: mungbean, foot rot, chemical protection, disease disinfectants, productivity

Академик Н.И. Вавилов [1] отмечал, что показателем степени интенсивности земледелия служит не только высокая продуктивность отдельных видов и сортов, но и богатство разнообразия возделываемых растений, способных наиболее полно удовлетворять потребности человека и запросы хозяйства. Происходящие изменения климата сопровождаются возможностью и необходимостью расширения ассортимента новыми сортами и культурами сельскохозяйственных растений. Они должны обладать климатической, географической адаптивностью, ландшафтной и биотической приспособленностью, устойчивостью к комплексу абиотического и биотического стрессов в определённых регионах [2, 3, 4]. Кроме того, новые культуры должны быть приспособлены к условиям механизированного сельскохозяйственного производства, предусматривающего применение машин для посева, междурядной обработки и уборки.

Бобовая культура маша (*Vigna radiata* L. (R) Wilczek) рассматривается как возможная для интродукции в климатических условиях Среднего Поволжья [5]. В Поволжском НИИСС им П.Н. Константинова ее изучают с 2013 г. [6].

Фитосанитарное состояние посевов – важнейший фактор, определяющий агротехнические аспекты формирования урожая высокого качества [7]. Вредоносные организмы наносят огромный ущерб сельскому хозяйству. Потери урожая в благоприятные для возбудителей болезней годы по разным оценкам варьируют от 10 до 40 % [8].

Посев зараженными семенами приводит к передаче болезней на вегетирующие растения и тем самым создает и поддерживает очаги инфекции в поле. Заражение семенного материала микрофлорой происходит в период вегетации, при уборке урожая, особенно в условиях повышенной влажности, во время обмолота

или послеуборочной подработки зерна, в период хранения вследствие нарушения его режимов и др. [9].

По мнению ряда ученых, минимизация систем обработки почвы способствовала созданию благоприятных условий для факультативных анаэробов рода *Fusarium* и привела к микроэволюционным сдвигам в патокмлексе корневой гнили [10, 11, 12]. Поэтому устойчивость к болезням и вредителям важнейшее условие интродукции новых культур. Создание комплекса защитных мероприятий для новой культуры невозможно без предварительного изучения вредоносных организмов на растении и их воздействия на продукционный процесс в конкретных почвенно-климатических условиях, а также определения влияния на патогены различных средств защиты, в том числе химических. Кроме того, следует учитывать повышение требований к гигиенической и экологической безопасности химического метода защиты растений [13, 14, 15].

Цель исследований – обоснование включения предпосевной обработки семян протравителями в комплекс защитных мероприятий при выращивании маша.

Для ее достижения решали следующие задачи: изучить в лабораторных условиях состав наиболее распространенных возбудителей корневых гнилей на поверхности семян;

исследовать проявление корневых гнилей в фазы полных всходов и бутонизации;

выяснить защитный эффект протравливателя системного действия Грандсил Ультра (флутриафол + тебуконазол + имазалил).

Методика. Исследования выполняли в 2018–2020 гг. на базе Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН. Материалом для их проведения были два перспективных скороспелых сортообразца Салтан и Гвидон, созданных путем индивидуального отбора из коллекции ВИР.

Анализ семян осуществляли по ГОСТ 12044-93: макроскопическим и биологическим методами. Определение микрофлоры на их поверхности проводили в лаборатории инновационных технологий Поволжского НИИСС. Зараженность семян определяли методом влажной камеры с предварительным их размещением на гофрированной фильтровальной бумаге в коробках с естественной вентиляцией с использованием методики, разработанной для семян сои (ГОСТ 12044-93) и адаптированной авторами под культуру маша.

Для изучения действия химических средств защиты растений от корневых гнилей семена перед посевом протравливали с увлажнением (из расчета 10 л/т) препаратом системного действия Грандсил Ультра с трехкомпонентным действующим веществом флутриафол + тебуконазол + имазалил (75+45+20 г/л) с нормой расхода 0,4 л/т. В качестве контроля использовали семена, необработанные протравителем. Повторность трехкратная.

Полевой опыт закладывали в селекционном севообороте Поволжского НИИСС, расположенном в центральной зоне Самарской области, предшественник – чистый пар. Почва опытного участка – чернозем типичный малогумусный (содержание гумуса в среднем 5–6 %), среднесиловый легкогоглинистый. По данным Самарской станции агрохимической службы, содержание подвижного фосфора и калия в почве (по Чирикову) составляло 61–77 мг/кг (среднее) и 374–423 мг/кг (очень высокое) соответственно, легкогидролизуемого азота (по Тюрину-Кононовой) – 28,5–49,4 мг/кг (низкое и среднее), реакция почвенного раствора – слабокислая (рН = 5,4).

Прототипом метода определения интенсивности

поражения растений маша корневой гнилью, была соответствующая методика для злаковых культур [16].

Метеорологические условия в годы проведения исследований характеризовались как засушливые с недобором осадков к среднесуточной норме и значительно более высоким температурным фоном в течение вегетационного периода. При этом в 2018 г. на фоне недобора осадков за первые два месяца вегетации 33,1 мм, в июле их выпало на 25,7 мм больше среднесуточной нормы (47 мм), но при очень высокой среднесуточной температуре 23,8 °C (+3,1° к норме); 2019 г. отличался хорошим увлажнением в мае (+5,6 мм к норме 33 мм) и дефицитом осадков 56 мм в последующие три месяца, на фоне более прохладного июля и августа. В 2020 г. отмечали прохладный и дождливый июнь с резким нарастанием температуры в июле (+3,3 °C) на фоне низкого количества осадков до конца вегетации.

Статистическую обработку данных проводили методом двухфакторного дисперсионного анализа с использованием пакета прикладных программ Excel.

Результаты и обсуждение. Фитозащита – неотъемлемая часть современных технологий производства семян, она позволяет прогнозировать поражаемость растений болезнями и тем самым дает возможность сохранять урожай и качество продукции. Правильная диагностика болезней, знание причин их возникновения и особенностей развития служат основой успешного проведения профилактических и защитных мероприятий [17].

Согласно результатам фитозащиты, на семенах маша перед посевом присутствует такой же комплекс патогенных организмов, как и на семенах других бобовых в условиях лесостепи Среднего Поволжья. В основном были выявлены фитопатогенные виды анаморфных грибов, виды, вызывающие плесневение семян, представители зигомицетов и гифомицетов (табл. 1). На 1,0–4,9% семян исследованных образцов отмечены колонии бактерий (вид не определяли). Причем семена урожая 2017 г. были заселены грибными патогенами сильнее, чем семена 2018 г. Это, вероятно, связано с обильными осадками в виде дождя в августе 2017 г., влажная теплая погода способствовала развитию микрофлоры на растениях и дальнейшему заселению патогенами созревающих семян. Среди изучаемых сортообразцов лучшим по состоянию здоровья семян оказался Салтан, у которого отмечен больший процент здоровых семян урожая 2017 г.

Так как изучаемые сортообразцы маша имеют сходную биологию, то различий по степени пора-

Табл. 1. Результаты фитозащиты семян маша (*Vigna radiate* (L.) R. Wilczek), %

Сорто-образец	Здоровые	Здоровые не проросшие	Зараженные			
			всего	в том числе		
				<i>Sclerotinia sp.</i>	плесневыми грибами*	колонирами бактерий
урожая 2017 г.						
Салтан	89,9	0,0	10,1	1,0	5,0	4,1
Гвидон	79,4	0,0	20,6	0,0	15,7	4,9
урожая 2018 г.						
Салтан	99,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
Гвидон	99,0	2,0	1,0	0,0	0,0	1,0

**Mucor, Penicillium, Aspergillum, Trichothecium* и др.

**Mucor*, *Penicillium*, *Aspergillum*, *Trichothecium* и др.

Табл. 2. Проявление корневых гнилей растений маша по фазам вегетационного периода, баллы

Сортообразец (фактор А)	Протравитель (фактор В)	
	без обработки	Грандсил Ультра
полные всходы		
Салтан	0,80	0,36
Гвидон	0,76	0,42
НСР ₀₅ частных различий	0,14	0,14
НСР ₀₅ А	0,09	0,09
НСР ₀₅ В	0,09	0,09
бутонизация		
Салтан	0,78	0,36
Гвидон	0,60	0,38
НСР ₀₅ частных различий	0,17	0,17
НСР ₀₅ А	0,11	0,11
НСР ₀₅ В	0,11	0,11
созревание		
Салтан	0,52	0,28
Гвидон	0,14	0,04
НСР ₀₅ частных различий	0,08	0,08
НСР ₀₅ А	0,06	0,06
НСР ₀₅ В	0,06	0,06

жения молодых растений маша корневыми гнилями между ними внутри вариантов не установлено. Применение протравителя достоверное снижало проявление корневых гнилей, по сравнению с контролем, на 0,34-0,44 балла (табл. 2). Результаты двухфакторного дисперсионного анализа свидетельствуют, что доля влияния сорта (фактор А) на проявление заболевания в фазе полных всходов составляла 78,32 %, протравителя (фактор В) – 25,86 %, взаимодействия факторов – 3,76 %.

В фазе бутонизации применение протравителя по-прежнему обеспечивало защитное действие у обоих сортообразцов. У растений из обработанных семян отмечено почти двукратное снижение проявления поражения корневой системы гнилями (на 0,22-0,42 балла). Причем у образца Гвидон оно было достоверно меньше, чем у образца Салтан, на 0,18 балла, что связано с их биологическими особенностями. Доля влияния сорта на проявление корневых гнилей в этой фазе составляла 70,04 %, протравителя – 24,00 %.

Большая устойчивость сортообразца Гвидон к корневым гнилям четко проявилась и в фазе созревания. В варианте без протравителя его поражение было ниже, чем у сортообразца Салтан, на 0,38 балла, при посеве обработанными семенами – на 0,24 балла. Доля влияния защитного действия фунгицида на величину этого показателя у созревающих растений составляла 22,99 %, генотипа – 66,17 %.

Результаты структурного анализа снопового материала свидетельствуют о том, что применение протравителей положительно влияет на ростовые и продукционные процессы даже при проявлении корневых гнилей на уровне менее 1 балла. За годы наблюдений

Табл. 3. Биометрические показатели и элементы продуктивности маша в фазе созревания

Вариант	Высота, см		Количество бобов, шт./ растение	Длина боба, см	Количество в бобе, шт.		Эффективность семяобразования, %
	растения	прикрепления боба			семян	неразвитых семязачатков	
2018 г.							
Салтан, без обработки	23,7	14,3	6,2	6,0	6,8	1,7	80
Салтан, с обработкой	34,8	19,5	9,9	6,8	7,8	1,6	83
Гвидон, без обработки	33,8	19,5	11,0	6,8	7,4	1,6	82
Гвидон, с обработкой	40,0	23,5	12,6	6,9	8,5	2,2	88
НСР ₀₅ АВ	3,77	3,84	2,53	0,88	0,96	0,61	
НСР ₀₅ А, НСР ₀₅ В	2,87	2,74	1,67	0,73	0,84	0,48	
2019 г.							
Салтан, без обработки	24,1	14,6	9,6	5,8	7,0	1,85	80
Салтан, с обработкой	30,5	22,0	14,1	6,6	9,3	1,61	85
Гвидон, без обработки	23,1	16,5	12,9	6,1	7,6	1,6	85
Гвидон, с обработкой	29,1	22,3	17,2	6,7	10,1	0,83	92
НСР ₀₅ АВ	3,84	2,87	2,18	0,70	1,15	0,28	
НСР ₀₅ А, НСР ₀₅ В	3,08	1,82	1,91	0,49	9,06	0,18	
2020 г.							
Салтан, без обработки	17,20	16,87	4,40	5,63	7,60	2,30	77
Салтан, с обработкой	19,40	16,93	4,73	5,87	8,27	2,17	81
Гвидон, без обработки	18,27	17,47	3,47	5,53	7,27	2,77	77
Гвидон, с обработкой	26,03	21,40	7,30	6,40	9,30	1,97	83
НСР ₀₅ АВ	4,74	3,75	1,70	0,68	0,35	0,30	
НСР ₀₅ А, НСР ₀₅ В	3,35	2,65	1,12	0,5	0,25	0,21	
Влияние фактора, %							
Взаимодействие АВ	42,15	11,69	3,27	27,93	13,53	4,40	
Фактора А (сорт)	25,16	16,66	22,45	1,49	16,07	21,55	
Факт. В (обработка)	13,15	40,17	12,74	27,93	62,89	70,15	

растения из обработанных семян характеризовались более высокими показателями, чем в контроле. Так, у сортообразца Салтан разница между ними по высоте в 2018 г. составляла 10,9 см, в 2019 г. – 6,4 см, в 2020 г. – 2,2 см; Гвидон – соответственно 6,2, 6,0 и 7,4 см (табл. 3). Необходимо отметить, что использование изучаемого приема приводило к увеличению высота прикрепления нижнего боба, которая имеет важное значение для технологии возделывания с учетом короткостебельности культуры. У сортообразца Салтан она возрастала до 7,4 см, Гвидон – до 5,8 см (в 2019 г.). Протравливание семян практически во все годы испытания приводило к существенному увеличению количества бобов на растении. У сортообразца Салтан оно повышалось на 0,3–4,5 шт. (7,5–59,7 %), Гвидон – на 1,6–4,3 шт. (14,5–110,4 %). Одновременно отмечен рост количества семян в бобе – на 0,7–2,3 шт. (8,8–32,9 %) и 1,1–2,5 шт. (14,9–32,9 %) соответственно.

Эффективность семяобразования за годы исследований у растений из обработанных семян была выше, чем в контроле, на 3–7 %. Это свидетельствует о том, что защита семенного материала маша с использованием протравителя позволяет повысить устойчивость культуры к корневым гнилям и в итоге обеспечивает создание более продуктивного агроценоза. Урожайность сортообразца Салтан без обработки составляла 0,38–0,94 т/га, с обработкой – 0,55–1,24 т/га, Гвидон – соответственно 0,63–1,10 т/га и 0,90–1,45 т/га, что достоверно выше, чем в контроле ($HC_{05} = 0,11$ т/га).

Таким образом, на семенах маша формируется комплекс патогенных организмов, характерный для бобовых в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Обработка семян изучаемых сортообразцов перед посевом препаратом Грандсил Ультра, в состав которого входят флутриафол, тебуконазол и имазалил, достоверно снижает степень поражения растений маша корневыми гнилями в фазе полных всходов на 0,34–0,44 балла, бутонизации – на 0,22–0,42 балла, созревания – на 0,10–0,24 балла. За годы исследований в вариантах с применением протравителя выявлено увеличение высоты растений и прикрепления нижнего боба, количества бобов на растении и семян в бобе, эффективности семяобразования. Совокупность этих изменений повышает продуктивность растений и обеспечивает формирование более урожайного агроценоза культуры.

Литература.

1. Вавилов Н.И. Проблемы новых культур. М.; Л.: Сельхозхозгиз, 1932. Т. 5. 537 с.
2. Косолапов В.М. Кормовые ресурсы в обеспечении развития сельского хозяйства в России // Роль генетических ресурсов и селекционных достижений в обеспечении динамичного развития сельскохозяйственного производства. Орёл: ВНИИЗБК, 2009. С. 283–290.
3. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур. М.: М-во сельского хозяйства, 2018. 897 с.
4. Кинчаров А.И., Таранова Т.Ю., Демина Е.А. Специфическая реакция сортов яровой мягкой пшеницы на погодные условия // Вестник КрасГАУ. 2020. № 9. С. 61–68. doi: 10.36718/1819-4036-2020-9-61-68
5. Курьянович А.А., Володина И.А. Возможность интродукции и селекции маша – (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) в Среднем Поволжье // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 2(2). С. 408–414. DOI: 10.24411/1990-5378-2018-00139.
6. Коллекция мировых генетических ресурсов генетических ресурсов зерновых бобовых ВИР: пополнение, сохранение и изучение: методические указания / М.А. Вишнякова, Т.А. Буравцева, С.В. Булынец и др. С.-Пб.: ВИР, 2010. 141 с.
7. Данилова А. В., Ким Ю. С., Волкова Г. В. Новый фунгицид Протазокс в защите озимого ячменя от пятнистостей листьев в условиях Краснодарского края // Земледелие. 2020. № 6. С. 41–44. DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10610.
8. Murray G.M., Brennan I.P. Estimating disease losses to the Australian barley industry // Australasian Plant Pathology. 2010. Vol. 39 P. 85–96. DOI 10.1071/AP09064.
9. Пикушова Э.А., Шадрин Л.А., Долбилова Т.А. Снижение фитосанитарных рисков в агроценозе озимой пшеницы в осенние и ранневесенние фазы вегетации // Защита и карантин растений. 2019. №8. С. 29–31.
10. Торопова Е.Ю., Селюк М.Р., Казакова О.А. Факторы доминирования грибов рода *Fusarium* в патоккомплексе корневых гнилей зерновых культур // Агрохимия. 2018. № 5. С. 69–78.
11. Распространение грибов рода *Fusarium* Link. на зерновых культурах / А.П. Глинушкин, А.В. Овсянкина, М.И. Киселёва и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2018. № 2. С. 19–25.
12. Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Оценка эффективности биологических протравителей против семенной и почвенной инфекции на озимой пшенице // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. №7. С. 43–48. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10707
13. Формирование ассортимента химических средств защиты растений от вредителей в XX веке / Г.И. Сухорученко, Л.А. Буркова, Г.Л. Иванов и др. // Вестник защиты растений. 2020. 103(1). С. 5–24. doi: 10.31993/2308-6459-2020-103-1-05-24.
14. Муковоз П.П., Пешиков С.А., Левенец Т.В., Сизенцов А.Н., Квитко А.В., Глинушкин А.П. Инновационные способы подавления микозов растений: подходы, решения, перспективы // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 12. С. 19–27. doi: 10.24411/0235-2451-2020-11203.
15. Назаров Р.В., Каримова Л.З., Сафин Р.И. Эффективность предпосевной обработки семян ярового ячменя комплексными составами на основе фунгицида Скарлет // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. №9. С. 24–27. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10905.
16. Учебная практика по защите растений / В.Г. Каплин, А.М. Макеева, А.Б. Кошелева и др. Самара: Самарская ГСХА, 2004. 142 с.
17. Тютерев С.Л. Обработка семян фунгицидами и другими средствами оптимизации жизни растений. СПб-Пушкин: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2006. 248 с.

Поступила в редакцию 10.11.2020

После доработки 18.01.2021

Принята к публикации 01.03.2021

РОЛЬ БИОПРЕПАРАТОВ И АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОДУКТИВНОСТИ ГРЕЧИХИ В УСЛОВИЯХ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Г.М. Брескина, кандидат сельскохозяйственных наук,
Н.А. Чуян, доктор сельскохозяйственных наук

Курский федеральный аграрный научный центр,
305021, Курск, ул. Карла Маркса, 70б
E-mail: Chuyan.6546@yandex.ru

Цель исследований – изучение влияния микробиологических препаратов (Грибофит и Имуназот), азотных удобрений (аммиачная селитра) по отдельности и в комплексе на фоне внесения соломы ячменя на урожайность, морфологические показатели урожая и химический состав зерна сорта гречихи Деметра в условиях Курской области. Урожайность зерна культуры от применения азота на фоне соломы возрастала на 0,6 т/га, по отношению к внесению одной соломы. Сбор зерна в варианте с инокуляцией семян, почвы и соломы ячменя биопрепаратами составил 1,5 т/га и несколько уступал действию азотных удобрений (10 кг д.в. N на 1 т соломы), а при комплексном использовании азотных удобрений (5 кг д.в. N на 1 т соломы) с биопрепаратами отмечена тенденция к повышению урожайности (на 0,2 т/га), по сравнению с действием биопрепаратов. Масса 1000 семян гречихи от применения азотных удобрений увеличивалась, по отношению к контролю, на 1,6 г, от биопрепаратов – на 0,7 г, содержание азота в зерне – соответственно на 0,27 и 0,22 %. Наибольшие изменения морфологических показателей семян гречихи обеспечивала инокуляция биопрепаратами. Применение азотных удобрений и биопрепаратов одинаково влияло на рост и развитие культуры. Площадь листовой поверхности в начале вегетации была выше в среднем в 1,4 раза, а к уборке в 1,9 раза, по отношению к контролю. Выживаемость растений во всех вариантах опыта возрастала, по отношению к контролю, а наибольшей (87,2 %) была при совместном применении азотных удобрений и биопрепаратов.

THE ROLE OF BIOPREPARATIONS AND NITROGEN FERTILIZERS IN THE FORMATION OF BUCKWHEAT PRODUCTIVITY IN KURSK REGION

Breskina G.M., Chuyan N.A.

Kursk Federal Agricultural Research Center,
305021, Kursk, ul. Karla Marxa, 70 b
E-mail: Chuyan.6546@yandex.ru

The aim of the research is to study the effect of microbiological preparations (Gribophyt and Imunazot), nitrogen fertilizers (N ammonium nitrate) and their combined use with by-products (barley straw) applied against the background, morphophysiological indicators of the yield and the chemical composition of the grain of Demeter buckwheat variety under the conditions of Kursk Region. A significant (by 0.6 t/ha) increase in the yield of buckwheat grain from the application of N and barley straw is determined. The grain harvest in the variant with inoculation of seeds, soil, and crushed barley straw with Gribophyt and Imunazot was 1.5 t/ha and slightly inferior to the application of nitrogen fertilizers (10 kg of NPPN per 1 ton of straw). There is a tendency to increased yield (by 0.2 t/ha) of grain with the complex application of nitrogen fertilizers (5 kg of NPPN per 1 ton of straw) together with biopreparations compared with the effect of biopreparations alone. Nitrogen fertilization increased the weight of 1000 grains of buckwheat by 1.6 g, and the use of biopreparations by 0.7 g, and also contributed to the increase of nitrogen content in the grain by 12.5% and 10 %, respectively, relative to the control. During the growing season of buckwheat the application of nitrogen fertilizers and biopreparations equally influenced the growth and development of the crop. For example, the leaf surface area was higher on average at the beginning of the growing season 1.4 times, and by the harvesting period 1.9 times compared to the control variant. The survival rate of plants increased significantly ($LS D_{05} 2,0$) in all the variants of the experiment relative to the control, but a maximum positive effect is found in the variant with joint use of nitrogen fertilizers (5 kg of NPPN per 1 t of straw) and biopreparations (Gribophyt + Imunazot), i.e. 87.2%.

Ключевые слова: гречиха (*Fagopyrum esculentum*), урожайность, биопрепараты (Грибофит + Имуназот), азотные удобрения (аммиачная селитра), пожнивно-корневые остатки, морфологические показатели, химический состав продукции, масса 1000 зерен

Key words: buckwheat (*Fagopyrum esculentum*), yield, biopreparations (Gribophyt + Imunazot), nitrogen fertilizers (ammonium nitrate), crop and root residues, morphophysiological parameters, chemical composition of products, weight of 1000 grains

После уборки сельскохозяйственных культур на полях остается нетоварная часть растениеводческой продукции, то есть пожнивно-корневые остатки, которые используют в качестве удобрения. При заделке в почву они могут несколько ухудшить условия питания растений азотом из-за иммобилизации его микроорганизмами. Резервом улучшения питания растений может быть биологический азот, фиксируемый клубеньковыми и ризосферными микроорганизмами, внимание к которым в последние годы время возросло во всем мире [1].

Видовой состав микрофлоры, способной заселять ризосферу, во многом определяет успешное развитие растительного организма и, в конечном счете, форми-

рование относительно высоких урожаев сельскохозяйственных культур [2, 3].

Биопрепараты комплексного действия, изготовленные на основе ризосферных микроорганизмов, положительно влияют на рост и развитие растений. Одновременно они способны подавлять патогенную микрофлору, что в конечном итоге снижает заболеваемость растений [4, 5, 6]. Однако использование этого приема не заменяет применения удобрений, а дополняет его благодаря высвобождению элементов питания при минерализации пожнивно-корневых остатков, повышают коэффициент использования питательных веществ из почвы и удобрений [7, 8, 9]. Как показывали опыты, проведенные на различных почвах, приме-

нение биопрепаратов в растениеводстве способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур и качества продукции [9, 10, 11].

Применение препарата Имуназот (штаммы бактерий *Pseudomonas*, обладающего широким спектром антимикробного, антифунгального и ростостимулирующего действия, позволяет ускорить процесс разложения клетчатки соломы, активизировать фиксацию атмосферного азота и в целом сдвинуть баланс почвенной микрофлоры в пользу сапрофитных грибов [12].

В современных адаптивных технологиях возделывания гречихи предусмотрено комплексное использование пожнивно-корневых остатков предшествующей культуры и азотных удобрений, а также биопрепаратов, оптимизирующих питание растений, улучшающих адаптационные процессы, устойчивость культуры к основным факторам окружающей среды, увеличивающих урожайность и качество зерна.

Цель исследований – изучение влияния использования побочной продукции ячменя (соломы) совместно с биопрепаратами (Грибофит и Имуназот) и в комплексе с азотными удобрениями (аммиачная селитра) на морфофизиологические показатели растений сорта гречихи Деметра, ее урожайность и химический состав семян.

Методика. Изучение эффективности применения Грибофита, Имуназота и аммиачной селитры, которые вносили совместно с измельченными пожнивно-корневыми остатками ячменя для активизации их разложения проводили на опытном поле ФГБНУ «Курский ФАНЦ» в Курской области (Медвенский район, с. Панино) в полевом опыте, заложенном в 2017–2019 гг., в звене полевого севооборота с чередованием культур: озимая пшеница – яровой ячмень – гречиха.

Почва опытного поля – чернозем типичный слабоэродированный тяжелосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке. При закладке эксперимента в пахотном слое почвы содержание гумуса (по Тюрину) составляло $4,98 \pm 0,15$ %, подвижных (по Чирикову) форм фосфора и калия – соответственно 8,8–12,0 и 9,7–11,2 мг/кг, общего азота (по Кьельдалю) – 0,22–0,23 %, обменного аммония (ГОСТ 26487-85) – 10,9–13,2 мг/кг, нитратного азота (по методу Грандваль-Ляжу) – 4,8–5,1 мг/кг. Реакция почвенной среды нейтральная. Содержание обменного кальция составляло 22,0–23,3 мг-экв./100 г почвы. В опыте выращивали сорт гречихи Деметра.

Схема эксперимента включала следующие варианты: измельченная солома ячменя (контроль); измельченная солома ячменя + азотные удобрения из расчета 10 кг д.в. N на 1 т соломы;

измельченная солома ячменя, обработанная биопрепаратами Грибофит (5 л/га) и Имуназот (3 л/га) + обработка семян биопрепаратами Грибофит (2 л/т) и Имуназот (3 л/т) + обработка почвы перед посевом и посевов в период вегетации (2 раза) биопрепаратами Грибофит (5 л/га) и Имуназот (3 л/га);

измельченная солома ячменя, обработанная биопрепаратами Грибофит (5 л/га) и Имуназот (3 л/га) + обработка семян биопрепаратами Грибофит (2 л/т) и Имуназот (3 л/т) + обработка почвы перед посевом и посевов в период вегетации (2 раза) биопрепаратами Грибофит (5 л/га) и Имуназот (3 л/га) + азотные удобрения из расчета 5 кг д. в. N на 1 т соломы.

Годы исследований, по данным метеопоста п. Черемушки (Курская область, Курский район), характеризовались различной тепло- и влагообеспеченностью. Средняя годовая температура воздуха в 2017 г. составляла 7,6 °С, что было на 1,9 °С выше нормы, годовая

сумма осадков – 636 мм несколько превышала климатическую норму. В весенний период температура воздуха была ниже обычной на 1,5–3,0 °С, а сумма осадков – на 2–10 % выше нормы. В летне-осенний период погодные условия соответствовали средним многолетним значениям. В 2018 г. средняя годовая температура воздуха составляла 7,1 °С (на 1,4 °С выше нормы), сумма осадков – 544 мм, или 89 % от климатической нормы. В течение этого года отмечали неравномерное выпадение осадков: в июле их сумма составила 228 %, в августе – 6 % от нормы. При этом в период вегетации культур температура на превышала среднемноголетние значения на 5,8 °С. В 2019 г. средняя годовая температура воздуха составила 8,4 °С (на 2,7 °С выше нормы), сумма осадков – 525 мм, или 86 % среднемноголетней. При этом с апреля по июнь среднесуточная температура превышала норму в среднем на 2,9 °С, а с июля по сентябрь – была ниже на 1,1 °С среднемноголетней. С апреля по август отмечен дефицит осадков (ГТК – 0,85), поэтому условия для микроорганизмов биопрепаратов были неблагоприятными, что сказалось на их активности.

Опыт заложен в соответствии с общепринятыми методиками [13] в трехкратной повторности. Посев, учеты и наблюдения проводили по методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [14].

Обработку почвы биопрепаратами перед посевом культуры и измельченных растительных остатков осуществляли навесным опрыскивателем, внесение минеральных удобрений (аммиачная селитра) – навесным разбрасывателем РН-0,8 под предпосевную культивацию. Заделку измельченных растительных остатков в почву во всех вариантах опыта проводили дисковыми боронами на глубину 8–10 см. Общая площадь делянки – 192 м² (48 × 4). Учет урожая гречихи проводили вручную с использованием метровок в трехкратной повторности.

Согласно информации производителя (ООО «Защита-АгроСоюз»), Грибофит – экологически безопасный для животных, насекомых и человека биопрепарат, содержащий споры и мицелий гриба *Trichoderma*, а также, продуцируемые грибом в процессе производства вещества (антибиотики, ферменты, витамины, фитогормоны). Имуназот – биологический препарат на основе ризосферных бактерий *Pseudomonas*, фосфатомобилизатор контактного и системного действия [12].

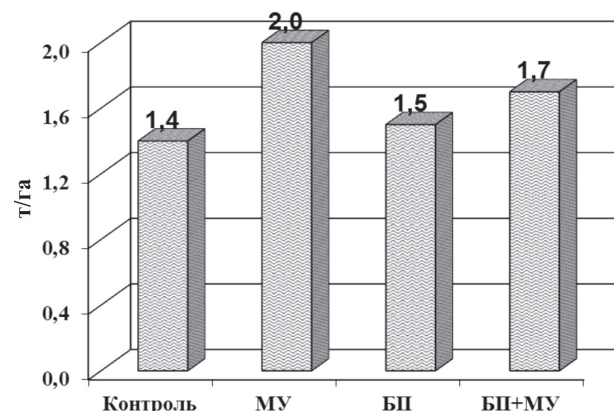


Рис. 1. Урожайность зерна гречихи в зависимости от азотных удобрений и биопрепаратов, т/га: МУ – азотные удобрения; БП – биопрепараты.

Табл. 1. Качественные показатели основной продукции гречихи в зависимости от применения азотных удобрений и биопрепаратов

Вариант	Масса 1000 семян, г	Химический состав зерна, %		
		N	P	K
Измельченная солома ячменя (контроль)	14,3	2,16	0,71	0,66
Измельченная солома ячменя + азотные удобрения	15,9	2,43	0,82	0,68
Измельченная солома ячменя + биопрепараты	15,0	2,38	0,79	0,71
Измельченная солома ячменя + азотные удобрения + биопрепараты	15,4	2,50	0,80	0,74
HCP ₀₅	0,7	0,37	0,02	0,01

Массу 1000 семян гречихи определяли по ГОСТ 10842-89, общее содержание питательных элементов в семенах измеряли из одной навески после мокрого озоления с определением азота по Кьельдалю, фосфора – колориметрически, калия – на пламенном фотометре [15]. Площадь листьев гречихи измеряли в полевых условиях с использованием Android-приложения Петтиоль (Petiole) в период всходов и уборки культуры.

Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики с использованием дисперсионного анализа в программе Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и обсуждение. Установлена высокая эффективность применения азотных удобрений при возделывании гречихи. Внесение аммиачной селитры на фоне послеуборочных остатков ярового ячменя обеспечивало достоверную прибавку урожайности семян культуры на 0,64 т/га (HCP₀₅ = 0,04 т/га), по отношению к контролю (рис. 1.).

Действие препаратов Грибофит и Имуназот как фактора значительно уступало влиянию азотных удобрений. Сбор семян гречихи в этом варианте составил 1,50 т/га, что ниже, чем в варианте с минеральными удобрениями, на 0,50 т/га (HCP₀₅ 0,04 т/га).

Низкая эффективность биопрепаратов в опыте объясняется неблагоприятными погодными условиями – дефицитом осадков (ГТК = 0,85) в период цветения и бутонизации растений и недостатком тепла (с июля по сентябрь среднемесячная температура была ниже нормы на 1,1 °C), что отрицательно сказалось на активности почвенной микрофлоры. Подобные выводы были получены и в исследованиях А.И. Шапошникова [16].

Отмечена тенденция увеличения урожайности гречихи на фоне совместного применения биопрепаратов и половинной дозы азотных удобрений, по сравнению с контролем (на 0,30 т/га) и действием одних биопрепаратов (на 0,2 т/га). Относительная низкая эффективность совместного применения азотных удобрений и биопрепаратов на гречихе связана как с уменьшением вносимого количества минерального азота, так и с возможным торможением азотом минеральных удобрений процесса ассоциативной азотфиксации [17].

Улучшение условий азотного питания при внесении минеральных удобрений и биологических препаратов отразилось на массе 1000 семян и химическом составе основной продукции гречихи.

Внесение аммиачной селитры под гречиху обеспечивало достоверное увеличение массы 1000 семян, по сравнению с контролем, на 1,6 г, биопрепаратов – на 0,7 г. При совместном применении половинной дозы

Табл. 2. Морфофизиологические показатели гречихи Деметра в зависимости от азотных удобрений и биопрепаратов

Вариант	Площадь листьев, см ²		Густота стояния растений, шт./м ²		Выживаемость, %	Высота растений, см
	всходы	уборка	всходы	уборка		
Измельченная солома ячменя (контроль)	8,74	14,46	220	179	81,4	59,3
Измельченная солома ячменя + азотные удобрения	14,28	28,62	230	199	86,5	79,3
Измельченная солома ячменя + биопрепараты	12,10	27,42	233	200	85,8	80,6
Измельченная солома ячменя + азотные удобрения + биопрепараты	10,04	28,47	226	197	87,2	80,5
HCP ₀₅	1,17	4	2	2,0	16,7	

азотных удобрений и биопрепаратов масса 1000 семян была выше, чем в контроле, на 1,1 г, что на 0,5 г меньше, по сравнению с эффектом от азотных удобрений, но на 0,4 г больше, чем при использовании одних биопрепаратов (табл. 1).

Азотные удобрения и биопрепараты по отдельности и в сочетании оказали положительное и примерно одинаковое влияние на химический состав основной продукции культуры – содержание общего азота увеличилось на 0,22-0,27 %, фосфора – на 0,08-0,11 %, калия – на 0,02-0,05 % (см. табл. 1).

Один из основных показателей фотосинтетической деятельности растений – площадь листовой поверхности. Лист в процессе вегетации создает органическое вещество, которое составляет главную часть биологической массы урожая [18].

В период всходов наибольшее влияние на площадь листовой поверхности гречихи оказывали азотные удобрения. На их фоне величина этого показателя была 5,54 см², больше, чем в контроле, и на 2,18 см², по сравнению с внесением биопрепаратов (табл. 2).

В период уборки гречихи достоверных различий по площади листовой поверхности между экспериментальными вариантами не выявлено – она составляла 27,42-28,62 см² и практически вдвое превышала величину этого показателя в контроле.

Густоту продуктивного стеблестоя гречихи к уборке

Табл. 3. Уравнения связи урожайности и морфофизиологических показателей гречихи с исследуемыми факторами

Показатель	Уравнение связи*	R
Урожайность, т/га	$1,38 + 0,10 \cdot x_1 + 0,62 \cdot x_2 - 0,41 \cdot x_1 \cdot x_2$	0,84
Площадь листа	$14,46 + 12,95 \cdot x_1 + 14,16 \cdot x_2 - 13,10 \cdot x_1 \cdot x_2$	0,99
Число растений в период всходов, шт./м ²	$220,6 + 11,4 \cdot x_1 + 9,4 \cdot x_2 - 15,2 \cdot x_1 \cdot x_2$	0,86
Число растений к уборке, шт./м ²	$179,4 + 20,8 \cdot x_1 + 19,8 \cdot x_2 - 22,6 \cdot x_1 \cdot x_2$	0,98
Выживаемость растений, %	$81,36 + 4,94 \cdot x_1 + 5,28 \cdot x_2 - 5,38 \cdot x_1 \cdot x_2$	0,81
Высота растений, см	$59,2 + 21,4 \cdot x_1 + 20,05 \cdot x_2 - 23,9 \cdot x_1 \cdot x_2$	0,81

* x_1 – микробиологические препараты, x_2 – азотные удобрения.

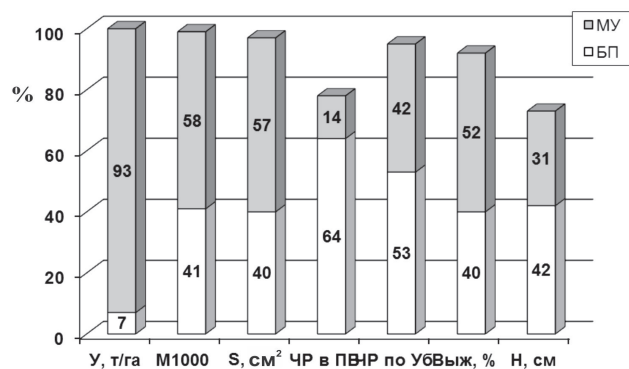


Рис. 2. Вклад азотных удобрений и биопрепаратов в варьирование урожайности семян и структуры урожая гречихи, %: У – урожайность; M1000 – масса тысячи семян; S – площадь листовой поверхности; ЧР в ПВ – число растений в период всходов; ЧР по Уб – число растений к уборке; Выж. – выживаемость растений; H – высота растений.

определяли полевой всхожесть семян и выживаемость растений. Наибольшими величинами этих показателей отмечены в вариантах с применением азотных удобрений и их комплексным использованием с микробиологическими препаратами – 86,5–87,2 % (см. табл. 2).

О наличии взаимосвязи урожайности гречихи с внесением азотных удобрений и биопрепаратов свидетельствуют результаты корреляционно-регрессионного анализа (табл. 3). Величина коэффициента регрессии ($R = 0,99$) указывает на тесную связь между факторами отдельного внесения азотных удобрений и биопрепаратов с формированием листовой поверхности гречихи (табл. 3).

При определении вклада факторов установлено, что варьирование урожайности основной продукции на 93 % зависело от азотных удобрений и только на 7 % от применяемых биопрепаратов (рис. 2). Вклад азотных удобрений в варьирование массы 1000 семян составлял 58 %, площади листовой поверхности – 57 %, выживаемости растений – 52 % и был заметно выше, чем у биопрепаратов (соответственно 41, 40 и 40 %). При этом число растений в фазе всходов и перед уборкой, а также их высота больше зависели от биопрепаратов (64, 53 и 42 % соответственно), чем от азотных удобрений (14, 42 и 31 %).

Таким образом, применение азотных удобрений, биопрепаратов (Грибофит + Имуназол) в чистом виде и совместно на фоне поверхностной заделки пожнивных остатков предшествующей культуры ячменя положительно сказывалось на формировании урожая гречихи.

Наибольшую в опыте выживаемость растений обеспечивало внесение азотных удобрений и комплексное их применение с микробиологическими препаратами – 86,5 и 87,2% против 81,4% в контроле.

Урожайность гречихи возрастала, по отношению к контролю, при использовании азотных удобрений на 0,64 т/га, биопрепаратов – на 0,10 т/га, азотных удобрений и биопрепаратов – на 0,30 т/га.

Применение на фоне пожнивных остатков азотных удобрений и/или совместное их использование с биопрепаратами обеспечивало увеличение площади листовой поверхности, по отношению к контролю, в 1,4–1,9 раза, массы 1000 семян – на 1,1–1,6 г, содержания в зерне общего азота – на 0,22–0,27 %, фосфора – на 0,08–0,11 %, калия – на 0,02–0,05 %.

Литература.

1. Nikitin S.N. Changes in soil major nutrients when using fertilizers for variety of backgrounds // *Science, Technology and Higher Education: materials of the X International research and practice conference*. Canada: Westwood publishing office Accent Graphics communications, 2016. P. 205–213.
2. Изменение видового состава микрофлоры ризосферы и филлосферы сахарной свеклы под влиянием биопрепаратов на основе эндофитных бактерий и их метаболитов / Л.И. Пусенкова, Е.Ю. Ильясова, О.В. Ласточкина и др. // *Почвоведение*. 2016. №10. С. 1205–1213.
3. Schlaeppi K., Bulgareli D. The plant microbiome at work // *Mol. MicrobeInteract*. 2015. Vol. 28. No. 3. P. 212–217.
4. Кушникаткина А.Н., Русаяв И.Г. Урожайность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян комплексными микробиобактериями и бактериальными препаратами // *Агрохимический вестник*. 2018. №3. С. 48–50.
5. Рябчинская Т.А., Зимица Т.В. Средства, регулирующие рост и развитие растений, в агротехнологиях современного растениеводства // *Агрохимия*. 2017. №12. С. 62–92.
6. Русакова И.В., Московин В.В. Микробная деградация соломы под влиянием биопрепарата Багс и приемы повышения эффективности его применения на разных типах почв // *Агрохимия*. 2016. №8. С. 56–61.
7. Биологическая защита растений / М.В. Штерншис, Ф.С. Джалилов, И.В. Андреева и др. М.: Колос, 2004. 264с.
8. Крекотень М.А. Влияние технологических приемов возделывания подсолнечника на его урожайность и экологию агроценозов // *Аграрные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр.* Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Морозова Г.Ф., 2014. Т. 2. Вып. 5. Ч. 3. С. 233–236.
9. Использование биопрепаратов – дополнительный источник элементов питания растений / И.А. Тихонович, А.А. Завалин, Г.Г. Благовещенская и др. // *Плодородие*. 2011. № 3 (60). С. 9–13.
10. Высоцкая Е.А., Крекотень М.А., Оптимизация биоресурсного потенциала подсолнечника с использованием в технологии возделывания биологически активных препаратов // *Вестник ВГА*. 2017. №1(52). С. 20–26.
11. Завалин А.А. Применение биопрепаратов при возделывании полевых культур // *Достижение науки и техники АПК*. 2011. №8. С. 9–11.
12. К вопросу применения свекловичного жома в качестве органического удобрения / О.Г. Чуян, Н.П. Масютенко, Д.В. Гарнов и др. // *Агротехнологическая модернизация земледелия: Материалы докладов Всероссийской научно-практической конференции*. Курск: ГНУ Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии РАСХН, 2013. С.246–250.
13. Доспехов Б.А., Васильев И.П., Туликов А.М. Практикум по земледелию. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.
14. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1985. 258с.
15. Радов А.С., Пустовой И.В., Корольков А.В. Практикум по агрохимии: учебное пособие. М.: Агропромиздат, 1985. 312с.
16. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов / А.И. Шапошников, А.А. Беликов, Л.В. Кравченко и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2011. №3. С. 16–22.
17. Гамзиков Г.П., Завалин А.А. Проблемы азота в земледелии России // *Плодородие*. 2006. №5. С. 29–31.
18. Аюньев Э. Д. Земледелие Северного Кавказа. М.: Агропрогресс, 1999. 518 с.

Поступила в редакцию 11.09.2020

После доработки 24.11.2020

Принята к публикации 20.01.2021

Агропочвоведение и агроэкология

УДК 631.45:631.8

DOI:10.31857/S2500262721020095

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ УДОБРЕНИЙ
НА ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ МИНЕРАЛЬНЫХ ФОСФАТОВ И СОДЕРЖАНИЕ
ПОДВИЖНОГО ФОСФОРА ПО ПРОФИЛЮ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ****М.Т. Васбиева**, кандидат биологических наук,
В.Р. Ямалтдинова, Д.С. Фомин, кандидаты сельскохозяйственных наук*Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН,
614532, Пермский край, с. Лобаново, ул. Культуры, 12
E-mail: vashbievamt15@gmail.com*

Исследования проводили с целью оценки воздействия длительного применения удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистом тяжелосуглинистой почвы Предуралья. Изучали влияние органической (10 т и 20 т навоза на 1 га пашни в год), минеральной (эквивалентно содержанию NPK в 10 и 20 т/га навозе) и органо-минеральной (навоз 5, 10 и 20 т/га и минеральные удобрения эквивалентно содержанию NPK в навозе) систем удобрения на фракционный состав минеральных фосфатов (метод Гинзбург-Лебедевой) и содержание подвижного фосфора в почве. Исследовали метровый слой почвы в длительном стационарном опыте, заложенном в 1968 г., в полевом восьмипольном севообороте. В составе минеральных фосфатов дерново-подзолистом почвы преобладали Fe-P (45 %) и Ca-P (42 %). Длительное систематическое внесение удобрений привело к существенному увеличению содержания в почве самой подвижной фракции фосфатов кальция (Ca-PI) и железа (Fe-P). Органическая, минеральная и органо-минеральная системы удобрения достоверно повышали содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы со 125 мг/кг до 192-368 мг/кг. Запасы подвижного фосфора в пахотном слое почвы возрастали в 1,7-3,0, в метровом слое – в 1,1-1,6 раза. Максимальное в опыте влияние на показатели фосфатного режима почвы отмечено при внесении навоза в дозе 20 т/га в год + NPK эквивалентно содержанию питательных веществ в навозе 20 т/га. Изменения фракционного состава фосфатов и подвижного фосфора согласуется со сложившимся балансом этого элемента в почве.

**THE INFLUENCE OF LONG-TERM APPLICATION OF FERTILIZER SYSTEMS
ON THE FRACTIONAL COMPOSITION OF MINERAL PHOSPHATES AND THE CONTENT
OF MOBILE PHOSPHORUS OF SODDY-PODZOLIC SOIL BY PROFILE****Vasbieva M.T., Yamaltdinova V.R., Fomin D.S.***Perm Federal Scientific Center Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
614532, Permskii kraj, Lobanovo, ul. Kultury, 12
E-mail: vashbievamt15@gmail.com*

The assessment of long-term use of fertilizers on the phosphate regime of sod-podzolic heavy loamy soil of Cis-Urals was carried out. The effect of the use of organic (saturation of a hectare of arable land with manure 10 and 20 t/ha per year), mineral (equivalent to the content of NPK in manure 10 and 20 t/ha) and organo-mineral (manure 5, 10 and 20 t/ha and mineral fertilizers equivalent to the NPK content in manure) of fertilization systems for the fractional composition of mineral phosphates (the Ginzburg-Lebedeva method) and the content of mobile phosphorus in soil. The research was carried out under the conditions of a long-term stationary experiment in a field eight-field crop rotation, established in 1968, in a meter layer of soil. It was noted that Fe-P (45 %) and Ca-P (42 %) predominated in the composition of mineral phosphates of sod-podzolic soil. The use of all fertilizer systems influenced the change in the composition of soil phosphates, the transition of compounds from one fraction to another, changes (reliable, trends) were observed in the meter layer of soil. Long-term systematic application of fertilizers led to a significant increase in the content of the most mobile fraction of calcium phosphates Ca – PI and Fe – P in the soil. There were trends of decreasing the Ca-PII and Al-P fractions. The use of organic, mineral and organo-mineral fertilization systems significantly increased the content of mobile phosphorus in the plow horizon of the soil from 125 to 192-368 mg/kg. The reserves of mobile phosphorus in the arable layer of the soil increased by 1.7-3.0 times, and in the meter layer by 1.1-1.6 times. The maximum effect on the parameters of the phosphate regime of the soil was noted when applying manure of 20 t/ha per year + NPK is equivalent equivalent to nutrient content of manure 20 t/ha. Changes in the fractional composition of phosphates and mobile phosphorus are consistent with the existing balance of this element in the soil.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, фракционный состав минеральных фосфатов, подвижный фосфор, системы удобрений, баланс фосфора

Key words: sod-podzolic soil, fractional composition of mineral phosphates, mobile phosphorus, fertilizer systems, phosphorus balance

Фосфор – один из основных элементов минерального питания растений. Он играет важную роль в процессах фотосинтеза и дыхания, служит регулятором энергетического баланса и основой передачи наследственных свойств, влияет на синтез белков. Обеспеченность доступным фосфором – один из показателей плодородия почвы [1, 2, 3]. На фоне его высокого содержания в почве наблюдается улучшение условий корневого питания растений азотом и калием, эффективность азотных и калийных удобрений возрастает в 2,0-2,5 раза [4, 5].

Дерново-подзолистые почвы, занимающие основную площадь пашни Пермского края, характеризуются

низкой обеспеченностью подвижными фосфатами. По данным центра агрохимической службы «Пермский» средневзвешенное содержание этого минерального элемента в почве края составляет 94 мг/кг. Низкой обеспеченностью подвижными формами фосфора характеризуются 34 %, средней – 32 % почв пашни. Связано это с низкими объемами применения удобрений в крае: минеральных – 12,5 кг д.в./га, органических – 1,0 т/га [6]. В Российской Федерации в целом объемы внесения минеральных удобрений также находятся на низком уровне. Они меньше среднемировых показателей (около 100 кг/га) почти в 5 раз [7].

Фосфатный режим почвы зависит от её генетических особенностей, погодных условий, возделываемой культуры, обработки почвы, применения удобрений и других факторов. Наибольшее влияние на него оказывают удобрения [8, 9, 10]. Для полной характеристики фосфатного режима почвы при использовании удобрений в севообороте важно знать не только содержание подвижного фосфора, но и распределение фосфатов по фракциям.

Цель исследований – оценить влияние длительного применения удобрений на групповой состав минеральных фосфатов и содержание подвижного фосфора по профилю дерново-подзолистой почвы Предуралья.

Методика. Работу проводили в длительном стационарном полевом эксперименте, заложенном в 1968 г., в Пермском НИИСХ – филиале ПФИЦ УрО РАН. Почва опытного участка – дерново-мелкоподзолистая тяжело-суглинистая с содержанием гумуса 2,16-2,22 %, подвижных P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) – 125-165 и 170-173 мг/кг соответственно, pH_{col} – 5,2-5,4 ед.

В опыте изучали следующие системы удобрений: органическая (насыщенность 1 га пашни навозом 10 и 20 т в год); минеральная (дозы удобрений эквивалентны содержанию питательных веществ в 10 и 20 т/га навоза); органо-минеральная (навоз 5, 10 и 20 т/га в год и минеральные удобрения эквивалентно содержанию питательных веществ соответственно в 5, 10 и 20 т навоза). Повторность вариантов четырехкратная, размещение рендомизированное. Опыт развернут всеми вариантами в двух последовательных во времени закладках. Общая площадь делянки 115,5 м². Исследования проводили в полевом восьмипольном парозерно-пропашном севообороте со следующим чередованием культур: пар чистый, озимая рожь, яровая пшеница с подсевом клевера, клевер 1 г. п., клевер 2 г. п., ячмень, картофель, овес.

Навоз в севообороте вносили в двух полях: под рожь и картофель (разовые дозы 20, 40 и 80 т/га). Минеральные удобрения распределяли, в зависимости от количества, под озимую рожь, пшеницу, ячмень, картофель, овес. Клевер не удобряли. Для посева использовали семена высоких репродукций.

Отбор почвенных образцов проводили в начале V ротации севооборота послойно: 0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 см. Результаты представлены в среднем по двум закладкам опыта. Групповой состав фосфатов почвы определяли по Гинзбург-Лебедевой [11], подвижный фосфор – по Кирсанову [12]. Лабораторные исследования проводили в воздушно-сухих образцах почвы. Результаты исследований обрабатывали методами корреляционного и дисперсионного анализа. За четыре ротации севооборота с навозом при насыщенности пашни 10 т/га в год в почву поступило N – 866, P – 655 и K – 1373 кг/га, 20 т/га – 1732, 1310 и 2746 кг/га соответственно.

Результаты и обсуждения. Метод Гинзбург-Лебедевой позволяет выделить пять фракций минеральных почвенных фосфатов [13]. Изучение дерново-подзолистой тяжело-суглинистой почвы показало, что наибольшая часть минеральных фосфатов в контроле в верхнем слое (0-20 см) приходилась на Fe-P – 45 %, что характерно для дерново-подзолистых почв (табл. 1) [1, 2, 13].

Доля высокоосновных фосфатов кальция $Ca-P_{III}$ труднодоступных для растений составляла 21 %. На наиболее доступные для сельскохозяйственных культур $Ca-P_I$ и $Ca-P_{II}$ приходилось 14 и 8 % соответственно, на фосфаты алюминия – 13 %. Доля алюмо- и железосоединений с глубиной по профилю почвы снижалась в

1,1-1,4 раза, двух и трёхзамещённых фосфатов кальция – увеличивалась в 1,1-1,3 раза, однозамещённых фосфатов кальция не изменялась. Распределение фракций фосфора по профилю в первую очередь связано с почвообразующей породой – желто-бурая некарбонатная покровная глина. Характерная особенность почвы, сформированной на богатых в минералогическом отношении пермских глинах, – высокое содержание обменных форм кальция и магния, которое, как и сумма поглощенных оснований, увеличивается с глубиной [14].

Длительное внесение удобрений существенно повышало содержание самой подвижной фракции фосфатов кальция в почве. Использование органической системы удобрений увеличивало количество $Ca-P_I$ в пахотном слое (0-20 см) почвы в 1,7-1,8 раза, минеральной – в 1,3-1,4 раза, органо-минеральной – в 1,5-2,3 раза. Максимальное в опыте влияние на содержание фракции $Ca-P_I$ наблюдали на фоне 20 т/га навоз в год и 20 т/га навоз в год в сочетании с NPK в эквивалентном этой дозе количестве. В этих вариантах отмечено достоверное увеличение $Ca-P_I$ до глубины 60 см.

Содержание фракции $Ca-P_{II}$ в пахотном слое почвы при внесении удобрений существенно не изменялось и находилось на уровне контроля. Исключение составил вариант навоз 10 т/га в год, в котором количество $Ca-P_{II}$ возросло в 1,3 раза, что, возможно, связано с особенностями сложившихся почвенных условий, повлиявших на перегруппировку структуры фосфорных соединений. В большинстве вариантов с удобрениями отмечено снижение $Ca-P_{II}$ с глубиной, наибольшие изменения наблюдали в слое почвы 60-80 см – до 40 % от величины этого показателя в контроле.

При использовании удобрений отмечена тенденция снижения фракции Al-P по всему метровому слою. Исключение составил вариант с NPK в дозе эквивалентной 20 т/га навоза в год, в котором она сохранилась на уровне контроля. Устойчивость различных минеральных соединений фосфора, в том числе Al-P, в значительной степени зависит от почвенных условий, в частности, от кислотности. В варианте с NPK в дозе эквивалентной 20 т/га навоза в год наблюдали существенное подкисление почвы, Нг была в 1,2-1,4 раза выше, чем в контрольном варианте, по всему метровому слою. Отмечено достоверное увеличение содержания железосоединений в почве при внесении 10 и 20 т/га навоз в год, NPK эквивалентно навозу 20 т/га в год и навоз 20 т/га в год + NPK в эквивалентном навозу количестве. В этих вариантах содержание Fe-P в слоях почвы 0-20, 20-40 и 80-100 см возросло в 1,2-1,4 раза. Между фосфатами железа и алюминия часто наблюдается перегруппировка, в результате при снижении содержания алюмофосфатов, возможно увеличение количества железосоединений [2]. Это может быть связано с разрушением железогуматного комплекса почвы под влиянием больших доз удобрений [15], а также с высокой химической активностью оксидов железа [2]. Увеличение количества железосоединений также возможно в результате поступления в почву железа с удобрениями.

Содержание $Ca-P_{III}$ достаточно сильно изменялось по вариантам опыта и профилю почвы, что затруднило выделение чётких закономерностей. Можно только отметить, что на фоне с максимальной в опыте насыщенностью удобрениями (навоз 20 т/га в год + NPK в эквивалентном количестве) оно увеличивалось в 1,1-1,4 раза по всему метровому слою почвы.

Применение всех систем удобрений оказало влияние на трансформацию соединений фосфора в почве, переход их из одной группы в другую. Изменения (до-

Табл. 1. Влияние различных систем удобрений на содержание фракций минеральных фосфатов дерново-подзолистой почвы, мг/100 г

Вариант	Слой почвы, см				
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Ca-P _I					
Без удобрений (контроль)	9,7	9,8	10,5	10,9	11,7
Навоз 10 т/га	17,3	13,5	11,1	11,7	11,8
Навоз 20 т/га	16,7	19,3	18,1	14,5	13,9
НРК экв. 10 т навоза	12,9	12,5	11,9	11,6	10,4
НРК экв. 20 т навоза	13,7	10,6	8,4	7,9	8,6
Навоз 5 т + НРК экв. 5 т	14,7	12,4	11,9	12,2	10,2
Навоз 10 т + НРК экв. 10 т	14,3	11,0	11,8	9,7	9,0
Навоз 20 т + НРК экв. 20 т	22,2	21,0	13,8	9,0	9,1
НСП ₀₅	3,2	4,7	3,3	4,2	2,9
Ca-P _{II}					
Без удобрений (контроль)	16,6	20,9	21,5	25,7	23,0
Навоз 10 т/га	21,8	20,7	20,0	21,1	22,0
Навоз 20 т/га	17,7	18,7	17,4	16,4	17,3
НРК экв. 10 т навоза	15,4	19,2	17,6	17,9	18,2
НРК экв. 20 т навоза	17,3	19,4	18,1	18,2	18,1
Навоз 5 т + НРК экв. 5 т	15,1	17,4	16,5	15,7	15,7
Навоз 10 т + НРК экв. 10 т	17,1	16,1	15,2	14,6	15,6
Навоз 20 т + НРК экв. 20 т	17,8	18,4	17,4	15,8	16,7
НСП ₀₅	2,7	2,0	2,3	1,8	4,1
Al-P					
Без удобрений (контроль)	15,5	13,5	13,3	12,9	13,0
Навоз 10 т/га	13,3	13,0	9,4	9,3	10,7
Навоз 20 т/га	11,7	10,7	9,8	13,3	11,6
НРК экв. 10 т навоза	9,6	9,8	7,7	7,3	8,5
НРК экв. 20 т навоза	14,8	12,5	13,6	12,9	13,5
Навоз 5 т + НРК экв. 5 т	8,1	11,1	10,9	7,5	8,6
Навоз 10 т + НРК экв. 10 т	14,4	12,8	8,9	8,3	8,9
Навоз 20 т + НРК экв. 20 т	16,7	12,8	8,9	7,0	6,6
НСП ₀₅	2,0	F _φ < F _τ	2,1	1,4	1,5
Fe-P					
Без удобрений (контроль)	54,2	52,3	53,9	54,0	54,5
Навоз 10 т/га	66,4	63,1	63,2	61,8	68,3
Навоз 20 т/га	65,3	65,0	59,7	61,0	68,6
НРК экв. 10 т навоза	64,5	58,3	58,4	53,0	64,0
НРК экв. 20 т навоза	71,5	63,8	64,7	56,5	58,2
Навоз 5 т + НРК экв. 5 т	53,8	54,2	52,6	50,4	67,3
Навоз 10 т + НРК экв. 10 т	53,6	55,7	58,1	57,1	54,7
Навоз 20 т + НРК экв. 20 т	74,1	70,9	61,8	57,6	55,6
НСП ₀₅	11,5	10,5	F _φ < F _τ	F _φ < F _τ	7,7
Ca-P _{III}					
Без удобрений (контроль)	25,1	26,0	29,1	37,0	40,4
Навоз 10 т/га	24,1	22,6	25,2	30,7	32,8
Навоз 20 т/га	23,5	27,8	34,7	45,5	43,2
НРК экв. 10 т навоза	29,3	17,6	31,1	39,0	32,7
НРК экв. 20 т навоза	21,2	24,0	34,1	35,5	36,8
Навоз 5 т + НРК экв. 5 т	23,7	27,2	30,3	35,2	39,4
Навоз 10 т + НРК экв. 10 т	23,8	28,1	38,6	40,1	38,1
Навоз 20 т + НРК экв. 20 т	28,1	30,4	40,3	51,3	46,2
НСП ₀₅	4,0	4,2	4,9	4,6	4,7
Сумма минеральных фосфатов					
Без удобрений (контроль)	121,0	122,5	128,3	140,5	142,6
Навоз 10 т/га	142,9	132,9	128,8	134,6	145,6
Навоз 20 т/га	134,8	141,4	139,7	150,6	154,6
НРК экв. 10 т навоза	131,7	117,4	126,7	128,7	133,7
НРК экв. 20 т навоза	138,5	130,3	138,9	131,0	135,1
Навоз 5 т + НРК экв. 5 т	115,4	122,3	122,2	121,0	141,0
Навоз 10 т + НРК экв. 10 т	123,2	123,7	132,6	129,7	126,2
Навоз 20 т + НРК экв. 20 т	158,8	153,5	142,1	140,6	134,2
НСП ₀₅	12,9	16,5	10,9	F _φ < F _τ	F _φ < F _τ

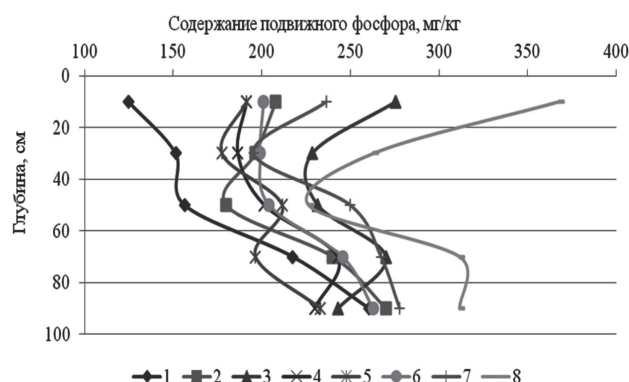
стоверные и тенденции) наблюдали до глубины 100 см. Однако сумма минеральных фосфатов достоверно возросла только в вариантах с органической системой удобрений, NPK эквивалентно навозу 20 т/га в год и навоз 20 т/га в год + NPK в эквивалентном количестве. Изменения в основном затронули пахотный слой почвы, отмечено увеличение суммы минеральных фосфатов, по сравнению с контролем, на 11-31 %. Максимальное в опыте повышение отмечено при внесении навоза 20 т/га в год + NPK в эквивалентном количестве. В этом варианте, а также при внесении 20 т/га навоза в год увеличение суммы минеральных фосфатов наблюдали до глубины 60 см. Причем остаточный фосфор удобрения (расчёты проведены разностным методом, по сравнению с контролем) распределился в основном между фракциями Fe-P и Ca-P_I.

Перемещение фосфора вниз по профилю в первую очередь связывают с интенсивным и систематическим применением удобрений [16, 17, 18]. Отмечено [19, 20], что в кислых почвах при повышенной фосфатной нагрузке образуются соединения этого элемента, связанные с железом и алюминием, обладающие повышенной миграционной способностью. По данным [21], анионы фосфорных удобрений (суперфосфата) оказывают разрушающее воздействие на находящиеся с ними в контакте глинистые минералы, происходит деструктирование слоистых силикатов и образование более мобильных металлоорганических соединений фосфора.

В пахотном слое почвы установлена достоверная сильная прямая связь количества Ca-P_I с содержанием органического вещества ($r=0,87$), средняя с величиной показателя pH_{KCl} ($r=0,48$) и суммой обменных оснований ($r=0,58$). Отмечена средняя корреляция содержания Ca-P_{II} с величиной pH_{KCl} ($r=0,62$) и количеством органического вещества ($r=0,32$), а также между концентрацией Fe-P и содержанием органического вещества ($r=0,56$). Для фракций Al-P и Ca-P_{III} достоверные корреляционные связи с основными агрохимическими показателями не выявлены.

Считается, что соотношение суммы фосфатов кальция (Ca-P_I + Ca-P_{II}) и суммы фосфатов полуторных оксидов (Al-P + Fe-P) отражает особенности фосфатного режима почвы, чем оно больше, тем доступнее фосфор растениям [22]. По результатам наших исследований величина этого показателя в пахотном слое в контрольном варианте составляла 0,38 и увеличивалась вниз по профилю до 0,51 (80-100 см). Применение органической и органо-минеральной систем удобрения повышало соотношение фосфатов кальция к фосфатам полуторных оксидов в пахотном слое почвы до 0,44-0,49. При внесении только минеральных удобрений оно не изменилось. Внесение 20 т/га навоза в год привело к увеличению указанного соотношения в слоях почвы 20-40 и 40-60 см. В остальных вариантах с глубиной наблюдали снижение его величины, по сравнению с контрольным вариантом, до 0,34-0,43 (слой 80-100 см). Максимальным в опыте оно было при внесении NPK эквивалентно 20 т/га навоза в год.

Применение удобрений в первую очередь увеличивает содержание подвижных форм фосфора в почве. В опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Долгопрудной агрохимической опытной станции, проводимом с 1993 г., количество валового фосфора в неудобренной почве составило 780 мг/кг, подвижного (по Кирсанову) – 77 мг/кг. Систематическое внесение удобрений привело к росту величин этих показателей



Влияние систем удобрения на содержание подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве по профилю:
 1 – без удобрений (контроль), 2 – навоз 10 т/га в год, 3 – навоз 20 т/га в год, 4 – NPK эквивалентно навозу 10 т/га в год, 5 – NPK эквивалентно навозу 20 т/га в год, 6 – навоз 5 т/га в год + NPK эквивалентно навозу, 7 – навоз 10 т/га в год + NPK эквивалентно навозу, 8 – навоз 20 т/га в год + NPK эквивалентно навозу.

соответственно до 960 мг/кг и 190-240 мг/кг [23]. Таким образом, относительное повышение содержания подвижных форм элемента, по сравнению с увеличением валового количества, более значительно.

По результатам наших исследований применение органической, минеральной и органо-минеральной систем удобрения в течение четырёх ротаций полевого восьмипольного севооборота достоверно повышало содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы в 1,5-2,9 раза (см. рисунок). По обеспеченности подвижными формами этого элемента почва перешла из IV (повышенное содержание) в V и VI (высокое и очень высокое содержание) группы.

Увеличение содержания подвижного фосфора отмечали до глубины 60 см или 80 см в зависимости от системы и насыщенности пашни удобрениями. В варианте с максимальной в опыте насыщенностью удобрениями (навоз 20 т/га в год + NPK в эквивалентном количестве) повышение обеспеченности подвижным фосфором наблюдали по всему метровому слою. Длительное (в течение 30 лет) внесение удобрений увеличивало запасы подвижного фосфора в пахотном слое почвы на 0,2-0,6 т/га, в метровом слое – на 0,2-1,5 т/га (табл. 2).

Табл. 2. Влияние систем удобрений на запасы подвижного фосфора дерново-подзолистой почвы, т/га

Вариант	Слой почвы, см		
	0-20	0-40	0-100
Без удобрений (контроль)	0,3	0,7	2,4
Навоз 10 т/га	0,5	1,1	2,9
Навоз 20 т/га	0,7	1,3	3,2
NPK экв. 10 т навоза	0,5	1,0	2,7
NPK экв. 20 т навоза	0,5	1,0	2,6
Навоз 5 т + NPK экв. 5 т	0,5	1,0	2,9
Навоз 10 т + NPK экв. 10 т	0,6	1,1	3,2
Навоз 20 т + NPK экв. 20 т	0,9	1,6	3,9
HCP ₀₅	0,1	0,1	0,1

Табл. 3. Влияние систем удобрения на продуктивность севооборота и баланс фосфора за I-IV ротации

Вариант	Продуктивность севооборота, тыс. корм. ед./га в год	Поступило с удобрениями P_2O_5 , кг/га	Вынос урожаем, кг/га	Баланс, кг/га в год	Интенсивность баланса, %
Без удобрений (контроль)	2,89	0	442	-55	-
Навоз 10 т/га	3,30	655	507	+18	129
Навоз 20 т/га	3,32	1310	575	+92	228
НРК экв. 10 т навоза	3,55	655	512	+18	128
НРК экв. 20 т навоза	3,73	1310	544	+96	241
Навоз 5 т + НРК экв. 5 т	3,46	655	530	+16	124
Навоз 10 т + НРК экв. 10 т	3,58	1310	558	+94	235
Навоз 20 т + НРК экв. 20 т	3,63	2620	575	+256	456
НСР ₀₅	0,17	-	-	-	-

В пахотном слое почвы установлена достоверная сильная прямая корреляционная связь между содержанием подвижного фосфора и количеством органического вещества ($r=0,78$), средняя с величиной показателя pH_{KCl} ($r=0,37$) и суммой обменных оснований ($r=0,45$).

Применение всех систем удобрения обеспечило достоверное увеличение продуктивности полевого севооборота на 17-39 % (табл. 3). При использовании минеральной и органо-минеральной систем она была выше, чем при органической. Во всех вариантах сложился близкий к нулевому или положительный баланс фосфора. Наиболее интенсивным он был при внесении 20 т/га навоз в год в сочетании с НРК в эквивалентном количестве. Показатели хозяйственного баланса согласуются с изменениями содержания подвижного фосфора и его фракционно-группового состава. В варианте с наибольшей интенсивностью баланса отмечено максимальное увеличение содержания подвижного фосфора, суммы минеральных фосфатов, Са-Р_I и Fe-Р, как в верхнем слое почвы, так и на глубине 40-60, 60-80 и 80-100 см в зависимости от показателя.

Таким образом, в составе минеральных фосфатов в пахотном слое дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в контрольном варианте преобладали Fe-Р (45 %) и Са-Р (42 %). Среди фосфатов кальция половина приходилась на подвижные и более доступные для растений фракции Са-Р_I и Са-Р_{II}. Доля Al-Р и Fe-Р с глубиной по профилю почвы снижалась, Са-Р_I и Са-Р_{II} увеличивались, Са-Р_{III} не изменялась. Внесение навоза КРС (насыщенность пашни 10 и 20 т/га), НРК эквивалентно навозу 20 т/га в год и навоза 20 т/га в год в сочетании с эквивалентным количеством НРК достоверно повышало содержания минеральных фосфатов в почве. При высокой насыщенности пашни органическими и минеральными удобрениями (навоз 20 т/га в год, навоз 20 т/га в год + НРК в эквивалентном количестве) увеличение суммы минеральных фосфатов наблюдали до глубины 60 см. При использовании изучаемых систем удобрений отмечено достоверное увеличение содержания в почве самой подвижной фракции фосфатов кальция Са-Р_I (до глубины 60 см) и Fe-Р (в метровом слое), наблюдали тенденции снижения Са-Р_{II} и Al-Р (в метровом слое). Применение всех систем удобрения достоверно повышало содержание подвижного фосфора в пахотном слое почвы со 125 мг/кг до 192-368 мг/кг. Рост величины этого показателя отмечали до глубины 60, 80 и 100 см в зависимости от системы и насыщенности пашни удобрениями. Максимальное в опыте

влияние на показатели фосфатного режима почвы наблюдали при внесении навоза 20 т/га в год в сочетании с эквивалентным количеством НРК. Изменения фракционного состава фосфатов и содержания подвижного фосфора в почве согласуются со сложившимся балансом этого элемента.

Литература.

1. Андрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистой почвы в разных системах удобрений. М.: ВНИИА, 2004. 296 с.
2. Титова В.И., Шафронов О.Д., Варламова Л.Д. Фосфор в земледелии Нижегородской области. Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. 219 с.
3. Сычёв В.Г., Кирпичников Н.А. Приёмы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях. М.: ВНИИА, 2009. 176 с.
4. Калинин А.И. Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и продуктивность растений. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2004. 220 с.
5. Комплекс технологических, агрохимических и биологических воздействий на фосфатный режим почв и продуктивность земледелия / А.Л. Иванов, В.Г. Сычев, Л.М. Державин и др. // Плодородие 2009. №1. С.4-7.
6. Кайгородов А.Т., Пискунова Н.И. Современное состояние почвенного плодородия пахотных земель Пермского края // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т.31. №4. С. 22-26.
7. Сычёв В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почвы России и пути его регулирования // Плодородие. 2020. №6. С. 3-13.
8. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Влияние уровней применения фосфорных удобрений на фосфатный режим почвы в севообороте // Вестник АПК Ставрополя. 2016. №4. С. 152-156.
9. Лыскова И.В., Рылова О.Н., Веселкова Н.А., Лыскова Т.В. Влияние удобрений и извести на агрохимические показатели и фосфатный режим дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015. №2(45). С.27-32.
10. Володина Т.И., Макарова А.И. Влияние систем удобрения на содержание подвижного фосфора и обменного калия в дерново-слабоподзолистой почве // Агрохимия. 2010. №9. С. 31-35.
11. Гинзбург К.Е., Лебедева Л.С. Методика определения минеральных форм фосфатов почвы // Агрохимия. 1971. №1. С.125-136.

12. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие / под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 639 с.
13. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 244 с.
14. Самофалова И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород. Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. 130 с.
15. Кудярова А.Ю. Фосфатогенная трансформация почв. М.: Наука, 1995. 288 с.
16. Ciapparelli I.C., de Iorio A.F., Garcia A.R. Phosphorus downward movement in soil highly charged with cattle manure // *Environmental earth sciences*. 2016. Vol. 75. No. 7. P. 568. doi: 10.1007/s12665-016-5284-3.
17. Фосфатный режим длительно орошаемой лугово-чернозёмной почвы в лесостепи Западной Сибири / В.С. Бойко, С.П. Гавар, Е.Н. Морозова и др. // *Агрохимия*. 2015. №3. С. 10–16.
18. Шустикова Е.П., Шаповалова Н.Н. Азотный режим чернозема обыкновенного и продуктивность сельскохозяйственных культур в последствии различных доз азотных удобрений // *Агрохимия*. 2014. № 2. С. 20–25.
19. Кудярова А.Ю., Алексеева Т.В. Трансформация соединений Al и Fe при зафосфачивании кислых почв как фактор, определяющий миграцию фосфора // *Агрохимия*. 2012. №2. С.25–36.
20. Kudyarova A.Y. Changes in the system of chemical bonds in gibbsite under the impact of $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ solutions of different concentrations // *Eurasian Soil Science*. 2016. Vol.49. P. 519–528.
21. Chizhikova N.P., Godunova E.I., Kubashev S.K. Changes in clay minerals of vertic chernozems under the impact of different ameliorants in a model experiment // *Eurasian Soil Science*. 2008. Vol.41. P. 1124–1134. doi: 10.1134/S1064229308100153.
22. Ubugunov L.L., Merkusheva M.G., Enkhtuyaa B. The content of available mineral phosphorus compounds in chestnut soils of Northern Mongolia upon application of different forms of phosphorite // *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. No. 6. P. 634–642. doi: 10.1134/S1064229315060113.
23. Гладкова К.Ф. Действие длительного внесения удобрений на накопление в дерново-подзолистой почве запасов усвояемых фосфора и калия // *Фосфорные удобрения и питание растений*. М.: Изд-во с. х. лит-ры, журналов и плакатов, 1963. С. 75–88.

Поступила в редакцию 25.11.2020

После доработки 14.01.2021

Принята к публикации 27.02.2021

ВЛИЯНИЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА АГРОЛАНДШАФТА

О.Н. Бахмет, член-корреспондент РАН,
А.Н. Солодовников, кандидат биологических наук,
Е.В. Дубина-Чехович, аспирант

Федеральный исследовательский центр Карельский научный центр Российской академии наук,
185035, Республика Карелия, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11
E-mail: d-chehovich@yandex.ru

При оценке экологического состояния сельскохозяйственных угодий вблизи горнодобывающего производства и автомобильной трассы определена среднесуточная пылевая нагрузка и химический состав снежного покрова осушенных земель. Снежные осадки как корректный индикатор аэротехногенных выпадений, формирующиеся в условиях влияния горного карьера, в отличие от воздействия автотранспорта, классифицированы как загрязненные. На фоне очень высокой среднесуточной пылевой нагрузки (от 473,6 до 2101,9 кг/км²) уровень химического загрязнения вблизи карьера остается низким (Zc – 35,5–62,7). Аккумуляция ряда элементов (Al, Mg, Ca, Fe, Mn, Pb) происходит неравномерно и превышает фоновые показатели в 2–20, а ПДК – в 2–3 раза. Вблизи автотрассы содержание Cr, Al, Mg, Pb, Ca, Co, Ni, Fe в снеге выше фоновых показателей в 2–4 раза, загрязнение распространяется на расстояние более 80 м. В зависимости от вида техногенного влияния установлены различные ряды преимущественного накопления макро- и микроэлементов в снежном покрове: карьер – Al>Mn>Mg>Ca>Fe, автотрасса – Cr>Al>Mg>Pb>Ca>Co. Отмечены разнонаправленные тенденции поступления загрязнителей с поверхностными водами в верхние горизонты почв сельхозугодий в зависимости от физических свойств почв и технических особенностей обустройства мелиоративной сети.

INFLUENCE OF AERIAL TECHNOGENIC POLLUTION ON ELEMENTAL COMPOSITION OF SNOW COVER OF AN AGROLANDSCAPE

Bakhmet O.N., Solodovnikov A.N., Dubina-Chekhovich E.V.

Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
185035, Respublika Kareliya, Petrozavodsk, ul. Pushkinskaya
E-mail: d-chehovich@yandex.ru

To estimate the ecological state of agricultural lands near mining company and automobile road a daily dust load and elemental composition of snow cover of meliorated lands was determined. Snow precipitation as a correct indicator of aerial technogenic fallout, forming under influence of a mining company as opposed to influence of motor transport were classified as polluted. Against a very high daily dust load (from 473,6 to 2101,9 kilos per square kilometer) the level of chemical pollution near a mining company is low (Zc – 35,5 – 62,7). Accumulation of some of elements (Al, Mg, Ca, Fe, Mn, Pb) goes unequally and exceed standard indicators 2–20 times as well as MPC 2–3 times. Close to an automobile road the concentration of Cr, Al, Mg, Pb, Ca, Co, Ni, Fe in snow is 2–4 times higher than standard indicators and extends for more than 80 meters range. Depending on type of technogenic influence different rows of predominant accumulation of macro- and microelements in snow cover were determined: mining company - Al>Mn>Mg>Ca>Fe, automobile road - Cr>Al>Mg>Pb>Ca>Co. Multidirectional trends of intake of pollutants with superficial water into upper horizon of agricultural soils were observed. They depend on physical characteristics of soils and technical properties of arrangement of melioration network.

Ключевые слова: агроландшафт, мелиорация, загрязнение, снежный покров, макро- и микроэлементы, горная компания, автомобильный транспорт, пылевая нагрузка

Key words: agrolandscape, melioration, pollution, snow cover, macro- and microelements, mining company, motor transport, dust load

Одна из основ обеспечения продовольственной безопасности и стабильности сельскохозяйственного производства – мелиорируемые угодья. В результате организационно-экономических преобразований агропромышленного комплекса, увеличения антропогенной нагрузки на фоне отсутствия систематических мероприятий по уходу за мелиоративными системами возникает необходимость в оценке экологического состояния осушенных земель.

В 2018 г. в Карелии из 76890 га в хорошем состоянии (согласно ГОСТ Р 58376-2019) находилось только 16 % (12440 га) земель. Низкая мелиоративная обустроенность, неудовлетворительное культуртехническое состояние и невысокое почвенное плодородие характерно для – 35 % (26960 га) угодий [1, 2]. На фоне постоянных выбросов автомобильного и железнодорожного транспорта, а также в результате интенсификации горнодобывающего и перерабатывающего производства возросла и техногенная нагрузка на осушенные сельскохозяйственные угодья.

Специфику распространения загрязнения по площади агроландшафта определяют, как природно-климатические факторы, так и особенности техногенного воздействия [3]. Масштабы аэротехногенного влияния на сельхозугодья могут быть недооценены, особенно в условиях локального промышленного производства [4, 5]. Организованный сток загрязненных природных вод по системе каналов открытой осушительной сети может охватывать неподверженные воздушному пылевому воздействию территории мелиорированных земель и прилегающие водные объекты.

В антропогенно изменённых экосистемах нарушаются сложившиеся в естественных условиях геохимические потоки макро- и микроэлементов, в биологический круговорот включаются повышенные концентрации различных веществ [6]. В результате аэротехногенного загрязнения изменяются свойства почв агроценозов, кислотность, состав почвенного поглощающего комплекса, водно-воздушный режим. Это влечет за собой снижение устойчивости почв к загрязнению [7], по-

вреждение сельскохозяйственных растений, и, следовательно, снижение их урожайности.

Один из эффективных и экономичных способов сбора данных о поступлении загрязняющих веществ из атмосферы в почву и природные воды [8] – исследование химического состава снежного покрова. В Карелии, относящейся к зоне избыточного увлажнения, за холодный период (ноябрь – апрель) выпадает 150–350 мм осадков. Нужно отметить, что в условиях климатических преобразований за последние десятилетия отмечена положительная динамика изменения основных характеристик режима выпадения атмосферных осадков (жидких, твердых, смешанных). Средние за 1991–2013 гг. годовые суммы превышают климатические нормы (550–750 мм [9]) на 20–70 мм, происходит увеличение интенсивности осадков во все сезоны года [10].

Снежный покров в регионе сохраняется в течение продолжительного времени. В таких климатических условиях он становится корректным индикатором аэротехногенных выпадений в зимний период.

Снег обладает высокой сорбционной способностью. Он фактически аккумулирует и сохраняет в себе все загрязняющие атмосферу компоненты. Химический состав талого снега формируется в результате поступления с осадками различных минеральных элементов, поглощения газов, водорастворимых аэрозолей и твердых пылевых частиц, оседающих из атмосферы [8, 11].

Цель исследований – оценка уровня загрязнения мелиорированного агроландшафта в зоне аэротехногенного воздействия (автомобильного транспорта и горнодобывающего карьера) путем определения пылевой нагрузки и изучения химического состава снежного покрова.

Методика. Работу проводили в 2018–2019 гг. на мелиорированных сельскохозяйственных угодьях вблизи горнодобывающего карьера (61°51'54"с.ш., 33°52'12"в.д.) и автомобильной дороги (61°83'24"с.ш., 34°20'53"в.д.). Фоновая пробная площадь находилась вдали от техногенного воздействия, но, как и площади с антропогенным влиянием, расположена в южной агроклиматической зоне Карелии [12].

Влияние *горнодобывающего производства* на сельскохозяйственные угодья, осушенные открытой сетью

каналов (протяженность 55 км), оценивали на объекте, примыкающем к месторождению габбро-диабазов. Карьер разрабатывается с 2008 г. и занимает площадь 200 га. В нем расположены открытые участки дробления и отсева на фракции; ведутся погрузочно-разгрузочные работы. Производственный комплекс не оборудован средствами пылеподавления, что определяет высокую запыленность территории карьера и прилегающих осушенных земель. Почвенный покров сельскохозяйственных угодий вокруг карьера представлен средне-мощными торфяно-перегнойными низинными болотными почвами.

Образцы снежного покрова для проведения исследований отбирали по окончании снегостава с учетом преобладающих ветров по градиенту 100, 200, 300, 400 и 500 м от горнодобывающего карьера.

Изучение влияния *автомобильного транспорта* на сельскохозяйственные угодья (протяженность открытой сети каналов 86 км), проводили на мелиоративном объекте, примыкающем к федеральной трассе Р-21. Поступление аэротехногенной пыли не преграждалось древесно-кустарниковой растительностью. Образцы снега отбирали по градиенту 20, 30, 40, 60, 80 и 100 м от автомобильной дороги. Почвенный покров сельскохозяйственных угодий представлен дерново-подзолистыми глееватыми супесчаными почвами.

Пробоотбор снежной массы проводили в трехкратной повторности в соответствии с РД 52.04.186-89. Продолжительность снегостава в зимний период 2018–2019 гг. для всех объектов исследования составила 141 день.

При изучении снежного покрова определяли среднесуточную пылевую нагрузку на сельскохозяйственные угодья, а также концентрацию макро- и микроэлементов в талой снежной массе. В отфильтрованной талой воде измеряли реакцию среды и содержание следующих элементов – Ni, Zn, Co, Cu, Cr, Pb, Mn, Fe, Ca, Mg (на атомно-абсорбционных спектрофотометрах AA-6800 и AA-7000, Shimadzu, Япония). Полученные показатели соотносили с фоновым содержанием химических веществ в атмосферных осадках, отобранных вдали от техногенного влияния, и ПДК. Кроме того, был проведен расчет коэффициента концентрации (Кк) и суммарной концентрации (Zc) химических веществ в снежном покрове.

Табл. 1. Химический состав снежного покрова сельскохозяйственных угодий вблизи горнодобывающего карьера, мкг/л

Элемент	Расстояние от источника загрязнения, м					Фон	ПДК
	100	200	300	400	500		
Ca	7670,0 ± 707,6*	7955,7 ± 997,2*	6336,3 ± 362,0*	6541,4 ± 1665,1*	3518,2 ± 413,7*	883,3	н. д.**
Mg	1391,8 ± 32,9*	1338,0 ± 192,3*	1500,4 ± 431,2*	1422,9 ± 533,9*	666,9 ± 114,9*	154,6	н. д.
Al	88,5 ± 20,0*	64,9 ± 19,4*	80,0 ± 21,1*	27,7 ± 16,6	83,2 ± 35,3*	4,1	40
Fe	197,6 ± 107,3	149,8 ± 58,1*	236,9 ± 22,7*	50,9 ± 25,0	263,9 ± 112,4*	25,8	100
Mn	21,4 ± 9,1	16,1 ± 7,6	22,4 ± 5,0*	15,4 ± 4,04	19,1 ± 7,6	9,0	10
Zn	3,3 ± 1,9	2,1 ± 1,8	4,7 ± 1,0	2,8 ± 0,4	3,2 ± 1,8	5,2	10
Co	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,6 ± 0,2	0,6 ± 0,2	0,7 ± 0,1	0,5	10
Ni	0,6 ± 0,5	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,04	0,7 ± 0,4	1,0 ± 0,3	0,8	10
Cu	1,1 ± 1,3	0,3 ± 0,4	0,4 ± 0,2	0,9 ± 0,04	0,6 ± 0,3	0,7	1
Cr	0,2 ± 0,2	0,2 ± 0,04	0,2 ± 0,2	0,1 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,3	20
Pb	1,0 ± 1,1	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,5	0,4 ± 0,5	0,2 ± 0,1*	0,5	100

± – (здесь и далее) стандартное отклонение; * (здесь и далее) достоверно значимые различия ($p < 0,05$), по отношению к фоновым значениям; ** (здесь и далее) н.д. – нет данных

Табл. 2. Загрязнение снега на мелиорированных агроландшафтах вблизи горнодобывающего карьера и автомобильной трассы

Расстояние от источника загрязнения, м	Пылевое загрязнение		Химическое загрязнение		
	выпадение пыли, кг/км ²	уровень среднесуточной пылевой нагрузки [13]	Zc	ряды накопления элементов ¹	уровень загрязнения [13]
Горный карьер	100	2101,9 ± 69,2*	очень высокий	62,7	низкий
	200	1787,4 ± 39,5*	очень высокий	49,8	низкий
	300	1187,1 ± 123,6*	очень высокий	63,0	низкий
	400	634,8 ± 69,7*	высокий	35,5	низкий
	500	473,6 ± 63,1*	высокий	52,8	низкий
Автомобильная трасса	20	59,2 ± 11,0*		24,6	
	30	21,4 ± 10,9*		15,8	
	40	21,1 ± 9,5*	значения не достигают критических показателей	17,3	значения не достигают критических показателей
	60	12,3 ± 5,4*		13,1	
	80	7,3 ± 4,2		13,6	
	100	6,5 ± 1,7		18,0	

¹загрязнители, коэффициент концентрации которых больше 2

Результаты и обсуждение. Твердый осадок снежного покрова во всех пробах состоял из природных частиц (фрагментов растительных органов кормовых трав, листьев березы, а также хвои и коры деревьев), удаленных при пробоподготовке, образцы снега на загрязненных участках содержали еще мелкодисперсную пыль темно-серого цвета.

Средняя кислотность талой снеговой массы возле карьера составляла 7,1-7,5 ед. pH, рядом с автомобильной дорогой – 6,6-7,7 ед. pH. Это указывает на процесс подщелачивания и нетипично для атмосферных осадков (снега) в целом по Карелии (среднее значение – 5,9) [8].

По данным лабораторного анализа накопление химических элементов в пробах снега под влиянием *горнодобывающего карьера* происходит неравномерно по градиенту удаленности и превышает как фоновые показатели в 2-20 раз (Al, Mg, Ca, Fe, Mn, Pb), так и ПДК (Al, Fe, Mn) – в 2-3 раза. Содержание Cu, Co, Ni, Cr, Zn сопоставимо с критическими значениями (ПДК, фон) или меньше их (табл. 1).

Коэффициенты суммарной концентрации (Zc) загрязнения снежных осадков поллютантами варьируют (табл. 2), но на всех пробных площадях отмечен низкий уровень общего химического загрязнения.

Анализ закономерностей изменения пылевой нагрузки свидетельствует о постепенном ее снижении от границ карьера до 500 м, однако все показатели соответствуют очень высокому и высокому уровням загрязнения (см. табл. 2, рис 1а). Изменение содержания макро- и микроэлементов в снеговом покрове не имело такой же направленности.

Важно отметить, что особенности аккумуляции поллютантов в снежном покрове вблизи горного карьера отличались от их накопления в верхнем горизонте почвы на пробных площадях (рис. 2а), что обусловлено физическими свойствами торфяных почв и техническими параметрами осушительной сети: высокое влагонасыщение в осенний период и, соответственно, более позднее оттаивание, по сравнению с минеральными почвами, в весенний период [14]. Частая сеть открытых каналов (через каждый 30 м), а также выпуклая профилировка торфяных карт способствуют миграции загрязненных талых снежных вод не вниз по почвенному профилю, а в каналы осушительной сети.

Немалую роль в распространении загрязнения в этом агроландшафте играет микрорельеф территории (в первую очередь особенности зарастания кустарниковой и древесной растительностью открытых каналов). Специфика технологического процесса горнодобывающего и перерабатывающего производства также связана с образованием и дальнейшей седиментацией на разном удалении от источника загрязнения неоднородных по свойствам, химическому и дисперсному со-

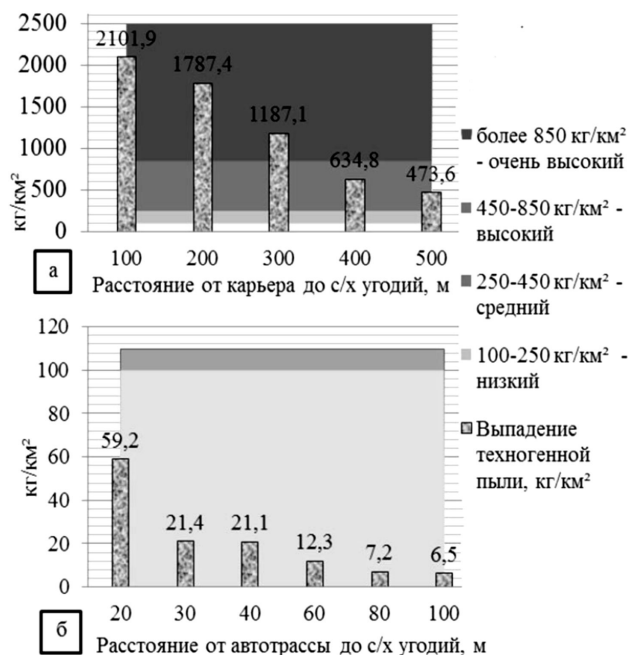


Рис. 1. Уровни пылевого загрязнения и пылевая нагрузка на осушенные сельскохозяйственные угодья вблизи горнодобывающего карьера (а) и автодороги (б), кг/км².

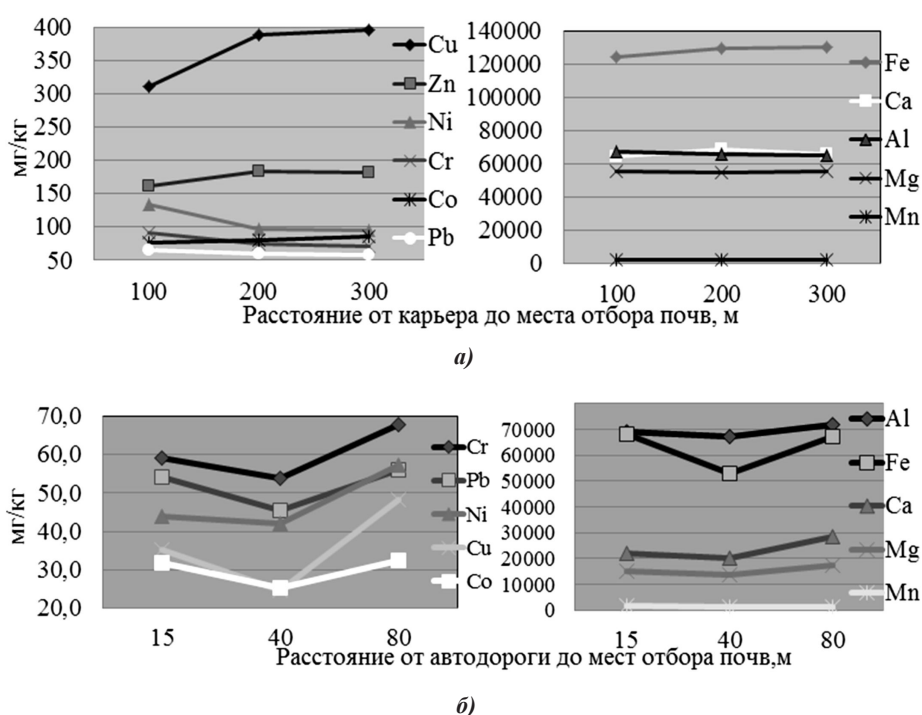


Рис. 2. Динамика накопления макро- и микроэлементов в верхнем горизонте (Ad) почв сельскохозяйственных угодий, мг/кг: а) вблизи горнодобывающего карьера; б) прилегающих к автодороге.

ставу пылевых частиц в результате дробления горной породы на фракции разного размера.

В отличие от плавного снижения пылевой нагрузки, накопление химических элементов в снегу по мере удаления от *автомобильной дороги* сначала постепенно снижается, а на расстоянии 100 м от трассы вновь возрастает, что, вероятно, связано с распространением загрязнения в виде аэрозолей.

Показатели пылевого и химического загрязнения рядом с этим объектом не достигают критических значений (см. табл. 2, рис. 1б). Однако по результатам химического анализа содержание Cr, Al, Mg, Pb, Ca, Co, Ni, Fe в снегу превышает фоновые показатели в 2-4 раза, накопление Zn, Mn, Cu приближено к фоновому уровню (табл. 2б).

По мере удаления от автодороги (до 40 м) отмечается снижение содержания поллютантов в почвах, что коррелирует с уменьшением пылевой и химической нагрузки в целом. Однако на расстоянии 60-100 м от дорожного полотна, концентрация загрязнителей вновь возрастает (рис. 3).

Результаты нашего исследования снежного покрова вблизи автодорог согласуются с литературными данными [7, 15, 16] по изучению аккумуляции загрязнителей в снегу и почвах сельскохозяйственных угодий. Основная часть загрязнителей оседает в почвах придорожной территории до 20 м от автодороги, но вследствие высокой дисперсности частиц поллютанты разносятся на большие расстояния от дорожного полотна.

Табл. 3. Химический состав снежного покрова придорожной полосы сельскохозяйственных угодий, мкг/л

Элемент	Расстояние от источника загрязнения, м						Фон	ПДК
	20	30	40	60	80	100		
Ca	2 898,8* ± 626,3	619,9 ± 222,8	1 292,6 ± 640,5	1 212,1 ± 273,1	1 085,0 ± 364,8	1 482,2 ± 456,3	883,3	н. д.**
Mg	583,5* ± 291,7	227,4 ± 67,9	335,3 ± 125,3	256,4 ± 229,3	178,6 ± 155,0	363,2 ± 246,8	154,6	н. д.
Al	6,7 ± 9,8	4,3 ± 2,5	4,2 ± 1,6	5,7 ± 2,7	4,7 ± 0,8	18,6 ± 1,2	4,1	40,0
Fe	15,3 ± 3,1	32,9 ± 29,7	49,0 ± 7,2	40,9 ± 24,0	54,9 ± 4,3	23,0 ± 3,3	25,8	100,0
Mn	10,5 ± 4,1	11,7 ± 1,5	6,3 ± 4,4	11,8 ± 2,1	9,0 ± 3,9	12,0 ± 2,6	9,0	10,0
Zn	3,6 ± 1,8	4,0 ± 2,7	3,8 ± 2,8	4,7 ± 1,0	6,6 ± 0,6	7,0 ± 1,1	5,2	10,0
Co	0,4 ± 0,3*	0,7 ± 0,4	1,0 ± 0,4	1,2 ± 0,4*	1,0 ± 0,2	1,1 ± 0,1*	0,5	10,0
Ni	0,2 ± 0,6	0,5 ± 0,7	0,8 ± 0,1	0,4 ± 0,2	1,7 ± 0,2	2,0 ± 0,1	0,8	10,0
Cu	0,1 ± 0,5	0,1 ± 1,4	< 0,1	< 0,1	1,5 ± 0,04	0,4 ± 0,03	0,7	1,0
Cr	0,7 ± 0,5	0,6 ± 0,3	0,7 ± 0,4*	0,9 ± 0,2*	0,6 ± 0,2	1,2 ± 0,3*	0,3	20,0
Pb	1,1 ± 0,2*	0,5 ± 0,8	1,7 ± 0,2*	0,6 ± 0,2	1,5 ± 0,3	0,8 ± 0,03	0,5	100,0

Таким образом, снежные осадки, формирующиеся в условиях влияния горного карьера, в отличие от воздействия автотранспорта, классифицированы как загрязненные. На фоне очень высокой среднесуточной пылевой нагрузки уровень химического загрязнения вблизи карьера остается низким. Аккумуляция поллютантов происходит неравномерно и превышает фоновые показатели в 2-20 раз, ПДК – в 2-3 раза. Вблизи автотрассы содержание загрязнителей в снеге выше фоновых показателей в 2-4 раза и распространяется на расстояние больше 80 м.

В зависимости от вида техногенного влияния установлены различные ряды преимущественного накопления макро- и микроэлементов в снежном покрове. Отмечены разнонаправленные тенденции поступления поллютантов с поверхностными водами в верхние горизонты почв сельхозугодий в зависимости от физических свойств почв и технических особенностей обустройства мелиоративной сети. Для прекращения дальнейшего загрязнения и сохранения особо ценных мелиорированных сельскохозяйственных угодий рекомендуется обустройство лесозащитных полос вдоль автомобильных трасс и пылеуловительных устройств вблизи горнодобывающих предприятий.

Литература.

1. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2018 г. / ред А. Н. Громицев, О. Л. Кузнецов, Г. Т. Шкиперова. Петрозаводск: Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия, 2019. 314 с.
2. Информационный портал ФГБНУ ВНИИ «Радуга». Показатели по оценке и учету мелиоративного состояния орошаемых сельскохозяйственных угодий и технического состояния оросительных систем. URL: <https://inform-raduga.ru/fgbu/87?report=orvalues&cur=98269> (дата обращения: 15.07.2020).
3. Soil sedimentation and quality within the roadside ditches of an agricultural watershed / M. T. Streeter, K. E. Schilling, M. St. Clair, et al. // *Science of The Total Environment*, Vol. 657. P. 1432–1440, doi:10.1016/j.scitotenv.2018.12.113
4. Ясинский С.В., Веницианов Е.В., Вишневецкая И.А. Диффузное загрязнение водных объектов и оценка выноса биогенных элементов при различных сценариях землепользования на водосборе // *Водные ресурсы*. 2019. Т. 46. № 2. С. 232–244. doi:10.31857/S0321-0596462232-244
5. Коронкевич Н. И., Долгов С. В. Сток с водосбора как источник диффузного загрязнения рек // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2017. № 4. С.103–110. doi:10.23968/2305–3488.2017.22.4.103–110
6. Овчинникова М. Ф. Особенности трансформации гумусовых веществ дерново-подзолистей почвы, нарушенной строительством трассы магистрального трубопровода // *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. 2019. № 1. С. 35–41.
7. Рудь А.В. Загрязнение тяжелыми металлами почв и растительности придорожных полос автодорог минской области // *Вестник БГУ. Сер. 2*. 2007. № 1. С. 111–115
8. Многолетний мониторинг снежного покрова в условиях природных и урбанизированных ландшафтов Москвы и Подмосковья / Л.Г. Богатырев, Н.И. Жилин, В.П. Самсонова и др. // *Вестник московского университета. Серия 5. География*. 2018. № 2, с. 85–96
9. Романов А. А. О климате Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1961. 139 с.
10. Назарова Л.Е. Атмосферные осадки в Карелии // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2015. № 9. С. 114–120, DOI: 10.17076/lim56
11. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман М.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеопиздат, 1985. 181 с.
12. Атлас Карельской АССР: учебно-справочное картографическое пособие / ред. А. Н. Трофимов и др. Л.: Ленингр. гос. ун-т, 1989. 40 с.
13. Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 319 с.
14. Инишева Л.И., Махлаев В.К. Режимы пойменных торфяников (справочное пособие). Томск: ЦНТИ, 2001. 86 с.
15. Ашиккалиев А. Х., Вильданова Л. Р., Ашиккалиева М. А. Почвенно-экологическая оценка земель сельскохозяйственного назначения степной зоны // *Естественные и технические науки*. 2017. № 12. С. 271–274.
16. Traffic-related trace elements in soils along six highway segments on the Tibetan Plateau: Influence factors and spatial variation / G. Wang, C. Zeng, F. Zhang et al. // *Science of The Total Environment*. 2017. Vol. 581–582. P. 811–821. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.018>

Поступила в редакцию 19.10.2020
После доработки 20.12.2020
Принята к публикации 24.02.2021

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

УДК 637.115

DOI:10.31857/S2500262721020113

АНАЛИЗ ЦИКЛИЧНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УКЛАДАХ НА ПРИМЕРЕ МОЛОЧНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА

Ю.Ф. Лачуга¹, академик РАН, В.В. Кирсанов², доктор технических наук

¹Российская академия наук,
119991, Москва, Ленинский просп., 32 а
E-mail: akadema1907@mail.ru

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5
E-mail: kirvv2014@mail.ru

По развитию и применению программного обеспечения и IT-технологий, созданию «умных» датчиков, следящих за развитием растений и животных, локальных метеостанций, передающих сигналы о меняющихся погодных условиях, средств робототехники и др., сельскохозяйственное производство, в целом, начинает активно осваивать 5-й и использовать отдельные элементы 6-го технологического уклада, связанные с применением нано-биотехнологий, получением растений и животных с заданными свойствами и др. Исследования проводили с целью анализа цикличности отдельных фаз развития техники и технологий в разных технологических укладах сельскохозяйственного производства. Дальнейшее развитие отрасли и, в частности, молочного животноводства должно основываться на создании высокоэффективных цифровых экологически безопасных агропредприятий при конвергенции нано-био-инфо-ко-технологий, интернета вещей, систем искусственного интеллекта. Для прогнозирования развития системы машин и агротехнологий с учетом растущего потребительского спроса на натуральную высококачественную продукцию органического земледелия и животноводства и необходимости сохранения определенного баланса в развитии различных форм хозяйствования возможно использование цикличности развития отдельных фаз и организационно-экономических форм в разных технологических укладах. На основе теоретических положений алгебры логики, на примере молочного животноводства, разработаны математические модели основных вариантов перехода от механизированных технологий обслуживания животных к роботизированным. При функциональной модернизации агротехнологий во избежание их повышенной капиталоемкости и частой внутриукладной смены целесообразно использование принципа аддитивности с поэтапным наложением на индустриальную основу (тракторы, сельхозмашины, доильные установки и др.) инфо-коммуникационной составляющей и систем биосенсорики.

ANALYSIS OF THE CYCLICAL DEVELOPMENT OF EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES IN VARIOUS TECHNOLOGICAL STRUCTURES ON THE EXAMPLE OF DAIRY FARMING

Lachuga Y.F.¹, Kirsanov V.V.²

¹Russian Academy of Sciences,
119991, Moskva, Leninskii prosp., 32 a,
E-mail: akadema1907@mail.ru

²Federal agricultural research centre VIM,
109428, Moskva, 1-i Institutskii proezd, 5
E-mail: kirvv2014@mail.ru

In the development and application of software and IT technologies, the creation of «smart» sensors that monitor the development of plants and animals, local weather stations that transmit signals about changing weather conditions, robotics, etc., agricultural production, in general, is beginning to actively master the 5th and use individual elements of the 6th technological order associated with the use of nano-biotechnologies, obtaining plants and animals with specified properties, etc. The research was carried out in order to analyze the cyclical nature of individual phases of the development of equipment and technologies in different technological structures on the example of agricultural production. Further development of agriculture and, in particular, dairy farming will be based on the principles of convergence of nano-bio-info-co-technologies, the Internet of Things, the introduction of artificial intelligence systems in the creation of highly efficient digital environmentally friendly agricultural enterprises. Too difficult to understand a sentence, break it, please, a few shorter Analyzed and suggested the use of the cyclical development of the individual phases and organizational and economic forms in various technological structures to predict the development of machines and technologies with the growing consumer demand for high-quality natural organic products and livestock with the need to maintain a certain balance in the development of various forms of management. On the basis of the theoretical provisions of the algebra of logic, on the example of dairy farming, we obtained the dependences of the duration of the cycles of inter- and intra-stage phase development of individual organizational and economic forms in different technological structures, developed mathematical models of the main options for the transition from mechanized animal service technologies to robotic ones. In summary it is necessary to transfer the done actions, and to demonstrate the results obtained In functional upgrading technologies it is advisable to use the principle of additivity in order to avoid high capital intensity and frequent vnutriklubnoy change with the gradual imposition on an industrial basis (tractors, farm machinery, milking machines, etc.) info-communications components and systems for biosensors.

Ключевые слова: технологический уклад, организационно-экономические формы, фазы развития, междуукладные и внутриукладные циклы, молочное животноводство, инфо-коммуникационные технологии, автоматизация, роботизация, алгебра логики

Key words: technological structure, organizational and economic forms, phases of development, inter- and intra-layer cycles, dairy farming, information and communication technologies, automation, robotics, logic algebra

Развития техники и технологий в сельском хозяйстве тесно связано с общим развитием экономики и ее технологических укладов. Доиндустриальные уклады, базировавшиеся исключительно на мускульной, ручной и конной энергетике, постепенно изменялись в направлении роста энерговооруженности и совершенствования процессов: рычаг, колесо, меха в кузнице и др. [1]. Русский ученый-экономист Н.Д. Кондратьев первым обосновал существование периодических циклов сменяющихся подъёмов и спадов современной мировой экономики продолжительностью 48-55 лет [2], связанных с появлением новых прорывных технологий и изобретений. Однако сам термин «технологический уклад» был предложен позже в работе Д. С. Львова и С. Ю. Глазьева, опубликованной в 1986 г. [3]. Результаты анализа свидетельствуют, что к 2010 г. доля производительных сил пятого технологического уклада в наиболее развитых странах составила примерно 60 %, четвёртого – 20 % и шестого – около 5 %. По расчётам учёных, шестой технологический уклад в этих странах фактически наступил в 2014–2018 гг. Крупнейшие компьютерные, автомобильные и фармакологические компании выделяют огромные средства на развитие технологий. Именно эти отрасли будут главной движущей силой 6-го уклада. Лидируют по инвестициям в технологии на сегодняшний день компании США и Европы: Amazon, Intel, Samsung, Volkswagen, Apple, Microsoft. Из российских компаний в технологии 6-го уклада, в рамках которого предполагается прежде всего развитие нано- и биотехнологий, что создаёт дополнительные возможности для модернизации информационно-коммуникационной инфраструктуры, инвестируют только Газпром и Яндекс. Меняются и технологии производства: аддитивные технологии переходят на наноуровень к созданию наномашин и освоению технологий молекулярной сборки («нанороботехника»). Нано- и био- направления стремятся к сближению до практически полного слияния [4].

Четкого анализа ситуации в сельском хозяйстве пока нет, но судя по развитию и применению программного обеспечения и IT-технологий, созданию «умных» датчиков, следящих за развитием растений и животных, средств робототехники и др., в аграрном секторе в целом начинают активно осваивать 5-й и использовать отдельные элементы 6-го технологического уклада, связанные с применением нано- и биотехнологий, получением растений и животных с заданными свойствами и др. При этом инфраструктура 6-го технологического уклада в России только начинает зарождаться.

Цель исследования – анализ цикличности отдельных фаз развития техники и технологий в разных технологических укладах (на примере молочного животноводства) для повышения эффективности их применения в сельскохозяйственном производстве.

Методика. На современном этапе развития сельского хозяйство России становится все более наукоемкой отраслью и одним из драйверов развития всей экономики, примером тому служат рекордные урожаи зерна, собираемые в последние годы: в 2017 г. – 135 млн т, в 2019 г. – 127 млн т, в 2020 г. – 130 млн т. При этом объем экспорта продукции отрасли в 2019 г. составил 25,5 млрд долл. США, целевой ориентир на 2024 г. – 45 млрд долл. США. Вместе с тем следует отметить и недостатки, связанные с отраслевой неравномерностью развития сельскохозяйственного производства, вызванные его постепенной монополизацией, в результате которой некоторые регионы стали исключительно зерносеющими, а другие, наоборот, застроены

крупными животноводческими комплексами и имеют проблемы с экологией и утилизацией навоза. Наличие экспортного потенциала приводит к увеличению объемов производства зерна, тогда как, например, молочное животноводство, у которого эта составляющая менее эффективна, растет низкими темпами (в 2017 г. – 30,2 млн т, в 2018 г. – 30,6 млн т, в 2019 г. – 31,3 млн т, что составляет только 56 % от уровня 1990 г. – 56 млн т). Экспорт молочной продукции из России, в пересчете на молоко в 2019 г. составил 0,7 млн т, импорт – 7 млн т, или в 10 раз больше. При этом самый большой прирост импорта произошел по сухому молоку (на 7,4 %) и сливочному маслу (на 32,1 %) [5]. При этом молочное животноводство – одна из наиболее продвинутых отраслей сельского хозяйства в плане использования IT-технологий и робототехники, в которой осваивали первые компьютерные системы радиочастотной идентификации животных, автоматизированные доильные залы, программные средства и технологии управления молочным стадом, доильные роботы и многое другое. К сожалению, импортные поставки заменителей молочного жира и сухого молока, а также малая доля экспортной составляющей (0,7 млн т) сдерживает развитие этой важнейшей отрасли сельского хозяйства даже при наличии потенциально огромных молочных рынков Китая и Индии.

Сравнительная оценка технологических укладов в промышленности и сельском хозяйстве, представленная в таблице, наглядно показывает, что дальнейшее развитие отрасли, должно происходить на освоении и совместном развитии технологий 5-го и 6-го технологических укладов: конвергенции нано-био-инфо-ко-технологий, интернета вещей, систем искусственного интеллекта для создания интеллектуальных цифровых экологически безопасных предприятий, молекулярной экспресс-диагностике биологических объектов и патогенов в сельскохозяйственном сырье и продуктах питания, геномной оценке сельскохозяйственных животных, внедрении робототехнических систем, развитии методов построения и автономного функционирования сложных биотехнических систем (человек-машина-животное-продукция-среда) с использованием информационных технологий и систем биосенсорики. При этом использование достижений научно-технического прогресса К(Ф)Х и ЛПХ затруднено из-за малой доходности, низкой доступности для них дешевых кредитно-финансовых ресурсов и, главное, ограниченной возможности сбыта на перерабатывающие предприятия и через торговые сети. Хотя по степени реализации генетического потенциала животных и производству экологически безопасной продукции без гормонов и антибиотиков предприятия малых форм хозяйствования могут конкурировать с агрохолдингами [6]. Очевидно, что для развития различных форм хозяйствования, особенно в молочной отрасли, требуется расширение спектра применяемых машинных технологий и оборудования. При этом следует отметить, что волны больших циклов смены технологий в промышленности и сельском хозяйстве на сегодняшний день в целом совпадают. Однако отсутствие интернета и эффективной сервисной инфраструктуры на удаленных сельских территориях затрудняет прогресс в сфере интеллектуализации и цифровизации производства, что наряду с экономическими факторами, делает переход на новые технологии малодоступным. Эффективному развитию предприятий малых форм хозяйствования на современном этапе могла бы способствовать свойственная 5-му технологическому укладу

Сравнительная оценка развития технологических укладов в промышленности и сельском хозяйстве

Уклад	Годы	Системообразующий фактор		Основные отрасли		Ключевые факторы		Основные достижения уклада	
		промышленность	сельское хозяйство, перерабатывающая промышленность	промышленность	сельское хозяйство, перерабатывающая промышленность	промышленность	сельское хозяйство, перерабатывающая промышленность	промышленность	сельское хозяйство, перерабатывающая промышленность
1	1780–1850	энергия воды	энергия воды	текстильная промышленность	возникновение перерабатывающей промышленности	текстильные машины	водяная мельница	механизация фабричного производства	механизация отдельных процессов производства и переработки сельскохозяйственной продукции (муки, сахара и др.)
2	1850–1900	энергия пара и угля	энергия пара и угля	транспорт, чёрная металлургия	освоение производства отдельных видов сельскохозяйственных орудий, развитие кооперативного молочного производства	паровой двигатель	паровые мельницы	рост масштабов производства, развитие транспорта	рост масштабов сельскохозяйственного производства, развитие молочного дела, создание первого промышленного сепаратора молока
3	1900–1950	электроэнергия	электроэнергия	тяжёлое машиностроение, электротехническая промышленность	становление отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения	электропривод, двигатель внутреннего сгорания, нефтехимия	электропривод, двигатель внутреннего сгорания, нефтехимия	появление радиосвязи, телеграфа	коллективизация, создание МТС, план ГОЭЛРО, создание ВАСХНИЛ, создание системы МИС, появление первых электрифицированных агрегатов для доения, стрижки овец, гидропоника
4	1950–1990	энергия углеводородов, начало ядерной энергетики	энергия углеводородов, начало ядерной энергетики	автомобилестроение, цветная металлургия, нефтепереработка, синтетические полимерные материалы	развитие сельхозмашиностроения, системы машин и комплексной механизации сельскохозяйственного производства			массовое и серийное производство	серийное массовое производство тракторов, автомобилей, комбайнов, кормоуборочной техники, доильных установок, строительство крупных животноводческих комплексов и мелиоративных систем
5	1990–н.в.	атомная энергетика	инфокоммуникационные ресурсы	электроника и микроэлектроника, информационные технологии, генная инженерия, программное обеспечение, телекоммуникации, освоение космического пространства	внедрение инфокоммуникационных технологий, генной инженерии, биотехнологий, систем альтернативной энергетики	микроэлектронные компоненты, инфокоммуникационные технологии	микроэлектронные компоненты, инфокоммуникационные технологии	индивидуализация производства и потребления	индивидуализация производства молока с применением доильных роботов, применение ГИС технологий для точного земледелия и животноводства, внедрение интернет технологий, развитие систем альтернативной энергетики
6	2010–н.в.	когнитивные технологии, микро робототехника	когнитивные технологии, микро робототехника	нанобиотехнологии, наноэнергетика, молекулярные, клеточные и ядерные технологии	применение нанокompозитных материалов, систем микромеханики, робототехники, искусственного интеллекта, нанобитехнологий в основных отраслях сельскохозяйственного производства	микроэлектронные компоненты, нанокompозитные материалы, нанобиоинфо-кoтeхнoлoгии	микроэлектронные компоненты, нанокompозитные материалы, биосенсоры, нано-биоинфо-кoтeхнoлoгии	конструирование материалов и организмов с заранее заданными свойствами, развитие систем искусственного интеллекта	развитие технологии интернета вещей, систем искусственного интеллекта, создание интеллектуальных цифровых экологически безопасных предприятий, молекулярной экспресс диагностики биологических объектов и патогенов в сельскохозяйственном сырье и продуктах питания, геномной оценки животных

индивидуализация производства, формирующая спрос на выпуск высококачественной молочной продукции органического производства по заказам населения. При соответствующей государственной поддержке новый импульс в развитии могли бы получить кооперативные структуры, способные обеспечить эффективное функционирование предприятий малых форм хозяйствования. Кроме того, последние могли бы выращивать высокопродуктивное ремонтное поголовье для крупных комплексов [7].

Анализ системообразующих и ключевых факторов, а также основных достижений укладов, представленных в таблице, свидетельствует о том, что отдельные организационно-экономические формы и фазы развития технологических укладов могут периодически повторяться и возрождаться на качественно новом техническом и технологическом уровне. Так, отдельные фазы 2-го технологического уклада (1880–1990 гг. по Н.В. Верещагину) [8] повторились в программах создания и поддержки кооперативных и фермерских хо-

зайств в 5-ом технологическом укладе (1995–2010 гг.). Другими примерами могут быть революционное создание в 1878 г. первого молочного сепаратора (Густав Де Лаваль) и практически через сто лет аналогичное по значимости появление первого доильного робота (фирма Лели, 1992 г.) или организация в 1928 г. первой машинно-тракторной станции в 3-м технологическом укладе и появление через 95-100 лет в ряде регионов современных машинно-технологических станций (МТС) – региональных многопрофильных сервисных центров по обслуживанию сельхозтехники и машин для животноводства [9]. Аналогичные параллели можно провести между появлением радиосвязи в начале XX в. (3-й уклад) и примерно через 100 лет интернета (5-й уклад), между первыми опытами по использованию электротяги (электротрактор, электроплуг) в 20-х гг. XX в. и внедрением электротрансмиссий и гибридных приводов, созданием электроавтомобилей и тракторов на новой технологической основе в начале XXI в. Загорающийся в Европе и России спрос на натуральную высококачественную продукцию органического земледелия делает актуальным восстановление и развитие предприятий малых форм хозяйствования, а новые вызовы и угрозы в виде пандемий и вирусных инфекций актуализируют ситуацию с биобезопасностью прежде всего для крупных животноводческих объектов. Поэтому целесообразно сохранять определенный баланс в развитии различных форм хозяйствования, особенно в молочной отрасли.

Результаты и обсуждение. Из анализа изменений различных технологических укладов в сельском хозяйстве можно предположить, что через интервалы с продолжительностью примерно 100-110 лет (по Н.Д. Кондратьеву цикл равен 50-55 лет [10]) возможны определенные повторения в развитии организационных форм, методов и технологий, появление равнозначных по важности событий, но на качественно новом техническом уровне. Это свидетельствует о существовании определенных закономерностей фазового развития в отдельно взятых технологических укладах и в целом совпадает с оценкой продолжительности жизненного цикла технологического уклада по С.Ю. Глазьеву (90-100 лет) [11]. Желательно чтобы такие изменения совпадали с потребностями населения, однако в условиях глобализации корпоративные интересы зачастую превалируют над интересами групп населения, регионов и даже целых государств, что затрудняет полноценное использование ими достижений научно-технического прогресса.

Учитывая изложенное, с использованием алгебры логики [12] продолжительность циклов развития отдельных фаз в технологических укладах на примере сельскохозяйственного производства можно записать в следующем виде:

$$T_{\phi}^m \approx (2 t_{\text{цк}}^i \vee t_{\text{жц}}^i) \vee (T_{2-5}^{\phi} \wedge T_{3-5}^{\phi} \wedge T_{4-6}^{\phi}), \quad (1)$$

где T_{ϕ}^m – период межукладного повторения отдельных фаз в развитии технологических укладов;

$t_{\text{цк}}^i$ – продолжительность i-го цикла спада и подъема производства (по Н.Д. Кондратьеву – 50-55 лет);

$t_{\text{жц}}^i$ – продолжительность жизненного цикла технологического уклада (по С.Ю. Глазьеву – 100 лет);

$\vee, \wedge$ – логические операторы, соответственно, исключительной дизъюнкции, универсальной количественной оценки и соединения;

$T_{2-5}^{\phi}, T_{3-5}^{\phi}, T_{4-6}^{\phi}$ – соответствующие фазы развития в разных технологических укладах.

Наряду с межукладными циклами, существует внутриукладная цикличность развития отдельных фаз технологических укладов. Так, на примере молочного скотоводства, можно записать цикличность смены технологий привязного и беспривязного содержания в виде:

$$T_{\phi}^b = t_{\text{цв}}^i \vee (T_{\text{п-бп}}^{60} \wedge T_{\text{бп-п}}^{80} \wedge T_{\text{п-бп}}^{00}), \quad (2)$$

где T_{ϕ}^b – период внутриукладного повторения отдельных фаз развития;

$T_{\text{п-бп}}^{60}, T_{\text{бп-п}}^{80}, T_{\text{п-бп}}^{00}$ – внутриукладные реперные точки перехода с привязного на беспривязное содержание и, наоборот, в 60-е, 80-е гг. XX в. и 2000 гг. XXI в.;

$t_{\text{цв}}^i$ – продолжительность i-го цикла внутриукладной смены технологий.

Продолжительность цикла внутриукладной смены технологий можно выразить следующим образом:

$$t_{\text{цв}}^i = t_{\text{цк}}^i / n_b, \quad (3)$$

n_b – частота смены машинных технологий внутри одного технологического уклада.

На частоту смены технологий внутри технологического уклада влияют многие факторы организационно-экономического, финансового, технико-технологического и информационного характера ($X_1, \dots, X_n$):

$$n_b = f[t_{\text{цк}}^i \vee (X_1 \dots X_n)], \quad (4)$$

Например, цикл ($M_{\text{ч}}^d - A_{\text{чo}}^d - P_{\text{м}}^d$) последовательного перехода с механизированного доения, выполняемого человеком ($M_{\text{ч}}$), на автоматизированное доение в залах человеком-оператором ($A_{\text{чo}}^d$) и далее к роботизированному доению машиной $P_{\text{м}}$ включает два последовательных цикла:

$$(M_{\text{ч}}^d \rightarrow A_{\text{чo}}^d \rightarrow P_{\text{м}}^d) [(t_{\text{цв}}^i : (M_{\text{ч}}^d \rightarrow A_{\text{чo}}^d) \wedge t_{\text{цв}}^{i+1} : (A_{\text{чo}}^d \rightarrow P_{\text{м}}^d))]. \quad (5)$$

Существует и вариант прямого перехода ($M_{\text{ч}}^d \rightarrow P_{\text{м}}^d$), однако при этом нарушается свойство аддитивности – последовательного наращивания функциональных возможностей агротехнологий, поскольку при последующем переходе от роботизированных моноблоков к более производительному роботизированному доильному залу потребуются сначала обратный переход к форме зала и только затем к его роботизации. Такую ситуацию наблюдали при частой смене технологий привязного и беспривязного содержания в четвертом и начале пятого технологических укладов. Переход без соответствующей информационной поддержки (программное обеспечение, компьютерные системы управления стадом, датчики физиологического состояния и др.) приводил к обезличиванию биологических объектов (животных), что, в свою очередь, сопровождалось их преждевременной выбраковкой и снижением эффективности производства в целом. Как следствие, происходил возврат к старой проверенной, но трудоемкой технологии привязного содержания. И только с появлением средств микроэлектроники и информационных цифровых технологий 5-го уклада обратный переход становился нецелесообразным, поскольку в этом случае индивидуальные особенности биологических объектов учитывались уже в достаточно полной мере. Появление средств индивидуальной роботизации доения снова сопровождается отменой доильных залов из предыдущего технологического уклада и нежелательным сломом технологии, а не ее планомерной модер-

низацией. В качестве положительного примера плановой межукладной модернизации можно привести работу над стратегическим ракетоносцем ТУ-160 [13], созданным в 4-м технологическом укладе, когда при сохранении основной конструкции корпуса последовательно модернизировали авионику (5-й технологический уклад), а затем установили и новые двигатели.

Рассмотрим наиболее вероятные модели модернизации молочного животноводства на примере смены ключевого системообразующего фактора технологии – организации доения животных, который целиком определяет уровень используемой технологии.

$$(M^d \rightarrow P^d) \vee [(t^i_{цв} : (M^d \rightarrow P^d_{м})) \vee [(t^i_{цв} : (M^d \rightarrow A^{dq}_{чо})) \wedge (t^{i+1}_{цв} : A^{dq}_{чо} \rightarrow P^d_{зм})], \quad (6)$$

где $P^d_{м}$ – роботизированное доение в индивидуальных монобоксах (5-й уклад);

$A^{dq}_{чо}$ – автоматизированное почетвертное доение в зале (5-й уклад);

$P^d_{зм}$ – поточное роботизированное доение в зале (5-6-й уклады).

Модель (6) содержит два варианта реализации внутриукладных цикла роботизации:

наиболее затратный и капиталоемкий прямой переход ($M^d \rightarrow P^d_{м}$) от механизированного доения к роботизированному в индивидуальных боксах [14];

поступный переход в два цикла. Сначала на почетвертное доение в автоматизированном доильном зале с участием человека-оператора, аналогичное по функциональности доению в роботизированном индивидуальном боксе ($M^d \rightarrow A^{dq}_{чо}$). Этот этап может быть длительной, но значительно менее капиталоемкой (в 4-5 раз), альтернативой первому варианту [15]. Второй цикл предусматривает переход к роботизированному доению в доильном зале ($A^{dq}_{чо} \rightarrow P^d_{зм}$) путем технической замены автоматизированных манипуляторов на роботизированные без принципиальной смены технологии. Поступный переход более экономичен и может быть растянут во времени, что особенно важно для ферм малых и средних размеров ввиду их низкой доходности. К тому же качество почетвертного доения с использованием индивидуальных доильных роботов и автоматизированных почетвертных манипуляторов в доильном зале на первом этапе будет не сильно отличаться по наличию человеческого фактора, поскольку за последним сохранится лишь функция подключения доильных стаканов, а все остальные операции будут осуществляться автоматически как у робота.

Таким образом, к закономерностям технологического развития сельскохозяйственного производства, в том числе животноводства, следует отнести определенную цикличность между- и внутриукладного развития отдельных фаз технологических укладов, связанную с продолжительностью их жизненных циклов. Для уменьшения капиталоемкости и во избежание частой внутриукладной смены технологий необходимо следовать принципу аддитивности – послойному наращиванию (модернизации) функций технологий с сохранением базовой части, используя при этом принцип преемственности и меняя, преимущественно, аппаратную часть на новые технологические адаптеры повышенной функциональности. В этом случае можно, например, модернизируя только инфо-коммуникационную составляющую, перевести технологию на

новый уклад (из 4-го в 5-й). Революционная смена может наблюдаться в развитии нано-биосенсоров, которые постепенно будут переходить на качественно новый уровень 6-го технологического уклада, тогда как индустриальная составляющая технологии (тракторы, сельхозмашины, доильные установки и др.) продолжит существовать еще долгие годы, подвергаясь поэтапной модернизации.

Литература.

1. Волостнов Б.И. Мировой экономический кризис и новая технологическая парадигма // *Проблемы машиностроения и автоматизации*. 2013. №1. С. 22–43.
2. Коротаев А.В., Гринин Л.Е. Кондратьевские волны в мир-системной перспективе // *Кондратьевские волны*. Волгоград: Изд-во «Учитель». 2012. №1. С. 58–109.
3. Львов Д.С., Глазьев С.Ю. Теоретические и прикладные аспекты управления научно-техническим прогрессом // *Экономика и математические методы*. 1987. Т. 23. Вып. 5. С. 793–804.
4. Каблов Е.Н. Шестой технологический уклад // *Наука и жизнь*. 2010. №4. С. 2–7.
5. Анализ российского рынка молока и молочной продукции: итоги 2019 г., прогноз до 2022 г. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/11497/> (дата обращения: 20.11.2020)/
6. Голубев А.В. Многообразие технологических укладов как условие эффективного сельского хозяйства // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2009. №11. С. 13–17.
7. Сарайкин В.А. КФХ и крупные сельскохозяйственные организации: сравнительный анализ динамики и эффективности // *Экономика с.-х. и перерабатывающих предприятий*. 2004. № 11. С. 37–40.
8. Вышемирский Ф. А. К 170-й годовщине со дня рождения Н. В. Верещагина // *Сыроделие и маслоделие*. 2009. № 2. С. 43–45.
9. Состояние и перспективы развития технического сервиса в животноводстве / В.В. Кирсанов, Д.Ю. Павкин, Е.А. Никитин и др. // *Технический сервис машин*. 2020. № 2 (139). С. 76–82.
10. Яковец Ю. В. Циклы Кондратьева: теория и история, настоящее и будущее // *Кондратьевские волны*. Волгоград: Издательство «Учитель». 2013. №2. С. 23–30.
11. Глазьев С.Ю., Айвазов А.Э., Беликов В.А. Циклически-волновые теории экономического развития и перспективы мировой экономики. Предсказуемо ли среднесрочное и долгосрочное развитие мировой экономики // *Научные труды Вольного экономического общества России*. 2019. Т. 219. № 5. С. 177–211.
12. Гуров С.И. Булевы алгебры, упорядоченные множества, решетки: Определения, свойства, примеры. Серия: Основы защиты информации. Монография // М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2013. 352 с.
13. Модернизация ТУ-160 и ТУ-95МС. URL: <https://oko-planet.ru/politik/politikarm/385608-modernizaciya-tu-160-i-tu-95ms.html> (дата обращения: 25.11.2020)
14. Шляйтцер Г. Кому бокс, а кому и карусель? // *Новое сельское хозяйство*. 2011. № 6. С. 46–51.
15. Сравнительная технико-экономическая оценка автоматизированных и роботизированных доильных установок / В. В. Кирсанов, Д. Ю. Павкин, С. С. Рузин и др. // *Агроинженерия*. 2020. № 3 (97). С. 39–43

Поступила в редакцию 18.01.2021

После доработки 24.02.2021

Принята к публикации 09.03.2021

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДВИЖЕНИЯ ИНГРЕДИЕНТОВ ЛЕЧЕБНЫХ КОРМОВ В ШАРОВОМ СМЕСИТЕЛЕ

В.И. Сыроватка¹, академик РАН, Н.В. Жданова¹, А.Д. Обухов², аспирант

¹Институт механизации животноводства – научный агроинженерный центр Всесоюзный институт механизации,
108823, Москва, поселение Рязановское, поселок Знамя Октября, 31
E-mail: vniimzh@mail.ru

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5
E-mail: vim@vim.ru

Исследования проводили с целью изучения возможности повышения однородности смеси лечебных комбикормов, с учетом кинетика движения (траектория, скорость, вектор) отдельных частиц ингредиентов в составе материально-воздушного потока в процессе смешивания лечебных препаратов, минеральных и витаминных добавок в смесителе со сферической камерой в поле центробежных, аэродинамических и инерционных сил, а также сил Кориолиса. При вращении лопастей на их плоскости под действием центробежных сил происходит сепарация (разделение, сегрегация) состава смеси по таким физико-механическим свойствам, как плотность, размер частиц, коэффициент трения, парусность и др. При сходе с лопасти материально-воздушный поток ударяется в нижнюю цилиндрическую поверхность корпуса, тормозится и меняет направление движения на 90°, а у крышки – на 180°. При этом для применяемых смесителей с цилиндрическим вертикальным корпусом, работающих в режиме псевдоожижения, условия сегрегации не ограничены. Выявлены технологические и конструктивные возможности повышения однородности смеси, реализация которых в одной установке позволит повысить однородность смеси лечебных кормов до 95-98 %.

INVESTIGATION OF KINETICS OF INGREDIENTS MOVEMENT TREATMENT FEEDS IN BALL MIXER

Syrovatka V.I.¹, Zhdanova N.V.¹, Obukhov A.D.²

*Institute of livestock mechanization – Federal research center of agricultural engineering,
108823, Moskva, Ryazanovskoe poselenie, pos. Znamya Oktyabrya, 31
E-mail: vniimzh@mail.ru*

*2Federal Scientific Agroengineering Center VIM,
109428, Moskva, 1-i Institutskii proezd, 5
E-mail: vim@vim.ru*

There are considered possibilities of increasing homogeneity of mixture of therapeutic feeds, in particular - motion kinetics (trajectory, speed, vector) of individual particles of ingredients in the composition of material-air flow in the process of mixing of therapeutic preparations, mine-real and vitamin additives in mixer with spherical chamber in field of centrifugal, aerodynamic, inertial and Coriolis forces. It is noted that on the plane of the blades when they rotate from the drive shaft under the influence of centrifugal forces, the composition of the mixture is separated (separation, segregation) by physical and mechanical properties: specific weight, particle sizes, friction coefficients, sailing, etc. When leaving the blade, the material air flow strikes the lower cylindrical surface of the body, brakes and changes the direction of movement by 90°, and at the cover - by 180°. At the same time, for used mixers with a ciline-dric vertical body operating in the fluidization mode, segregation conditions are not limited. The following technological and structural possibilities for increasing the homogeneity of the mixture were. Realization of the presented possibilities in one installation will allow to increase homogeneity of the mixture of therapeutic fodders up to 95-98%.

Ключевые слова: однородность смеси, кинетика движения частиц, сферическая камера, миграция частиц, энергетическое поле

Key words: homogeneity of the mixture, the kinetics of particle motion, spherical chamber, migration of particles, energy field

Интенсификация животноводства и птицеводства, необходимость ветеринарной обработки в сжатые сроки большого поголовья, многократное повышение нагрузки на ветеринарных специалистов вызывает необходимость применения высокоэффективных способов и технических средств приготовления и дачи лекарственных препаратов. В связи с этим получает широкое распространение групповое скармливание смесей комбикормов с биологически активными веществами.

Огромный экономический ущерб, выражающийся миллиардами рублей, наносят животноводству гельминтозы, под влиянием которых потери молока на корову могут достигать 110-120 кг в год, уменьшение прироста массы тела молодняка – 7-9 кг [1]. Живая масса поросят, зараженных гельминтами, не превышает 50-60 % величины этого показателя у здоровых [2]. В птицеводстве и овцеводстве заболеваемость зачатую может доводить до массового падежа [3].

Введение кормолекарственных смесей в комбикорма на заводах и систематическое их скармливание в зависимости от эпизоотической ситуации, а также возраста животных и птицы позволяет постоянно осуществлять профилактику заболеваний и поддерживать высокую продуктивность. При этом можно в 2-3 раза сократить количество ветеринарных работников, облегчить и обезопасить их труд.

Сложность приготовления высокооднородных лечебных кормов заключается в том, что соотношение лекарств и наполнителя, как правило, зернового компонента, составляет 1:500; 1:1000; 1:10000, причем лекарства могут быть в форме таблеток, порошка или жидкости. Размеры частиц и плотность вносимых ингредиентов и наполнителя может различаться в 8-10 раз. Кроме того, применяемые смесители обеспечивают однородность смеси на уровне 80-85 %, а у лечебных комбикормов она должна находиться в пределах 95-98 % [4, 5].

Известно [6], что во всех конструкциях лопастных и шнековых смесителей процесс смешивания сыпучих компонентов сопровождается их разделением (сепарацией, сегрегацией).

Цель исследования – изучить движение частиц различной плотности и крупности в составе материально-воздушного потока в поле центробежных, гравитационных и аэродинамических сил в шаровом смесителе для изыскания возможности повышения однородности смешивания компонентов при совместном конвективном и диффузионном процессах.

Методика. В работе рассматривали изменение скорости движения частиц по лопасти ротора (рис. 1, точка А), внутренней сферической поверхности шарового смесителя (точка В), при изменении направления движения материально-воздушного потока сверху-вниз (точка С), при диффузионном смешивании.

Для рассмотрения движения отдельной твердой частицы, находящейся на рабочей поверхности лопасти смесителя (рис. 2, точка А) приняты следующие допущения [7]: частицы считаем шарообразными и изолированными одна от другой, скорость турбулентного воздушного потока, создаваемого ротором в сферическом объеме и движение частиц по оси y не учитываем.

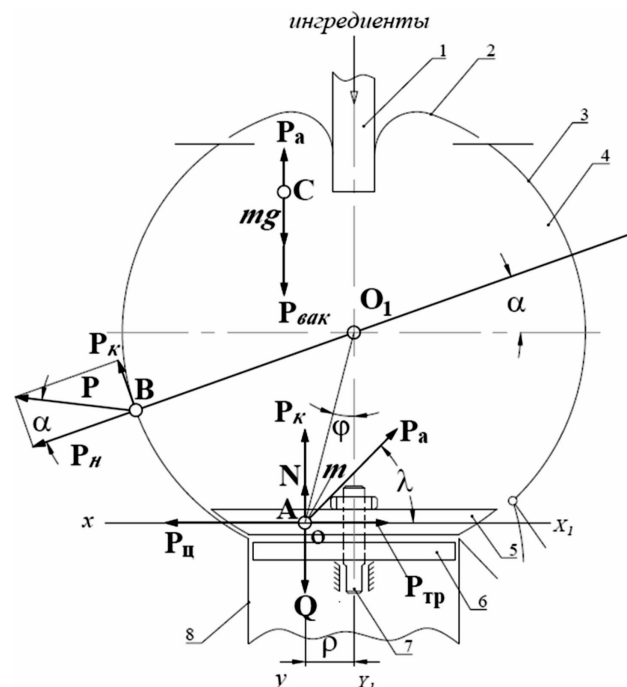


Рис. 1. Схема приложения сил на частицу массой m , расположенную на лопасти ротора шарового смесителя в точке А ($P_{\text{ц}}$ – центробежная сила, Н; P_a – аэродинамическая сила, Н; P_k – сила Кориолиса, Н; $P_{\text{тр}}$ – сила трения по поверхности лопасти, Н; N – сила реакции, Н; Q – сила тяжести, Н); точке В (P – сила на сферическую поверхность, Н; P_k – касательная составляющая силы P , Н); точке С ($P_{\text{вак}}$ – сила вакуума, Н; mg – сила тяжести частицы массой m , Н; P_a – сила воздушного потока, Н), φ – угол положения частицы массой m , относительно оси y , рад; α – угол положения частицы массой m на лопасти в координатах x, y , 1 – загрузочный шлюз; 2 – направляющий обтекатель; 3 – шаровой корпус смесителя; 4 – сферический объем смесителя; 5 – двухсторонняя лопасть; 6 – рабочий диск; 7 – вал привода лопастей; 8 – рама смесителя.

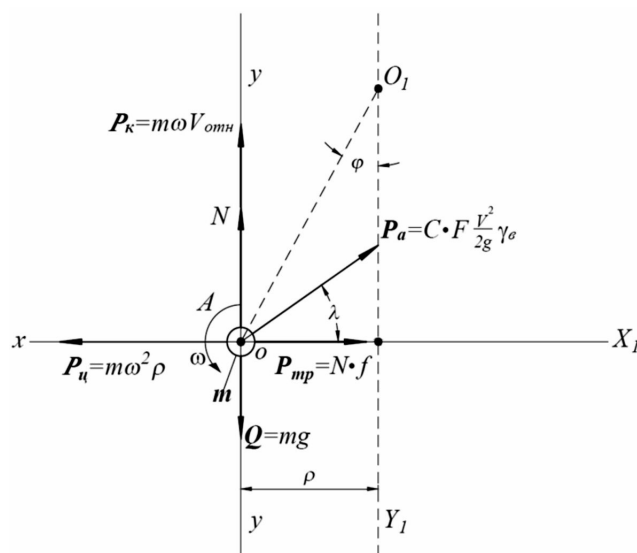


Рис. 2. Переносная $X_1O_1Y_1$ и относительная xoy системы координат с формулами для расчета сил, приложенных к частице массой m , расположенной на лопасти: $P_{\text{ц}}$ – центробежная сила, Н; N – аэродинамическая сила, Н; P_k – сила Кориолиса, Н; $P_{\text{мп}}$ – сила трения по поверхности лопасти, Н; N – сила реакции, Н; Q – сила тяжести, Н.

Движение единичной рассматриваемой частицы можно описать уравнением:

$$m \frac{dV}{dt} = \sum_i F_i,$$

где m – масса частицы; $\frac{dV}{dt}$ – ускорение частицы; $\sum_i F_i$ – равнодействующая сила, приложенная к частице массой m .

Для составления уравнения движения частицы примем переносную систему координат $X_1O_1Y_1$ [8], которую свяжем с вращательным движением лопасти, и относительную систему xoy , которой обозначаем движение частицы относительно рабочей поверхности лопасти. Используя схему сил (см. рис. 1 и 2) составим дифференцируемое уравнение движения частицы массой m в принятых системах координат [8, 9]:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dV_{\text{отн}}}{dt} &= m\omega^2 \rho \cdot \cos \varphi - P_{\text{тр}} - CF \frac{V^2}{2g} \sin \lambda \\ O &= N + m\omega^2 \rho \cdot \sin \varphi - 2m\omega V_{\text{отн}} - CF \frac{V^2}{2g} \cos \lambda \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

или

$$N = 2m\omega V_{\text{отн}} + CF \frac{V^2}{2g} \cos \lambda - m\omega^2 \rho \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

при этом $P_{\text{тр}} = N \cdot f$, тогда

$$\left. \begin{aligned} m \frac{dV_{\text{отн}}}{dt} &= m\omega^2 \rho \cdot \cos \varphi - \\ &- f \left(2m\omega V_{\text{отн}} + CF \frac{V^2}{2g} \gamma_{\text{в}} \cos \lambda - m\omega^2 \rho \cdot \cos \varphi \right) - \\ &- CF \frac{V^2}{2g} \gamma_{\text{в}} \sin \lambda \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где ω – угловая скорость, рад/с; $V_{\text{отн}}$ – скорость движения частицы по рабочей поверхности лопасти, м/с; f – коэффициент трения частицы смеси по стали; F – проекция частицы по направлению ее движения (минус сечение тела), м²; $\gamma_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с^2 ; C – коэффициент аэродинамического сопротивления, зависящий от формы и размера тела, который является функцией критерия Рейнольдса (Re) [8].

Результаты и обсуждение. Для коэффициента C , который входит в формулу (3), известны три наиболее характерные области зависимости [10]:

при значении $Re = 0,1-1,0$ (частицы размером не более $0,1$ мм)

$$C = \frac{24}{Re}, \quad (4)$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad (5)$$

где d – диаметр частицы, мм; V – скорость частицы, м/с ; ν – коэффициент кинематической вязкости $\text{м}^2/\text{с}$; при $Re = 10-1000$ (частицы диаметром $0,1-2,5$ мм)

$$C = \frac{13}{\sqrt{Re}} \quad (6)$$

при $Re = 1000$ и более (частицы диаметром $2,5-80,0$ мм) коэффициент C равен в среднем $0,45$.

В связи с непостоянством коэффициента C , а, следовательно, и силы аэродинамического сопротивления, действующей на частицу массой m , уравнение (3) не имеет общего решения. Оно возможно только численным интегрированием для каждого частного случая с использованием начальных условий [11].

Аналогичную задачу для движения единичной частицы массой m , находящейся на рабочей поверхности молотка ротора дробилки зерна, мы решили численным методом интегрирования Рунге-Кутты. По результатам расчетов [12] построен график (рис. 3), из которого видно, что материальные частицы различных размеров и плотности перемещаются по стальной рабочей поверхности вращающейся лопасти ротора с разной скоростью. Как и следовало ожидать, на крупные и плотные частицы доминирующее влияние оказывает центробежная сила ($P_{\text{ц}}$), на мелкие и легкие – аэродинамическая ($P_{\text{а}}$). Скорость движения крупных частиц в центробежном силовом поле больше, чем мелких. В материально-воздушном потоке они сортируются и постоянно соударяются, при этом происходит обмен скоростями: меньшие частицы ускоряются, а большие – замедляются [13].

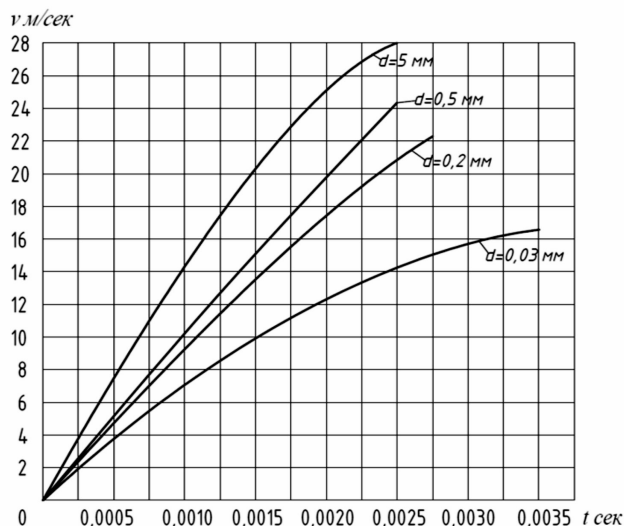


Рис. 3. Скорость перемещения частиц различных размеров по рабочей поверхности лопасти ротора.

Процесс смешивания в смесителе со сферическим корпусом происходит следующим образом. Вращающиеся лопасти образуют и выбрасывают материально-воздушный поток на нижнюю вогнутую сферическую поверхность корпуса смесителя с усилием P (см. рис. 1, точка В), где оно распределяется на нормальное – $P_n = m\omega^2 \rho \cos \alpha$, которое достигает максимального значения на уровне 90° , и касательное – $P_{\text{кас}} = m\omega^2 \rho \sin \alpha$, равное на этом уровне нулю, где α – угол падения, образованный горизонтальной осью сферы и радиусом из центра сферы к точке В (см. рис. 1).

Кинетика (траектория, вектор, скорость) движения отдельных частиц с различными физико-механическими свойствами материально-воздушного потока в объеме сферической камеры во многом зависит от величины, приложенной к ним, силы Кориолиса (P_K). Под ее влиянием частицы потока перемещаются снизу-вверх под различным углом к линии меридиана сферы с разной скоростью и вектором движения. Поэтому в объеме сферической камеры образуется многообразная кинетика перемещения, происходит взаимное проникновение смешиваемых компонентов, что обуславливает оптимизацию процесса конвективного смешивания.

В верхней полусфере обрабатываемый поток перемещается к вершине сферы, где направляющий обтекатель изменяет траекторию движения потока снизу-вверх на обратное – сверху-вниз (см. рис. 1, точка С). Каждая частица массой m в составе воздушного потока под влиянием силы тяжести mg , воздушного потока (P_a) и силы вакуума ($P_{\text{вак}}$) с различной скоростью устремляется вниз к оси вала привода лопастей; попадает на лопасти и процесс повторяется. Известно, что максимальный вакуум образуется у вертикальной оси сферической камеры, а максимальное давление на внутренней поверхности сферы. Нейтральная линия – линия разграничения вакуума от давления – параллельна меридиане сферы и находится на расстоянии $2/3 R_{\text{сф}}$ от вертикальной оси [14].

Известно [15], что при диффузионном смешивании, которое осуществляется в результате взаимного внедрения компонентов при совместном смятии, из нескольких гетерогенных (неоднородных) материалов образуется гомогенный (однородный) продукт, не разделяющийся при последующем смешивании на составляющие. Диффузионное смешивание – это процесс взаимного проникновения молекул смешиваемых материалов, который приводит к выравниванию их концентрации по всему занимаемому объему. При этом происходит перенос вещества с мест высокой концентрации в места низкой концентрации и наоборот. Молекулы соприкасающихся материалов перемешиваются при совместном смятии на грани рабочих органов.

По результатам изучения процесса смешивания и качества работы смесителей, выявлены следующие технологические и технические возможности повышения однородности смеси лечебных кормов [15, 16]:

создание на поверхности и в объеме сферы максимальной турбулентности материально-воздушного потока и хаотичности движения частиц в нем, как необходимое условие повышения однородности смеси в поле пересекающихся траекторий аэродинамических, гравитационных и центробежных сил [17];

дополнение конвективного способа смешивания диффузионным;

приготовление лечебных комбикормов в три стадии – первичный премикс, вторичный премикс и лечебные корма.

Исходя из изложенных возможностей предложена

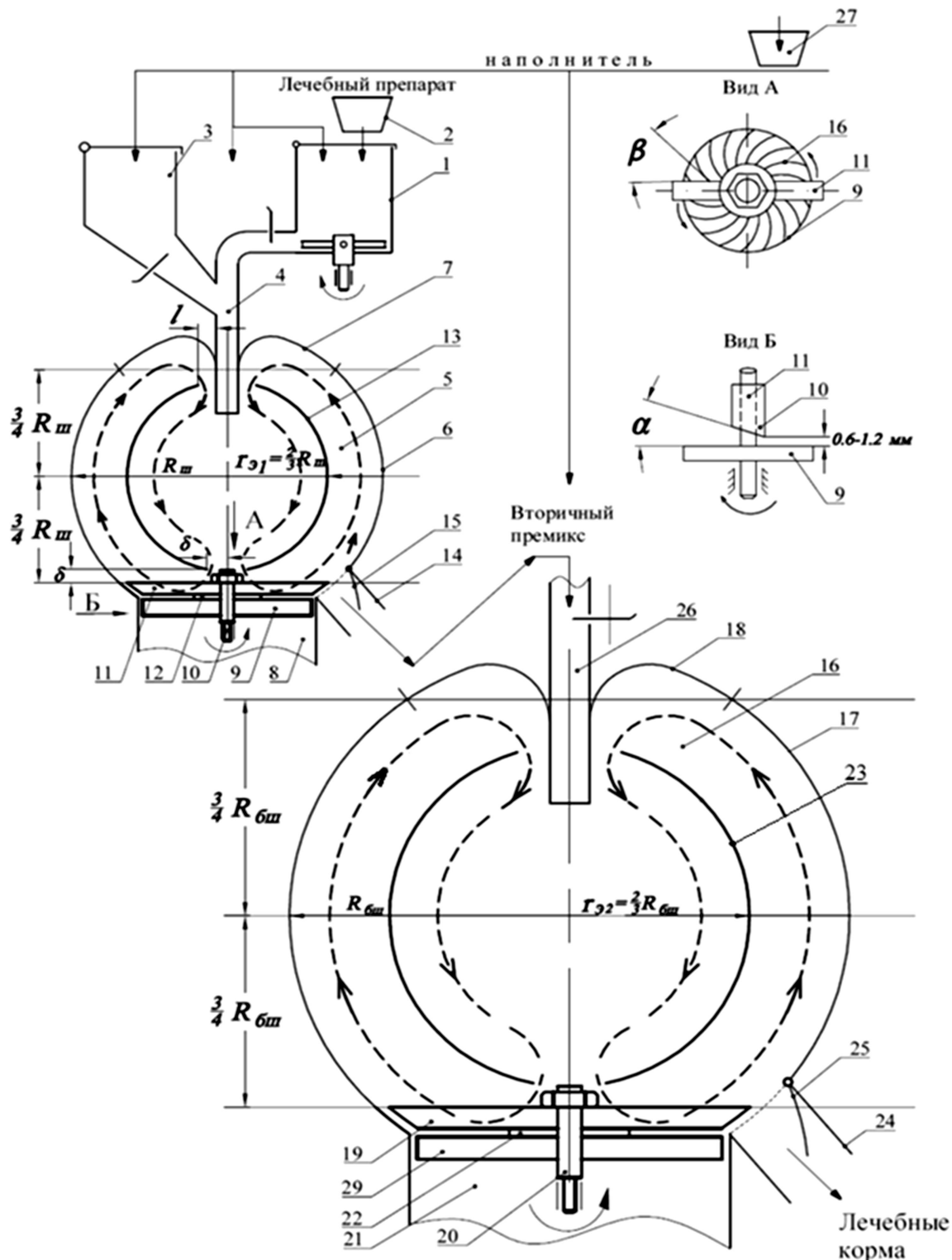


Рис. 4. Линия приготовления лечебных кормов: $R_{\text{ш}}$ – радиус шара измельчителя-смесителя; $r_{\text{з1}}$ – радиус сферического экрана измельчителя-смесителя; δ – расстояние между нижней кромкой сферического экрана и двухсторонней лопастью; 1 – лабораторная мельница; 2 – устройство для ввода препарата; 3 – бункер для наполнителя; 4 – загрузочный шлюз; 5 – измельчитель-смеситель; 6 – шаровой корпус измельчителя-смесителя; 7 – обтекатель; 8 – рама; 9 – рабочий диск с насечкой в форме Архимедовой спирали; 10 – вал привода ротора; 11 – двухсторонняя лопасть; 12 – регулировочные прокладки; 13 – сферический экран; 14 – выгрузный патрубок измельчителя – смесителя; 15 – заслонка; 16 – большой смеситель; 17 – шаровой корпус смесителя; 18 – обтекатель смесителя; 19 – двухсторонняя лопасть смесителя; 20 – вал привода лопастей; 21 – рама смесителя; 22 – регулировочные прокладки; 23 – направляющий экран; 24 – выгрузный патрубок смесителя; 25 – задвижка смесителя; 26 – загрузочный шлюз; 27 – бункер для наполнителя.

линия приготовления лечебных кормов (рис. 4) [18]. Работает она следующим образом. В лабораторную мельницу 1 с устройства ввода препаратов 2 помещают лечебный премикс, из бункера 3 добавляют наполнитель в соотношении 1:3. После этого компоненты измельчают ударным воздействием и смешивают в течение 60 с. Образовавшийся первичный премикс через шлюз 4 выгружают в измельчитель-смеситель 5 для приготовления вторичного премикса; в него из бункера 3 добавляют 15-20 % дозы наполнителя в лечебном комбикорме. Включают в работу вал привода 10 измельчителя-смесителя и закрепленную на нем двухстороннюю лопасть 11, лопасть, прилегающая к рабочей поверхности диска 9, закрепленного на раме 8, срезана под углом естественного откоса смеси $\alpha = 23-31^\circ$ (рис. 4, вид Б). При вращении лопасти смесь зажимается наклонной ее стороной в зазоре 0,6-1,2 мм, который регулируется прокладками 12, между лезвием лопастей и насечкой на рабочей стороне диска в форме Архимедовой спирали, под постоянным углом $\beta = 18-20^\circ$ (рис. 4, вид А). При совместном смятии компонентов происходит процесс взаимной диффузии – механическое вдавливание одного в другой. Двухсторонняя лопасть равномерно выбрасывает смесь измельчаемой массы с воздухом на 360° внутренней сферической поверхности корпуса 6 измельчителя-смесителя вторичных премиксов, создается устойчивый поток – псевдоожиженный слой, в котором компоненты равномерно распределяются в режиме повышенного давления. Обтекатель 7 через кольцевой зазор 1 направляет поток смеси вниз, где в объеме сферического экрана 13 с радиусом r продолжается смешивание в псевдоожиженном слое в режиме пониженного давления. Сферический экран через зазор δ направляет поток смеси к оси двухсторонней лопасти и далее в зазор между лезвиями лопастей и насечкой на рабочей стороне диска 9. Вакуум в зоне вертикальной оси сферы способствует устойчивой подаче смеси в зону диффузии. Достигается замкнутый устойчивый процесс одновременного совместного смятия компонентов со смешиванием на вогнутой поверхности шара и сферического экрана. Процесс смешивания в измельчителе-смесителе для вторичных премиксов продолжается 100-120 с. Далее смесь через патрубок 14 и шлюз 26 высыпает в большой смеситель 16 и добавляют остальное количество наполнителя. После этого включается в работу вал привода 20 и двухсторонняя лопасть 19, которая при вращении захватывает смешиваемую массу и равномерно выбрасывает материально-воздушный поток по всей вогнутой поверхности (360°) сферы шара 17, поднимая его вверх. Здесь направляющий обтекатель 18 плавно переводит направление движения псевдоожиженного слоя снизу-вверх в движение сверху-вниз, и по вогнутой поверхности направляющего сферического экрана 23, образующая линия которого соответствует радиусу $2/3 R_{\text{шар}}$, поток слоя направляется в центр лопастей. Зазор между рабочей частью диска 29, закрепленного на раме 21 и двухсторонней лопастью 19 регулируется прокладками 22. Процесс смешивания продолжается 120-180 с, после чего готовые лечебные комбикорма через выгрузный патрубок 24 подаются в тару.

Таким образом, частицы смешиваемых ингредиентов с различными физико-механическими свойствами, находясь на плоскости вращающейся лопасти от вала ротора, перемещаются с различными скоростями. При

этом одновременно происходит смешивание конвективным способом и сегрегация (разделение). При диффузионном смешивании, которое осуществляется путем совместного смятия и взаимного внедрения смешиваемых материалов из нескольких гетерогенных (разнородных) систем, образуется гомогенный (однородный) продукт, который уже не распадается на составляющие.

Предложена линия приготовления лечебных кормов, витаминных и минеральных премиксов, в которых смешивание компонентов осуществляется в три этапа, одновременно конвективным и диффузионным способами, что значительно повышает однородность смеси.

Литература.

1. Крюков В.С. Проблемы биохимии и технологии использования селена в питание птиц // Проблемы биологии продуктивных животных. 2017. №4. С. 24–38.
2. Сосипатров Г.В. Гельминтозы и рекомендации по их профилактике в хозяйствах специализированных по откорму свиней // Труды всесоюзного института гельминтологии. 1974. Т 21. С 61–66.
3. Кибакин В.В. Основные гельминтозы кур и меры борьбы с ними в условиях Алтайского края и Восточной Сибири: дисс. на соискание уч. степени доктора наук. Красноярск, 2006. 245 с.
4. Спесивцев А. Процесс смешивания при производстве комбикормов // Комбикорма. 2016. № 3. С. 37–41.
5. Клычев Е. М., Сыроватка В. И. Исследование процесса смешивания сыпучих кормов в псевдоожиженном слое // Науч. тр. ВИЭСХ. 1973. Т. 34. С. 95–129.
6. Горячкин В.П. Собрание сочинений. М.: Колос, 1963. 720 с.
7. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. М.: Изд-во физико-математической литературы, 1963. 478 с.
8. Василенко П.М. Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев: изд-во Академия с-х наук УССР, 1960. 180 с.
9. Смирнов В. И. Курс внешней математики, М.: Изд-во физико-математической литературы, 1958. 542 с.
10. Лачуга Ю. Ф., Ксендзов В. А. Теоретическая механика. М.: Колос, 2005. 575 с.
11. Березин И.С., Жидков И.П. Методы вычислений. М.: Госиздат физико-технической лит., 1962. 142 с.
12. Сыроватка В. И. Основные закономерности процесса измельчения зерна в молотковой дробилке. // Научные труды ВИЭСХ. 1964. Т. XIV. С. 89–155.
13. Кильчевский Н. А. Теория соударения твердых тел. М.: Ростехиздат., 1953. 269 с.
14. Сыроватка В. И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах. М.: Типография Россельхозакадемии, 2010. 247 с.
15. Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С. Полимерные композиционные материалы. СПб: Химия, 2008. 560 с.
16. Тодес О. М., Цитович О. Б. Аппараты с кипящим зернистым слоем. Ленинград: Химия, 1986. 281 с.
17. Гаврилов Д. М., Лебедев И. Ф. Поведение материальных частиц в потоке на искривленной поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. №3. С. 368–372
18. Сыроватка В. И., Жданова Н. В., Обухов А. Д. Линия приготовления лечебных кормов. Патент №273050 Ру 273051 С1. 2020. Бюл. №24

Поступила в редакцию 25.11.2020

После доработки 28.01.2021

Принята к публикации 18.02.2021

Зоотехния и ветеринария

УДК 637.5.05

DOI:10.31857/S2500262721020137

ВЛИЯНИЕ ПИЩЕВОГО ПОВЕДЕНИЯ БАРАНЧИКОВ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРОДУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БАРАНЧИКОВ ТУВИНСКОЙ ПОРОДЫ

Ю.А. Юлдашбаев¹, доктор сельскохозяйственных наук,
С.О. Чылбак-оол¹, кандидат биологических наук,
А.И. Ерохин¹, Е.А. Карасев¹, доктора сельскохозяйственных наук,
А.М. Абдулмуслимов², кандидат сельскохозяйственных наук,
Б.К. Салаев³, доктор биологических наук

¹Российский государственный аграрный университет –
Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева,
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49

²Федеральный научный центр Республики Дагестан,
367014, Махачкала, мкр. Научный городок, ул. Абдуразака Шахбанова, 18А

³Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова,
358000, Элиста, ул. А.С. Пушкина, 11
E-mail: zoo@rgau-msha.ru

Овцеводство имеет важное значение для Республики Тыва, поголовье овец в которой превышает 1,2 млн голов. Исследования проводили с целью выявления дополнительных резервов увеличения производства молодой баранины. Типологическую структуру определяли по методике двигательной-пищевой реакции Д.К. Беляева, В.Н. Мартыновой (1973), усовершенствованной В.С. Зарытовским и М.И. Лиевым (1990), которая предусматривает выделение трех поведенческих типов: первый – сильный скороспелый уравновешенный, второй – сильный скороспелый неуравновешенный, третий – позднеспелый слабый. Превосходство I группы по массе парной туши над II и III группами составило соответственно 0,92 и 1,85 кг (3,32 и 6,82%), по убойной массе – 0,97 и 1,90 кг (3,58 и 7,00 %), по выходу туши – на 1,80 и 2,06 %. Доля мякотной части по всем группам варьировала в пределах 69,61-69,96 %, костной ткани – 16,46-17,36 %. Увеличение численности и широкое использование овец I типа пищевого поведения (сильный скороспелый уравновешенный) способствовало повышению мясного потенциала. Проведенные комплексные исследования доказывают зависимость хозяйственно-полезных признаков от типа пищевого поведения животных. Их результаты дополняют научные знания по улучшению аборигенных тувинских короткожирнохвостых овец и способствуют разработке рекомендаций с учетом типов пищевого поведения.

INFLUENCE OF FEEDING BEHAVIOR OF RAMS ON BIOLOGICAL AND PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF TUVAN RAMS

Yuldashbaev Yu.A.¹, Chylbak-ool S.O.¹, Erokhin A.I.¹,
Karasev E.A.¹, Abdulmuslimov A.M.², Salaev B.K.³

¹Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy
127550, Moskva, ul. Timiryazevskaya, 49

²Federal Research Center of the Republic of Dagestan
367014, Makhachkala, mkr. Nauchnyi gorodok, ul. Abdurazaka Shakhbanova, 18A

³Kalmyk State University named after B.B. Gorodovikova,
358000, Elista, ul. A.S. Pushkina, 11
E-mail: zoo@rgau-msha.ru

Sheep breeding is of great importance for the Tuva Republic. The sheep population exceeds 1.2 million heads. The purpose of the study is to identify additional reserves for increasing the production of young lamb with a certain frequency. with the identification of types of eating behavior. Typological structure was determined by the method of motor-food reaction D.K. Belyaeva, V.N. Martynova (1973), improved by V.S. Zarytovsky and M.I. Liev (1990) and includes: the first behavioral type - strong early maturing balanced, the second - strong early maturing unbalanced, the third type - late maturing weak. On the basis of the data obtained, a plan of selection and breeding work with a flock of Tuvan short-fat-tailed sheep was developed for the Bai-Khol agricultural enterprise in the Erzin region of the Tyva Republic. In terms of the mass of fresh carcasses and slaughter weight, group I leads the difference between groups I and II, III groups was 0.92, 1.85 kg (3.32 and 6.82%), in slaughter weight by 0.97, 1, 9 kg or 3.58 and 7.0% higher than those of their peers in groups II, III. The output of carcasses in rams from group I exceeds the indices of their peers by 1.8 and 2.06% from groups II, III. The specific gravity of the pulp in all groups varies from 69.61 to 69.96 percent with the specific gravity of bone tissue in the range of 16.46 and 17.36 percent. The increase in the number and widespread use of type I sheep of feeding behavior - strong, early maturing balanced, contributed to an increase in meat potential and made it possible to increase profitability by 3 - 7%. Experimental data of the experiments supplement scientific knowledge on the improvement of native Tuvan short-fat-tailed sheep and contribute to the development of recommendations taking into account the types of eating behavior. The complex studies carried out prove the dependence of economically useful traits on the type of feeding behavior of animals.

Ключевые слова: баранчики, экстерьер, типы пищевого поведения, мясная продуктивность, убой, пищевая полноценность, качество мяса

Key words: rams, exterior, types of eating behavior, meat productivity, slaughter

Производство продукции овцеводческой отрасли и увеличение его объемов – важнейшие элементы сохранения сырьевой безопасности страны. По своему качеству и потребительским свойствам лучшим считается мясо молодых баранчиков в возрасте до года [1, 2]. Однако убой на мясо молодняка овец обеспечивает только 11 % производства баранины. Для переориентации отрасли на это направление необходимо наличие специализированных пород и новых технологий кормления, которые позволяют повысить скороспелость и качество продукции [3, 4].

Для Республики Тыва овцеводство имеет важное социальное и экономическое значение. Поголовье овец в этом субъекте Федерации превышает 1,2 млн голов. За последние 5 лет живая масса овец и коз, выращенных на убой, увеличилась на 11,3 %, что обусловлено ростом величины этого показателя в К(Ф)Х республики более чем в 4 раза [5].

Академиком Д. К. Беляевым (1973) была предложена и научно обоснована теория дестабилизирующего отбора овец по типу пищевого поведения, суть которого заключается в селекции животных по характеру оборонительного поведения, в противовес эволюционно сменившемуся адаптивному поведению к длительному воздействию внешней среды. Типы пищевого поведения имеют наследственную основу [6, 7, 8].

Изучение экстерьерных особенностей и убойных показателей баранчиков в зависимости от типа пищевого поведения овец тувинской короткожирнохвостой породы актуально и имеет как научную, так и практическую значимость [9, 10, 11].

Цель исследований – выявить типы пищевого поведения и определить их влияние на экстерьерные особенности, мясную продуктивность и пищевую ценность мяса баранчиков тувинской короткожирнохвостой породы при разведении в условиях Республики Тыва с выявлением дополнительных резервов увеличения производства молодой баранины.

Методика. Экспериментальную часть работы проводили в условиях СПК ПХ «Бай-Хол» Эрзинского района Республики Тыва в 2016-2019 гг. Материалом для исследований служили баранчики тувинской короткожирнохвостой породы. Выделение животных различного типа пищевого поведения осуществляли по методике двигательного-пищевой реакции Д.К. Беляева, В.Н. Мартыновой, (1973), усовершенствованной В. С. Зарытовским, М. И. Лиевым и др. (1990) [12]. Типологическую структуру в группах баранчиков устанавливали для стада 154 головы, отобранных методом пар аналогов. Из животных первого поведенческого типа (сильный скороспелый уравновешенный) сформировали I группу, второго (сильный скороспелый неуравновешенный) – II группу, третий (позднеспелый слабый) – III группу.

Лабораторные исследования проводили в Тувинском государственном университете и РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева по общепринятым методикам (ВИЖ, 1970; ВАСХНИЛ, 1978; РГАУ-МСХА, 2005). На протяжении всего эксперимента подопытные животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Основу кормовой базы овец в хозяйстве составляют естественные пастбища, на долю которых приходится 70-80 % годового рациона, около 7-10 % приходится на концентраты и 12-17 % на грубые корма. Система содержания животных – круглогодичная пастбищная.

При изучении роста и развития молодняка проводили линейные, объемные и широтные измерения отдельных статей, а также формы и размеры хвоста. Для

Табл. 1. Живая масса молодняка и его распределение по типам пищевого поведения ($M \pm m$)

Группа	Количество, гол.	%	Живая масса, кг
I	56	36,4	27,25 $\pm$ 0,17***
II	59	38,3	26,22 $\pm$ 0,01*
III	39	25,3	24,07 $\pm$ 0,24

* $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

характеристики экстерьера молодняка высчитывали индексы телосложения. Убой баранчиков проводили в возрасте 7 месяцев. Полученные данные обрабатывали методами вариационной статистики. Для оценки существенности различий между двумя средними величинами использовали t критерий по Стьюденту.

Результаты и обсуждение. Среди молодняка 7 месячного возраста по итогам тестирования преобладали животные II поведенческого типа (38,3 %). Их было больше, чем особей III группы, на 13,0 %, I группы – на 1,9 %. При этом самую высокую живую массу отмечали у молодняка I типа – 27,25 кг, что достоверно выше, чем у особей II и III типа пищевого поведения, соответственно на 1,03 и 3,18 кг (табл. 1).

Влияние типов пищевого поведения на экстерьерные особенности у овец тувинской короткожирнохвостой породы ранее не изучали. Баранчики I сильного

Табл. 2. Экстерьерные показатели и размеры хвоста 7-месячного молодняка, см

Показатель	Группа		
	I	II	III
Высота в холке	62,35 $\pm$ 0,22**	61,43 $\pm$ 0,16	60,55 $\pm$ 0,17
Высота в крестце	64,27 $\pm$ 0,15**	63,26 $\pm$ 0,14	62,35 $\pm$ 0,16
Косая длина туловища	62,62 $\pm$ 0,17	61,90 $\pm$ 0,12	61,33 $\pm$ 0,16
Ширина груди	14,21 $\pm$ 0,14	13,63 $\pm$ 0,08	12,18 $\pm$ 0,14
Ширина в маклоках	12,17 $\pm$ 0,08	12,05 $\pm$ 0,08	11,0 $\pm$ 0,14
Ширина в седла-листных буграх	6,07 $\pm$ 0,78	6,00 $\pm$ 0,66	5,53 $\pm$ 0,62
Глубина груди	31,98 $\pm$ 0,46**	31,55 $\pm$ 0,46	28,57 $\pm$ 0,27
Обхват груди за лопатками	72,85 $\pm$ 0,14**	71,37 $\pm$ 0,13	68,05 $\pm$ 0,20
Обхват пясти	8,00 $\pm$ 0,07	7,60 $\pm$ 0,09	6,80 $\pm$ 0,06
Размеры хвоста:			
длина всего	22,92 $\pm$ 0,27*	20,58 $\pm$ 0,33	19,72 $\pm$ 0,21
длина жирной части	18,00 $\pm$ 0,32**	16,38 $\pm$ 1,02	14,88 $\pm$ 0,77
ширина у основания	15,10 $\pm$ 0,23*	14,03 $\pm$ 0,56	12,92 $\pm$ 0,60
ширина средней части	16,60 $\pm$ 0,27	17,45 $\pm$ 0,23	15,40 $\pm$ 0,22
обхват у основания	29,20 $\pm$ 0,57**	25,09 $\pm$ 0,25	23,42 $\pm$ 0,38
обхват в средней части	38,10 $\pm$ 0,92***	35,44 $\pm$ 1,24	30,33 $\pm$ 0,82
толщина	3,00 $\pm$ 0,44	2,95 $\pm$ 0,19	2,39 $\pm$ 0,28

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Табл. 3. Индексы телосложения баранчиков в возрасте 7 месяцев, %

Индекс	Группа		
	I	II	III
Длинноногости	48,71	43,75	52,82
Растянутости	100,43	100,76	101,28
Тазогрудной	116,76	113,11	110,72
Грудной	44,43	43,20	42,63
Сбитости	116,33	115,29	110,95
Массивности	116,84	116,18	112,38
Перерослости	103,03	102,97	102,97
Костистости	12,83	12,37	11,23

скороспелого уравновешенного типа по всем показателям экстерьера превосходили сверстников II, III типа поведения (табл. 2). Так, высота в холке у животных I группы составила 62,35 см, что на 0,96 см больше, чем во II группе, и на 1,80 см, по сравнению с III группой, высота в крестце была равна 64,27 см и превосходила величину этого показателя в двух других группах на 1,01 см и 1,92 см соответственно.

Достоверно большие размеры хвоста, кроме ширины его средней части, также отмечены у животных I типа поведения. Так, длина всего хвоста у них была равна 22,92 см, что соответственно на 2,34 и 3,20 см ($p<0,95$) больше, чем у сверстников из второй и третьей групп.

Самым высоким индексом длинноногости отличались животные III типа поведения, у которых он был выше, чем у особей I и II типов поведения, на 4,11 и 9,07 % соответственно (табл. 3). Это характеризует особей с таким типом поведения, как наиболее приспособленных для пастбы и указывает на меньшую выраженность их мясных форм.

Баранчики с I типом пищевого поведения превосходили сверстников по тазогрудному индексу на 3,65 и 5,82 %; по грудному – на 1,23 и 1,80 %; по индексу сбитости – на 1,55 и 4,62 %; массивности – на 0,66 и 4,46 %. Это свидетельствует о их соответствии мясному скороспелому типу овец.

Животные с I типом пищевого поведения характеризовались и самыми высокими убойными показателями (табл. 4). Так, масса парной туши в этой группе достоверно была больше, чем у сверстников II и III групп, соответственно на 0,92 и 1,85 кг (3,32 и 6,82 %), убойная масса – на 0,97 и 1,90 кг (3,58 и 7,0 %). В итоге в I группе установлен самый высокий выход туши, который был больше, чем у баранчиков II и III групп, на 1,8 и 2,06 %, выход мякоти (соответственно на 1,36 и 1,59 % выше) и убойный выход, который превосходил величину этого показателя в остальных группах на 2,1 %.

По результатам обвалки туш 7 месячных баранчиков установлено, что содержание мякоти в тушах животных I группы больше, чем у сверстников из II и III групп, соответственно на 0,65 и 1,33 кг (табл. 5). Доля мякотной части по группам варьировала от 69,61 до 69,96 %, костной ткани – в пределах от 16,46 до 17,36 %. По количеству жировой ткани резких различий не выявлено.

Ведущая характеристика морфологического состава туши – коэффициент мясности, определяемый отношением массы мякоти к массе костей. Самым высоким он был у баранчиков I и III групп: 4,25 и 4,22, тогда как у сверстников из II группы он был соответственно на 0,22 и 0,19 % ниже.

Табл. 4. Результаты убоя 7 месячных баранчиков (n=3)

Показатель	Группа		
	I	II	III
Предубойная живая масса, кг	27,12 ± 0,17**	26,18 ± 0,01	24,10 ± 0,24
Масса туши, кг	12,15 ± 0,35***	11,23 ± 0,11***	10,30 ± 0,05
Выход туши, %	44,80	43,00	42,74
Масса внутреннего жира, кг	0,35 ± 0,03	0,30 ± 0,03	0,30 ± 0,01
Масса жирного хвоста, кг	2,30 ± 0,21	2,10 ± 0,18	1,90 ± 0,32
Убойная масса, кг	12,50 ± 0,41**	11,53 ± 0,11	10,60 ± 0,08
Убойный выход, %	46,10	44,00	44,00
Масса мякоти, кг	8,50 ± 0,07	7,85 ± 0,05	7,17 ± 0,16
Масса костей и сухожилий, кг	2,20 ± 0,06	2,15 ± 0,09	1,90 ± 0,13
Выход мякоти, %	31,34	29,98	29,75

* $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$

Изучение физико-химического состава средней пробы мякоти (табл. 6) показало, что у животных тувинской короткожирнохвостой породы водно-белковое отношение мяса практически не зависит от типа пищевого поведения, хотя и наблюдается некоторая тенденцию к его сужению в I группе. Соотношение белка и жира во всех трёх группах приближалось к оптимальному уровню (1:1).

Зрелость мяса характеризует соотношение жира и влаги в средней пробе. По нашим расчетам у баранчиков в 7 месячном возрасте оно варьировала в пределах от 26,77 в I группе до 24,04 в III группе. Это свидетельствует максимальной зрелости мяса и возможности его реализации в год рождения баранчиков.

Соотношение сухого вещества и влаги отражает коэффициент скороспелости. Овцы тувинской короткожирнохвостой породы в возрасте 7 месяцев характеризовались высокой величиной этого показателя на

Табл. 5. Морфологический состав туш 7 месячных баранчиков

Показатель	Группа		
	I	II	III
Масса туши, кг	12,15 ± 0,35***	11,23 ± 0,11***	10,30 ± 0,05
Ткань мышечная кг	8,50 ± 0,07**	7,85 ± 0,05	7,17 ± 0,16
	% 69,96	69,90	69,61
костная кг	2,00 ± 0,06	1,95 ± 0,044	1,70 ± 0,04
	% 16,46	17,36	16,50
жировая кг	1,45 ± 0,07	1,23 ± 0,05	1,23 ± 0,06
	% 11,93	10,95	11,94
соединительная кг	0,20 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,20 ± 0,01
	% 1,65	1,78	1,94
Коэффициент мясности	4,25	4,03	4,22

** $p<0,01$; *** $p<0,001$

Табл. 6. Физико-химический состав средней пробы мякоти 7 месячных баранчиков

Показатель		Группа		
		I	II	III
Массовая доля	влаги	63,50 ± 4,50	63,80 ± 5,00	64,10 ± 5,00
	сухого вещества	36,50 ± 0,92	36,20 ± 0,65	35,90 ± 0,60
	белка	18,50 ± 0,20	18,20 ± 0,20	18,00 ± 0,10
	жира	17,00 ± 1,70	16,90 ± 1,50	16,70 ± 1,60
	зола	1,00 ± 0,10	1,10 ± 0,09	1,2 ± 0,12
Соотношение	влагобелковое	1:0,36	1:0,35	1:0,34
	жиробелковое	0,99:1	0,93:1	0,93:1
Энергетическая ценность 100 г мяса-фарша	ккал	227,00	224,90	222,30
	кДж	949,85	941,07	929,59
рН		5,70	5,70	5,70
Влагосвязывающая способность, %		43,26	48,66	41,02
Зрелость мяса, %		26,77	26,49	24,04
Коэффициент скороспелости, %		0,57	0,57	0,56

уровне 0,56-0,57 %, свидетельствующей о том, что животные интенсивно набирают мышечную массу.

Самым высоким белково-качественным показателем (БКП) отличалась мышечная ткань 7 месячных баранчиков I типа поведения (табл. 7). В это же группе отмечен наибольший уровень триптофана и оксипролина – 0,430 мг/ % и 0,156 мг/ % соответственно, что на 0,60 и 0,10 выше, чем у аналогов из II группы, и на 0,190 мг/ % и 0,024 мг/ %, по сравнению с III группой.

Содержание триптофана отражает наличие в мясе более полноценных белков, оксипролина – менее полноценных соединительнотканых белков, поэтому чем выше величина белково-качественного показателя, тем лучше вкусовые качества мяса. У продукции баранчиков первой группы БКП был равен 2,80, что выше, чем у животных II и III типов, на 0,2 и 1,0 соответственно, что характеризует мясо особей с I типом поведения как более полноценный и качественный продукт питания.

Табл. 7. Белково-качественный показатель мяса баранчиков

Группа	Аминокислота, мг/ %		Белково-качественный показатель
	триптофан	оксипролин	
I	0,430 ± 0,080	0,156 ± 0,019	2,80
II	0,370 ± 0,074	0,146 ± 0,011	2,60
III	0,240 ± 0,048	0,132 ± 0,016	1,80

Таким образом, в возрасте 7 месяцев живая масса ягнят тувинской короткожирнохвостой породы с сильным скороспелым уравновешенным типом пищевого поведения составила 27,30 кг, что на 1,03 и 3,18 кг выше, чем у сверстников II и III типов. Кроме того, они характеризовались большими высотными промерами, лучшим тазогрудным (на 3,65 и 5,82 % больше, чем у сверстников II и III типов соответственно) и грудным (на 1,23 и 1,8 %) индексом; индексом сбитости (на 1,55 и 4,62 %); массивности (на 0,66 и 4,46 %).

Масса парной туши у животных I группы была больше, чем во II и III, соответственно на 3,32 и 6,82 %, убойная масса – на 3,58 и 7,0 %, выход туши – на 1,8 и 2,06 %, убойный выход – на 2,1 %, содержание мякоти – на 0,65 и 1,33 кг. В этой же группе отмечен самый высокий уровень содержания триптофана – 0,43 мг/ %, что на 0,06 и 0,19 мг/ % выше, чем у аналогов II и III групп соответственно, и оксипролина – 0,156 мг/ %, что больше, по сравнению с группами II и III типов пищевого поведения, на 0,010 и 0,024 мг/ %.

Увеличение численности и широкое использование овец с I типом пищевого поведения (сильный скороспелый уравновешенный) будет способствовать повышению мясного потенциала овец тувинской короткожирнохвостой породы.

Литература.

- Абилов Б.Т. Интенсивное выращивание ягнят – повышает рентабельность производства баранины // Овца, козы, шерстяное дело. 2017. №3. С. 30.
- Двалишвили В.Г., Опакай Ч.М.О. Мясная продуктивность молодняка мясо-шерстных овец разного происхождения // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2018. № 4. С. 21–22.
- Помпаев П.М. Использование овец различных генотипов при производстве молодой баранины в Республике Калмыкия // Вестник Калмыцкого университета. 2012. №2 (14). С. 26.
- Карабаева М., Колотова Н. Мясная продуктивность и качество мяса молодняка овец разных генотипов // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2017. № 1. С. 16–21.
- Юлдашбаев Ю.А., Салаев Б.К., Гаряев Б.Е. Продуктивность и биологические особенности курдючных овец Калмыкии // Известия Тимирязевской академии. 2015. №5. С. 106–123.
- Кошелев Ю.П. Пищевое поведение и продуктивность валушков цыгайской породы овец: автореф. дис... канд. с.х. наук. Ставрополь, 2000. 24 с.
- Павлов Д.М. Взаимосвязь типа пищевого поведения с шерстной и мясной продуктивностью цыгайских ярок: автореф. дис... канд. с.х. наук. Саратов, 2002. 24 с.
- Хачиров Т.С. Продуктивность овец советской мясной-шерстной породы в зависимости от типа пищевого поведения и при разном уровне кормления: дисс... доктора с.х. н. Черкеск, 2006. 263 с.
- Dependence of the Physicochemical Composition and Biological Value of the Meat of Tuvanian Short – Fattailed Sheep on the Type of Feeding Behavior/ Y.A. Yuldashbayev, A.G. Koshchayev, T.A. Inyukina, et al. // International Journal of Engineering and Advanced Technology. Vol. 8. No. 6. P. 5161–5166.
- Productive-biological features of aday breed kazakh horses / M.T. Kargayeva, D.A. Baimukanov, A.K. Karynbayev, et al. // Eurasian Journal of Biosciences. 2020. Vol. 14. No. 1. P. 329–335.
- Molecular genetic profile of Kazakhstan populations of cattle breeds / A.S. Shamshidin, A. Kharzhau, D.A. Baimukanov, et al. // Bulletin of national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. 2019. Vol. 6. No. 382. P. 154–162. doi: 10.32014/2019.2518-1467.157.
- А. с. SU1442156 СССР, А 01 К 6. Способ определения стрессоустойчивости овец / Д.К. Беляев, В.Н. Мартынова. №4165846/30-15; заявл. 09.10.86; опубл. 07.12.88, Бюл. № 45. 12 с.

Поступила в редакцию 29.01.2021

После доработки 24.02.2021

Принята к публикации 11.03.2021

АССОЦИИИ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ УРОВНЯ IgG БЫКОВ- ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ЕСТЕСТВЕННОГО ИММУНИТЕТА ИХ ДОЧЕРЕЙ

И.Ю. Ездакова¹, доктор биологических наук, **А.М. Гулюкин¹**, доктор ветеринарных наук, **М.А. Еремина²**, доктор сельскохозяйственных наук, **С.В. Вальсиферова¹**, кандидат биологических наук

¹Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук»
109428, Москва, Рязанский просп., 24/1
E-mail: ezdakova.i@viev.ru

²Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ им. Академика Л. К. Эрнста
142132 Россия, Московская обл., г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60

Исследования крови быков-производителей дали возможность использовать показатель уровня сывороточных иммуноглобулинов G-изотипа в качестве биомаркера для классификации животных по стабильности и изменчивости синтеза антител. В соответствии с этой классификацией сформировали две группы первотелок – потомков быков. Цель работы – изучение естественного иммунитета первотелок – дочерей быков-производителей со стабильными (первая группа) и нестабильными (вторая группа) показателями IgG. Осенью и весной у животных брали кровь для подсчета лейкоцитарной формулы и измерения концентрации иммуноглобулинов G- и M-изотипов в сыворотке методом простой радиальной иммунодиффузии. Иммунореактивность клеток крови (индекс сдвига) определяли в нагрузочном тесте на основе фагоцитарной реакции с метаболитами S.dublin. Индекс сдвига в первой группе осенью был равен 1,28, во второй – 1,66. Весной функциональный потенциал фагоцитов резко снизился, индекс составлял 0,64 и 0,26, соответственно. В осенний период у первотелок от быков II группы фагоцитарная активность была в 1,8 раза ниже, а концентрация IgG и IgM выше, чем у дочерей быков со стабильными показателями (I группа). Содержание общего сывороточного IgG быков-производителей со стабильными показателями коррелирует с аналогичными параметрами их дочерей (r=0,53), что служит положительным фактором в наследовании этого признака.

ASSOCIATIONS BETWEEN THE INDICATORS OF THE IgG LEVEL OF BULLS AND THE NATURAL IMMUNITY OF THEIR DAUGHTERS

Ezdakova I.Yu.¹, Guulyukin A.M.¹, Eremina M.A.², Valtsiferova S.V.¹

¹Federal Scientific Center «All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Veterinary Medicine K.I. Scriabin and Ya. R. Kovalenko of the Russian Academy of Sciences»,
109428, Moskva, Ryazansky prosp., 24/1
E-mail: ezdakova.i@viev.ru

²Federal Scientific Center of Livestock - VIZH them. Academician L. K. Ernst,
142132, Moskovskaya obl., Podolsk, pos. Dubrovitsy, 60

Blood studies of bulls for two years made it possible to use the indicator of the level of serum immunoglobulins of the G-isotype as a biomarker for classifying animals according to the stability and variability of this trait. In accordance with this classification, two groups of first-calf heifers-descendants of bulls were formed. The aim of this work was to study the natural immunity of first-calf daughters of sire bulls with stable (first group) and unstable (second group) IgG values. In autumn and spring, blood was taken from first-calf heifers to calculate the leukocyte formula and the concentration of immunoglobulins G- and M-isotypes in the blood serum by simple radial immunodiffusion. The immunoreactivity of blood cells (shift index) was determined in an exercise test based on the phagocytic reaction with S.dublin metabolites. As a result of the conducted studies, it was found that the shift index in the first group was 1.28 in the fall, and in the second - 1.66. In spring, the functional potential of phagocytes sharply decreased, the index was 0.64 and 0.26, respectively. It was found that in the autumn period in first-calf daughters of Group II bulls, phagocytic activity is 1.8 times lower, and the concentration of IgG and IgM is higher than in first-calf daughters of bulls with stable parameters (Group I). It was found that the content of total serum IgG of bulls-producers with stable indicators correlated with similar parameters of their daughters (r = 0.53), which is a positive factor in the inheritance of this trait.

Ключевые слова: иммуноглобулины, быки-производители, фагоцитарная активность, первотелки, естественный иммунитет, корреляции

Key words: immunoglobulins, sires, phagocytic activity, heifers, natural immunity, correlations

Современные знания о устойчивости крупного рогатого скота к инфекциям свидетельствуют о целесообразности совершенствования пород в направлении улучшения естественной резистентности [1, 2]. Один из основных ее показателей – содержание иммуноглобулинов в сыворотке крови. Известно, что общие сывороточные иммуноглобулины и естественные антитела G-изотипа участвуют в устранении различных патогенов и регулировании иммунных реакций организма [3, 4]. Установлена возможность использования Ig в качестве дополнительного инструмента в селекции крупного рогатого скота для отбора на устойчивость к болезням [5].

Изучение взаимосвязи естественного иммунитета с продуктивностью, фертильностью и особенностями здоровья крупного рогатого скота различных пород – предмет исследования многих ученых [6, 7]. В частности, определены различия в иммунных реакциях у мясных и молочных пород крупного рогатого скота. В программах их селекции существуют значительные различия, что приводит к возникновению генетических и эпигенетических факторов, отражающих разницу в формировании иммунного ответа [8]. В наших предыдущих исследованиях было показано увеличение количества корреляций между иммунологическими показателями врожденной иммунной системы у бы-

ков мясных пород, по сравнению с особями молочных пород, что свидетельствует о функциональной напряженности иммунной системы, связанной с ускоренным развитием в процессе направленного отбора у животных хозяйственно полезных качеств [9].

Оценка состояния здоровья животных – сложная задача из-за отсутствия надежных и простых в измерении показателей. Сывороточные IgG могут стать именно тем маркером, который позволит отбирать животных с улучшенными показателями здоровья и продолжительности использования [10]. Биологическая роль IgG заключается в способности взаимодействовать с вирусами, липополисахаридами бактерий, внутриклеточными белками, индуцировать апоптоз. У млекопитающих IgG представляют собой важный компонент иммунной системы, формирующий вместе с IgM первичный иммунный ответ, связывающий естественный и специфический иммунитет. Синтез иммуноглобулинов, как и клеточно-опосредованные реакции, у крупного рогатого скота – наследственный признак [11, 12]. Общие сывороточные иммуноглобулины G-изотипа обнаружены у всех животных, протестированных без преднамеренной антигенной стимуляции [13]. У скота молочного направления продуктивности определена положительная фенотипическая связь между количеством антител в плазме, энергетическим балансом, молочной продуктивностью, содержанием молочного жира и белка. Установлено, что отрицательный энергетический баланс у животных в первую половину лактации может быть обусловлен нарушением врожденного иммунитета, о чем свидетельствует снижение концентрации IgG в сыворотке крови [14]. В исследованиях, проведенных на козах, проанализирован уровень естественных антител в сыворотке крови и показаны связи с общим уровнем иммуноглобулина G и специфическим ответом антител, что свидетельствует о важной роли Ig в механизмах формирования иммунного ответа на вирусные и бактериальные патогены [15]. Следовательно, есть вероятность, что концентрацию иммуноглобулинов в сыворотке крови, можно рассматривать в качестве биомаркера иммунореактивности организма для определения способности животного сохранять здоровье и долголетие. Наиболее информативным с этой точки зрения может быть IgG, который доминирует над остальными классами иммуноглобулинов. Именно этот изотип обеспечивает продолжительный и стойкий иммунитет против многих патологий.

В результате изучения сезонной динамики общих сывороточных IgG в сыворотке крови быков-производителей, были получены экспериментальные данные, анализ которых дал возможность использовать уровень содержания антител G-изотипа в качестве биомаркера для формирования двух групп животных [16]. Модуляция уровня Ig в сыворотке крови требует определенных энергетических затрат организма что, возможно, сопровождается снижением затрат на другие функции организма [17]. В связи с этим, представляет интерес изучение влияния нестабильного синтеза антител у быков-производителей на здоровье и показатели молочной продуктивности дочерей.

Цель исследований – поиск подходов к оценке племенных качеств крупного рогатого скота на основе иммунологических методов. Их научная новизна заключается в выборе динамической модуляции показателей IgG быков-производителей в качестве прогностического фактора здоровья дочерей.

Методика. До начала эксперимента по результатам вариативности показателя сывороточного иммуно-

глобулина G-изотипа, который исследовали в течение двух лет, быков-производителей голштинской породы, принадлежащих АО «Головной центр по воспроизводству сельскохозяйственных животных», разделили на 2 группы: со стабильными ($n=7$ голов, $C_v=8,86\%$) и нестабильными ($n=9$ голов, $C_v=25,73\%$) показателями IgG [18]. Возраст быков в период исследования составлял 4,3 года. С учетом изложенного в ФГУП Э/Х «Клёново-Чегодаево» сформировали две группы по 20 голов в каждой из клинически здоровых первотелок – потомков соответствующих быков-производителей.

В течение первой лактации у изучаемых животных утром до кормления в условиях асептики брали кровь из подхвостовой вены. Для подсчета лейкоцитарной формулы и определения фагоцитарной активности ее образцы помещали в пробирки с антикоагулянтом (ЭДТА). Концентрацию иммуноглобулинов изотипов G и M в сыворотке крови измеряли методом простой радиальной иммунодиффузии с использованием поли-(a/IgG) и моноклональных антител (a/IgM) [19]. Иммунореактивность клеток крови определяли в нагрузочном тесте на основе фагоцитарной реакции с метаболитами *S.dublin*. Культуральную жидкость микроорганизмов в фазе логарифмического роста центрифугировали и фильтровали (Millex-GS 0,22µm). Перед определением фагоцитарной активности 200 мкл крови КРС в среде RPMI-1640 инкубировали в равном объеме с метаболитами *S.dublin* в течение 30 мин. при 37 °C. Затем 2-кратно центрифугировали в фосфатно-солевом буфере (pH 7,2 ед.) при 1000 об/мин. В контрольные образцы вместо метаболитов добавляли 200 мкл культуральной среды. Фагоцитарную активность определяли с частицами латекса (1,5 мкм). Равные объемы крови и раствора латекса ($0,5 \times 10^6$) в среде RPMI-1640 смешивали и инкубировали при 37 °C в течение 30 мин. Из взвеси готовили мазки, высушивали, фиксировали и окрашивали азуран-эозином. Учет результатов проводили по формуле: $I_c = P_m / P_k$, где I_c – индекс сдвига; P_m – параметры реакции с метаболитами; P_k – параметры реакции без метаболитов [20]. Для изучения взаимосвязей между показателями определяли коэффициент корреляции Пирсона. Иммунологические показатели двух групп животных сравнивали по сезонам года (осень, весна) и продуктивным показателям, используя для статистической обработки результатов компьютерную программу «SPSS - Statistical package for the social sciences».

Результаты и обсуждение. В проведенном исследовании определяли количественный профиль иммунокомпетентных клеток крови первотелок и функциональный потенциал фагоцитов. Фагоцитарная активность клеток крови характеризует как прямое, так и опосредованное, путем представления антигена Т- и В-лимфоцитам, уничтожение патогена. Фагоциты – ключевые структурные компоненты эффекторных и регуляторных механизмов иммунной системы, которые играют решающую роль в патогенезе заболеваний [21]. Постоянство иммунного гомеостаза зависит от их функциональной активности, нарушение которой приводит к развитию хронических инфекционно-воспалительных заболеваний [22]. Такие патогенные микроорганизмы, как *Salmonella dublin*, могут препятствовать фагоцитозу и способствовать цитолизу нейтрофилов, что вызывает местное воспаление. Иммунореактивность фагоцитов крови в нагрузочном тесте с метаболитами *S.dublin* между двумя группами и по сезонам года достоверно различалась (табл. 1).

Метаболиты сальмонелл, в том числе экзотоксины (энтеротоксин, активирующий цАМФ, цитотоксин), не-

Табл. 1. Основные показатели естественного иммунитета первотелок (n=20)

Группа	Фагоцитарная активность, %		Лимфоциты, %	Моноциты, %	Эозинофилы, %	Нейтрофилы, %	IgG, мг/мл	IgM, мг/мл
	без нагрузки	с нагрузкой						
Осень								
I	48,3 ± 7,9*	61,6 ± 7,5*	51,1 ± 4,9	4,4 ± 0,6	10,3 ± 0,9	34,1 ± 4,2	27,1 ± 1,2	2,8 ± 0,1
II	26,7 ± 2,9	44,4 ± 7,0*	48,8 ± 3,5	5,3 ± 1,3	10,5 ± 2,3	35,3 ± 3,0	29,7 ± 1,3	3,4 ± 0,3
Весна								
I	36,6 ± 10,2	23,7 ± 5,8*	43,9 ± 5,1	5,7 ± 1,2	9,4 ± 1,7	31,1 ± 5,8	26,9 ± 0,3	2,7 ± 0,1
II	45,0 ± 7,07	11,7 ± 3,3*	55,2 ± 2,7	4,1 ± 0,7	9,8 ± 1,5	21,0 ± 2,3	25,4 ± 0,5	3,3 ± 0,3
*p≤0,05								

*p≤0,05

одинаково влияют на фагоцитарную активность клеток крови животных. Индекс сдвига осенью в первой группе составил 1,28, во второй – 1,66. Весной функциональный потенциал фагоцитов резко снизился, индекс был равен 0,64 и 0,26 соответственно. Следует отметить, что осенью метаболиты сальмонелл усиливали фагоцитарную активность клеток крови первотелок обеих групп (в I – на 13,3 %, во II – на 17,7 %), а весной уменьшали (соответственно на 12,9 % и 33,3 %). Таким образом, весной метаболиты *S. dublin* подавляли фагоцитарную активность иммунокомпетентных клеток крови в I группе животных в 1,5 раза, во II – в 3,8 раз. Следовательно, фагоциты первотелок I группы обладают более высоким функциональным потенциалом. У клинически здоровых животных на фоне невысокой активности фагоцитов, воздействие на них метаболитов бактерий носило модулирующий характер, осенью – стимулирующий, а весной – супрессирующий.

Повышенные на 21,6 % показатели фагоцитоза в I группе первотелок осенью свидетельствуют о их преимуществе перед животными II группы по защищенности от патогенных микроорганизмов в холодный период времени. Дефицит нейтрофилов и моноцитов, нарушение фагоцитарной функции, не способствуют адекватной иммунной защите, что приводит к развитию острых и хронических инфекционных заболеваний. Увеличение уровня иммуноглобулинов, в особенности IgM в осенне-весенний период года (I группа – 2,8-2,7 мг/мл, II группа – 3,3-3,4 мг/мл), свидетельствует о повышенной антигенной нагрузке на организм животных II группы. Таким образом, естественный иммунитет первотелок – потомков быков со стабильными IgG, по сравнению с животными от производителей с неста-

Табл. 2. Коэффициенты корреляции показателей естественного иммунитета

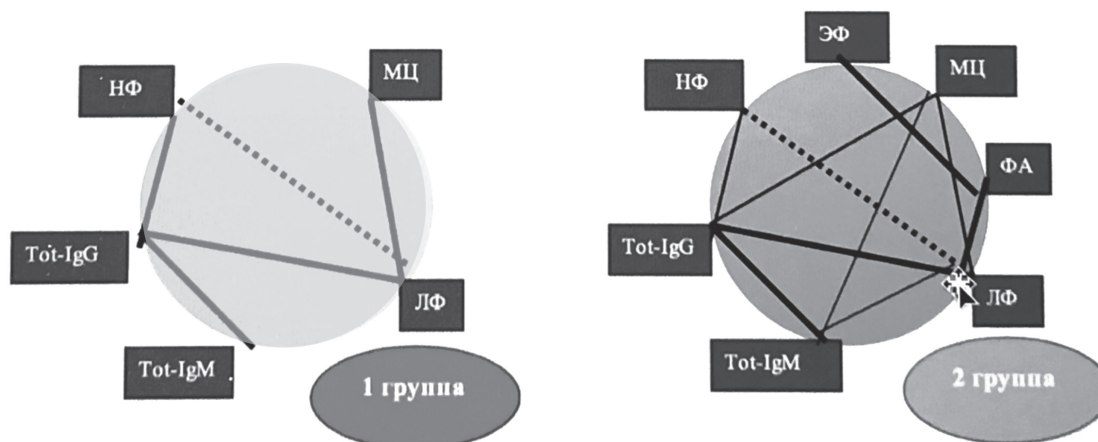
Корреляционные пары	I группа	II группа
IgG коров/IgG быков	0,53 ± 0,10*	0,05 ± 0,03
IgG/Фагоцитарная активность	0,52 ± 0,17*	0,10 ± 0,03
Нейтрофилы/Лимфоциты	-0,80 ± 0,08**	-0,79 ± 0,08**
IgG/Фагоцитарная активность с <i>S. dublin</i>	-0,37 ± 0,20	-0,39 ± 0,20
Нейтрофилы/Эозинофилы	-0,42 ± 0,19	-0,33 ± 0,21
Нейтрофилы/Фагоцитарная активность	0,56 ± 0,14*	0,44 ± 0,19
Лимфоциты/Моноциты	-0,68 ± 0,12**	0,67 ± 0,13**
Фагоцитарная активность/Эозинофилы	-0,25 ± 0,22	-0,56 ± 0,16*

**p≤0,01 *p≤0,05

бильными показателями, можно рассматривать как более эффективную противoinфекционную защиту.

Состояние иммунной системы в различные периоды онтогенеза подвержено значительным колебаниям под влиянием факторов окружающей среды и индивидуальной вариативности организма. Поэтому отдельные показатели не всегда адекватно её характеризуют. Определение функциональных связей между показателями позволяет не только понять общие закономерности формирования каскадов иммунных реакций в организме, но и оценить состояние иммунной системы [23].

По результатам наших исследований (табл. 2) со-



Уровень корреляций ($r \geq 0,5$) показателей естественного иммунитета коров:
 НФ – нейтрофилы; ЭФ – эозинофилы; МЦ – моноциты; ФА – фагоцитарная активность; ЛФ – лимфоциты;
 ——— – положительная связь; – отрицательная связь.

Табл. 3. Показатели молочной продуктивности коров по первой лактации (n=20)

Показатель	I группа	II группа
Возраст первого отела, дней	795, 5 ± 7,45	838,2 ± 16,6
Удой, кг	7764,58 ± 280,3	7359,56 ± 390,7
Массовая доля жира, %	4,32 ± 0,07	4,35 ± 0,08
Молочный жир, кг	326,8 ± 17,6	317,6 ± 23,0
Массовая доля белка, %	3,24 ± 0,05	3,21 ± 0,02
Молочный белок, кг	259,6 ± 11,9	231,4 ± 14,6

держание общего сывороточного IgG быков-производителей с его стабильными уровнем коррелировало с величиной аналогичного показателя у их потомков ($r=0,53$), что служит положительным фактором в наследовании этого признака. Мы не нашли функциональной связи между уровнем IgG первотелок и относительным количеством нейтрофилов, что было также показано в исследованиях Т. Н. Silva et al [4].

Известно, что с повышением специфической нагрузки возрастает количество компонентов, участвующих в реализации ее функций и наоборот [24]. При этом величина коэффициента корреляции от 0,5 до 0,7 свидетельствует о средней степени сопряженности показателей, а от 0,7 до 1,0 – о сильной связи между признаками (Г.Ф. Лакин, 1968). В нашем эксперименте число корреляционных связей между показателями иммунного статуса у первотелок II группы было в 2,3 раза выше, чем у особей I группы (см. рисунок). Это свидетельствует об адаптационной напряженности иммунной системы дочерей производителей с нестабильным содержанием IgG в сыворотке крови, так как увеличение числа средних и сильных корреляций, а именно функциональных связей между показателями естественного иммунитета, влияет на уровень защитных реакций и ограничивает их мощность.

Следует отметить, что высокая степень сопряженности обратной функциональной связи между количеством нейтрофилов и лимфоцитов у первотелок I ($r=0,90$) и II групп ($r=0,89$) подтверждает принцип антагонистической регуляции различных систем организма, в этом случае функционирования естественного и специфического звеньев иммунитета, что служит важнейшей биологической характеристикой здорового организма [25].

В результате проведенных исследований установлено, что стабильный уровень общих сывороточных IgG-изотипа в крови быков-производителей отражается не только на состоянии иммунной системы потомков, но и на некоторых показателях их молочной продуктивности, по которым ведётся селекция крупного рогатого скота. Так, животные I группы превосходили первотелок II группы по удою за 305 дней лактации на 405 кг, по молочному белку – на 28,2 кг. Кроме того, первый отел у них происходил на 42,9 дня раньше (табл. 3).

Таким образом, стабильный цикл синтеза IgG в организме быков-производителей положительно влияет на естественный иммунитет и молочную продуктивность дочерей. Потомки животных со стабильными показателями имеют преимущество в нейтрализации патогенных микроорганизмов (фагоцитоз), что повышает защитный потенциал организма, сохраняя его энергетический баланс.

Уровень IgG у быков-производителей и его стабильность в процессе онтогенеза, отражающие им-

мунную компетентность организма их дочерей, могут использоваться в качестве биомаркера для селекционной оценки животных. Кроме того, информацию о параметрах сывороточных IgG быков-производителей можно использовать для прогнозирования различий в иммунном статусе их потомков. Улучшение качества здоровья коров путем отбора быков-производителей по иммунологическим параметрам представляет собой возможность снизить заболеваемость и, соответственно, увеличить сроки хозяйственного использования их потомков.

Литература.

1. *Exploration of variance, autocorrelation, and skewness of deviations from lactation curves as resilience indicators for breeding* / M. Poppe, R.F. Veerkamp, M.L. van Pelt, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. No. 2. P. 1667–1684. doi: 10.3168/jds.2019-17290.
2. *Genetic variation in serum protein pattern and blood β -hydroxybutyrate and their relationships with udder health traits, protein profile, and cheese-making properties in Holstein cows* / A. Cecchinato, T. Bobbo, P.L. Ruegg, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 101. No. 12. P. 11108–11119. doi:10.3168/jds.2018-14907.
3. Herr M., Bostedt H., Failing K. IgG and IgM levels in dairy cows during the periparturient period // *Theriogenology*. 2011. Vol. 75. No. 2. P. 377–385. doi: 10.1016/j.theriogenology.2010.09.009
4. *Associations between circulating levels of natural antibodies, total serum immunoglobulins, and polymorphonuclear leukocyte function in early postpartum dairy cows* / T.H. Silva, M.L. Celestino, P.R. Menta, et al. // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2020. Vol. 222. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165242720300520?via%3Dihub> (дата обращения 20.10.2020)
5. Thompson-Crispi K.A., Miglior F., Mallard B.A. Genetic parameters for natural antibodies and associations with specific antibody and mastitis in Canadian Holsteins // *Journal of Dairy Science*. 2013. Vol. 96. No. 6. P. 3965–3972.
6. *Associations between immune competence, stress responsiveness, and production in Holstein-Friesian and Holstein-Friesian $\times$ Jersey heifers reared in a pasture-based production system in Australia* / J.W. Aleri, B.C. Hine, M.F. Pyman, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102. No. 4. P. 3282–3294. doi:10.3168/jds.2018-14578.
7. *Genetic and Epigenetic Regulation of Immune Response and Resistance to Infectious Diseases in Domestic Ruminants* / M. Emam, A. Liveriois, M. Paibomesai, et al. // *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*. 2019. 35 (3). P. 405–429. doi: 10.1016/j.cdfa.2019.07.002.
8. *Differential responsiveness of Holstein and Angus dermal fibroblasts to LPS challenge occurs without major differences in the methylome* / A.L. Benjamin, B.B. Green, B.A. Crooker, et al. // *BMC Genomics*. 2016. Vol. 17. URL: <https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-016-2565-x> (дата обращения 05.06.2020)
9. Ezdakova I.Yu., Eremina M.A., Popova E.B. Monitoring of immune system status in dairy and beef bull sires // *Russian Agricultural Sciences*. 2016. Vol. 42. No. 2. P. 171–173. doi: 10.3103/S1068367416020038.

10. Phenotypic and genetic relationships of bovine natural antibodies binding keyhole limpet hemocyanin in plasma and milk / B. de Klerk, B.J. Ducro, H.C.M. Heuven, et al. // *Journal of Dairy Science*. 2015. Vol. 98. No. 4. P. 2746–2752. doi:10.3168/jds.2014-8818.
11. Heriazon A, Quinton M., Miglor F. Phenotypic and genetic parameters of antibody and delayed-type hypersensitivity responses of lactating Holstein cows//*Veterinary Immunology and immunopathology*. 2013. Vol. 154. No. 3–4. P. 83–92. doi: 10.1016/j.vetimm.2013.03.014.
12. Heriazon A., Hamilton K., Huffman J. Immunoglobulin isotypes of lactating Holstein cows classified as high, average, and low type-1 or-2 immune responders // *Veterinary Immunology and immunopathology*. 2011. Vol. 144. No. 3–4. P.259–269. doi: 10.1016/j.vetimm.2011.08.023.
13. Ochsenbein A.F., Zinkernagel R.M. Natural antibodies and complement link innate and acquired immunity // *Immunology Today*. 2000. Vol. 21. No. 12. P. 624–630. doi:10.1016/S0167-5699(00)01754-0.
14. Natural antibodies related to energy balance in early lactation dairy cows / A.T.M. van Knegsel, G. de Vries Reilingh, S. Meulenberg? et al. // *J. Dairy Sci*. 2007. Vol. 90. No. 12. P. 5490–5498. doi:10.3168/jds.2007-0289.
15. Cecchini S., Rufrano D., Caputo A.R. Natural antibodies and their relationship with total immunoglobulins and acquired antibody response in goat kid (*Capra hircus*, L. 1758) serum// *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2019. Vol. 211. P. 38–43. doi:10.1016/j.vetimm.2019.04.004.
16. Диагностические критерии оценки состояния иммунной системы быков-производителей/ И.Ю. Ездакова, М.А. Еремина, М.С. Ефремова и др. // *Ветеринария и кормление*. 2014. № 2. P. 10–12.
17. Романюха А.А. Иммунная система: норма и адаптация// *Иммунология*. 2009. № 1. С. 7–13.
18. Еремина М.А., Ездакова И.Ю. Возрастные и сезонные изменения показателей иммунного статуса у быков-производителей// *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2018. № 2. С. 48–56. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbol.2018.2.48-56.
19. Ездакова И.Ю., Поляков В.Ф. Уровень иммуноглобулинов в сыворотке крови различных групп крупного рогатого скота//*Ветеринария*. 2018. № 7. С. 21–24. doi:10.30869/0042-4846.2018.21.7.21-24
20. Использование нагрузочных тестов для оценки фагоцитарной активности клеток крови животных / И.Ю. Ездакова, М.Н. Лоцинин, М.С. Журавлева и др. // *Ветеринария и кормление*. 2015. № 1. С. 14–16.
21. Neutrophils and Immunity: From Bactericidal Action to Being Conquered / T.-S. Teng, A.-L. Ji, X.-Y. Ji et al. // *Journal of Immunology Research*. 2017. URL: <https://www.hindawi.com/journals/jir/2017/9671604/> (дата обращения 15.09.2020).
22. Borregaard N. Neutrophils, from marrow to microbes// *Immunity*. 2010. Vol. 33. P.657–670. doi:10.1016/j.immuni.2010.11.011.
23. Корреляционный анализ взаимоотношений структур тимуса и крови после использования полиоксидония / Г.Ю. Стручко, Л.М. Меркулова, М. Захид и др. // *Медицина и образование в Сибири*. 2012. № 2. С. 57–63.
24. Михайленко А.А., Федотова Т.А. Роль корреляционных взаимосвязей в оценке функциональных возможностей иммунной системы// *Иммунология*. 2000. № 6. С. 59–61.
25. Пальцын А.А. Донат Семенович Саркисов (к 90-летию со дня рождения)// *Архив патологии*. 2014. № 6. С. 84–86. doi: 10.17116/patol201476684-86.

Поступила в редакцию 15.12.2020
После доработки 17.02.2021
Принята к публикации 01.03.2021

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРЕПАРАТА, СОДЕРЖАЩЕГО НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА И ДИМЕТИЛСУФОКСИДА, НА ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КОРОВ, БОЛЬНЫХ ПОСЛЕРОДОВЫМ ГНОЙНО-КАТАРАЛЬНЫМ ЭНДОМЕТРИТОМ, С ОЦЕНКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ

Е.В. Нефедова, кандидат ветеринарных наук
Н.Н. Шкиль, доктор ветеринарных наук

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН,
630501, Новосибирская область, п. Краснообск, а/я 485
E-mail: nicola07@mail.ru

Исследование проводили с целью изучения влияния препарата арговит и диметилсульфоксида на морфологические, биохимические и иммунологические показатели крови коров больных послеродовым гнойно-катаральным эндометритом. Работу выполняли в 2019–2020 гг. в Новосибирской области в период массового отела. Для эксперимента сформировали три группы по 50 голов в каждой: контрольную, состоящую из здоровых особей, и две опытные, включающие коров больных послеродовым гнойно-катаральным эндометритом. Особям первой опытной группы внутриматочно вводили препарат, содержащий 10 %-ный водный раствор арговита и 5 %-ный водный раствор димексида в дозе 0,3 мл/кг живой массы 1 раз в 48 ч до исчезновения клинических признаков болезни, а также утеротон внутримышечно в количестве 0,02 мл/кг живой массы, однократно. Коровам второй опытной группы вводили внутриматочно рыбий жир (0,3 мл/кг живой массы) с окситетрациклин гидрохлоридом (40 мг/кг живой массы) 1 раз в 48 ч и утеротон внутримышечно в количестве 0,02 мл/кг живой массы, однократно. После лечения послеродового гнойно-катарального эндометрита коров в первой подопытной группе отмечали незначительное повышение уровня фагоцитарной активности на 1,3 %, фагоцитарного индекса – на 1,4 %, фагоцитарного числа – на 4,9 %, относительно показателей до лечения. Во второй опытной группе наблюдали снижение величин этих показателей соответственно на 1,3 %, 8,4 % и 9,0 %. Результаты гематологических и биохимических исследований крови при лечении послеродового гнойно-катарального эндометрита коров препаратом, содержащим 10 %-ный водный раствор арговита и 5 %-ный водный раствор димексида, показали отсутствие его негативного влияния на основные физиологические параметры.

INFLUENCE OF A COMPLEX PREPARATION CONTAINING SILVER AND DIMETHYL SULFOXIDE NANOPARTICLES ON BLOOD INDICATORS OF COWS WITH CLINICAL ENDOMETRITIS WITH ESTIMATION OF TREATMENT EFFICIENCY

Nefedova E.V., Shkil N.N.

Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences,
630501, Novosibirskaya oblast', p. Krasnoobsk, a/y 485,
E-mail: nicola07@mail.ru

The study was conducted to study the effect of argovite and dimethylsulfoxide on the morphological, biochemical and immunological blood parameters of cows with clinical endometritis from 2019 to 2020 on the farm of the Novosibirsk region during the mass calving period. The animals were divided into a control group consisting of healthy animals (n=50) and two experimental groups including cows with clinical endometritis. The first experimental group (n=50) was administered intrauterine complex drug containing 10% aqueous solution of argovit and 5 % aqueous solution of dimexide at a dose of 0,3 ml/kg of live weight 1 time in 48 hours, as well as uterotone intramuscularly 0,02 ml/kg of live weight, once, 1 time in 48 hours. The cows of the second experimental group (n=50) were injected intrauterine with fish oil (0,3 ml/kg of live weight) with oxytetracycline hydrochloride (40 mg / kg live weight), once every 48 hours and uterotone intramuscularly 0,02 ml/kg live weight, once, once every 48 hours. After treatment of clinical endometritis of cows in the first experimental group, there was a slight increase in the level of phagocytic activity (FA) by 1,3 %, phagocytic index (FI) by 1,4 %, and phagocytic number (PH) by 4,9% relative to the indicators before treatment. In the second experimental group, after treatment, there was a decrease in the level of FA by 1,3%, FI by 8,4%, and PH by 9,0 %. The results of hematological and biochemical blood tests in the treatment of clinical endometritis of cows with the drug of the first experimental group showed the absence of its negative effect on the main physiological parameters.

Ключевые слова: эндометрит, серебро, диметилсульфоксид, лечение, кровь

Key words: endometritis, silver, dimethyl sulfoxide, treatment, blood

Молочное скотоводство – важная отрасль агропромышленного комплекса, которая поддерживает стабильность рынка социальных продуктов. Его благополучному развитию препятствуют акушерско-гинекологические болезни, которые наносят существенный экономический ущерб, вследствие снижения молочной продуктивности и репродуктивного потенциала, преждевременной выбраковки коров [1].

Главный этиологический фактор возникновения эндометритов – патогенная и условно патогенная микрофлора, проникающая в матку в послеродовой период, во время течки, искусственного осеменения загрязненной спермой [2, 3]. Эндометриты диагностируют у 30...40 %, а в высокопродуктивных стадах у 70...80 % отелившихся коров, при этом у переболевших живот-

ных вероятность плодотворного осеменения снижается на 17...40 %, а продолжительность сервис период увеличивается на 51...69 дней [4, 5].

Базовая схема лечения эндометритов основана на местной этиотропной терапии антибактериальными, сульфаниламидными, нитрофурановыми препаратами, а также их различными комбинациями. Однако использование противомикробных препаратов сопровождается быстрой выработкой устойчивости к ним у патогенной микрофлоры и отрицательным влиянием на биологическую безопасность производимой продукции [6, 7, 8].

В связи с этим возникает необходимость разработки новых комплексных препаратов, в том числе с использованием продуктов нанотехнологий, что открывает возможности для повышения их эффективности

[9]. Так, изучение особенностей воздействия препарата, содержащего AgNPs размером $43,6 \pm 10,7$ нм, стабилизированного полимером поливинилпирролидон, на иммунную систему мышей показало, что его ингаляционное и внутривентральное введение не оказывает токсического влияния на клетки и органы иммунной системы, а также продукцию цитокинов, не вызывает изменений в содержании Т- и В-лимфоцитов в селезенке экспериментальных животных. Подкожная инъекция препарата приводит к изменению субпопуляционного состава лимфоцитов, увеличению количества γ -интерферон (ИФН) продуцирующих Т-лимфоцитов в селезенке, по сравнению с контролем, в 3,6 раза, повышает содержание γ -ИФН в сыворотке крови мышей до $125,0 \pm 9,2$ пкг/мл (при $74,5 \pm 6,4$ пкг/мл в контроле) [10].

Цель исследований – изучить влияние комплексного препарата, состоящего из наночастиц серебра и диметилсульфоксида, на морфологические, биохимические и иммунологические показатели крови коров при лечении послеродового гнойно-катарального эндометрита с оценкой эффективности лечения.

Методика. Работу проводили с 2019 по 2020 гг. в Новосибирской области. Для этого сформировали три группы животных по 50 голов в каждой: первая – контрольная, состоящая из здоровых особей, и две опытные группы. Животным первой опытной группы внутриматочно вводили препарат, в состав которого входил 10 %-ный водный раствор арговита (содержащий AgNPs) в сочетании с 5 %-ным водным раствором диметилсульфоксида, в дозе 0,3 мл/кг живой массы, 1 раз в 48 ч, до исчезновения клинических признаков болезни. Кроме того, однократно внутримышечно вводили Утеротон в количестве 0,02 мл/кг живой массы.

Во второй опытной группе применяли рыбий жир (0,3 мл/кг живой массы) с окситетрациклина гидрохлоридом (40 мг/кг живой массы) внутриматочно 1 раз в 48 ч и утеротон (0,02 мл/кг живой массы) внутримышечно однократно. Выбор антимикробного препарата, одним из компонентов которого был окситетрациклина гидрохлорид, сделан на основании результатов предварительно проведенных бактериологических исследований маточного содержимого больных животных.

Препарат арговит представляет комплекс высокодисперсных частиц кластерного серебра ($12...15$ мг/мл), поливинилпирролидона (200 мг) и воды для инъекций (до 1 мл). Он обладает широким спектром антимикробного действия в отношении аэробных и анаэробных, грамотрицательных и грамположительных, аспорогенных и спорообразующих бактерий в виде монокультур и микробных ассоциаций. Диметилсульфоксид (ДМСО) – апротонный растворитель, обладает противовоспалительными, анальгезирующими и анти-септическими свойствами, увеличивает скорость проникновения лекарственных веществ в клетки.

Рыбий жир, полученный из рыбы и морских млекопитающих, – источник витаминов и полиненасыщенных жирных кислот, в 1 мл которого содержится 600 мкг витамина Е, 500 МЕ витамина А, 30 МЕ витамина Д3. Применяется внутрь для профилактики и лечения недостаточности витамина А, рахита, хронических инфекций, половых нарушений у животных. Окситетрациклин гидрохлорид – антибактериальный препарат группы тетрациклинов, оказывающий эффективное воздействие на риккетсии, грамотрицательные и грамположительные микробы и вирусы.

Утеротон – лекарственное средство, содержащее анаприлин (пропранолол гидрохлорид), для лечения и профилактики гинекологических заболеваний у коров,

оказывает блокирующее действие на бета-адренорецепторы миометрия, способствуя проявлению активности эндогенного окситоцина и усиливая сокращения гладкой мускулатуры матки.

Препараты вводили с использованием шприца Жанэ, резинового переходника и полистероловой пипетки. Перед их инфузией выполняли туалет наружных половых органов коров водным раствором перманганата калия в соотношении 1:5000.

Гинекологические исследования для выявления послеродового эндометрита осуществляли согласно методическим рекомендациям «Профилактические, диагностические и лечебные мероприятия по повышению воспроизводительной функции коров» (2011). При клиническом исследовании коров отмечали отечность вульвы, при лежании на корне хвоста наблюдали выделение густого, сметанообразного экссудата из половых путей. При ректальном исследовании отмечали увеличение матки в размере и опущение ее в брюшную полость. При пальпации фиксировали дряблость стенки матки, вялые сокращения, флюктуирующая жидкость. При вагинальном осмотре, слизистой оболочки влагалища и влагалищной части шейки матки отмечали отечность. Канал шейки матки был приоткрыт на 1...2 пальца, из него в полость влагалища выделялся гнойно-катаральный экссудат. Гнойно-катаральный эндометрит дифференцировали от вагинита, метрита и открытой формы пиометры.

При гнойно-катаральном эндометрите поражаются преимущественно слизистые оболочки, в то время как у метрита наблюдается выпотевание и отложение фибрина, как на поверхности, так и в толще слизистой оболочки матки. Из матки выделяется зловонный красно-бурый экссудат с примесью сгустков фибрина. При ректальном исследовании матка плотная, с признаками крепитации. Слизистая оболочка влагалища сухая, горячая, безболезненная. Вагинит характеризуются гиперемией, отечностью, болезненностью и часто сухостью слизистой оболочки преддверия влагалища и влагалища с выпотеванием фибринозного экссудата. Слизистая оболочка в местах отложения фибрина приобретает грязно-серый цвет и постепенно отторгается, образуя некротические язвы. Из половых органов выделяется бурая или кровянистая жидкость с ихорозным запахом. Пиометра – это инфекционное воспалительное заболевание, при котором в полости матки скапливается большое количество экссудата, выделяющегося наружу с неприятным запахом. При ректальном исследовании матка растянута, увеличена, рога свисают в брюшную полость, стенки утолщены.

Подтверждение диагноза осуществляли методом Дюденко. Для этого в стеклянную пробирку помещали 2 мл лохий из цервикального канала, добавляли 2 мл 20 %-ной трихлоруксусной кислоты, смешивали стеклянной палочкой и пропускали через фильтровальную бумагу в течение 1 ч. Далее к содержимому пробирки добавляли 0,5 мл азотной кислоты и кипятили над пламенем спиртовки в течение 1 мин. После охлаждения к полученной смеси приливали 1,5 мл 33 %-ного раствора едкого натрия и тщательно перемешивали. На фоне белой бумаги определяли окраску раствора, которая при наличии гнойно-катарального эндометрита приобретает оранжевый цвет. Для измерения pH содержимого матки у больных коров использовали индикаторные полоски (pH 0-12).

Основными критериями оценки терапевтической эффективности были исчезновение клинических признаков воспаления матки, улучшение общего состояния, восстановление способности к оплодотворению. После диагностики беременности у каждого животного

Табл. 1. Морфологические показатели крови коров до и после лечения эндометрита

Показатель	Группа ¹		
	контроль	I опытная	II опытная
Гемоглобин, г/л	98,8 ± 1,7	92,7 ± 0,3 91,6 ± 0,1*	94,5 ± 1,1 94,1 ± 0,7*
Эритроциты, 1012/л	6,7 ± 0,15	6,1 ± 0,4 6,6 ± 0,1*	6,3 ± 0,2 6,6 ± 0,1*
Лейкоциты, 109/л	7,5 ± 0,14	12,6 ± 0,8 8,4 ± 0,3*	13,8 ± 0,6 9,1 ± 0,5*
Гранулоциты, 109/л	2,3 ± 0,1	2,4 ± 0,1 2,6 ± 0,2*	2,6 ± 0,1 2,5 ± 0,2*
Лимфоциты, 109/л	1,89 ± 0,1	2,3 ± 0,1 2,2 ± 0,1*	2,3 ± 0,1 2,1 ± 0,2*
Моноциты, %	2,7 ± 0,1	3,1 ± 0,3 3,2 ± 0,1*	3,0 ± 0,1 2,9 ± 0,1*

¹ в числителе до введения препарата, в знаменателе – после введения;

*p < 0,05 между показателями до и после введения препарата

го определяли количественные показатели репродуктивной функции – оплодотворяемость от первого осеменения, дни бесплодия, индекс осеменения.

Материалом для исследования служила кровь животных, которую исследовали до и после применения препаратов. Ее брали до кормления из хвостовой вены с соблюдением правил асептики и антисептики в пробирки КЗ-EDTA и Сerebrum с активатором свертываемости. Гематологические и биохимические исследования крови проводили на приборах Mindray BC-2800 Vet; Urit 800 vet. Показатели неспецифической резистентности организма определяли до и после проведения опыта, руководствуясь методическими рекомендациями ИЭВС и ДВ Россельхозакадемии по оценке естественной резистентности сельскохозяйственных животных (2003).

Результаты исследований обрабатывали вариационно-статистическими методами.

Результаты и обсуждение. Установлена высокая лечебная эффективность терапии послеродового гнойно-катарального эндометрита коров препаратом, содержащим растворы арговита и диметилсульфоксида, в сравнение с комплексным средством, в состав которого входили рыбий жир и окситетрациклин гидрохлорид. Средний срок лечения животных в первой опытной группе составил $6,9 \pm 0,3$ суток, что в 2 раза меньше чем во второй ($14,1 \pm 0,6$ суток).

В ходе лечения произошло уменьшение воспалительных процессов в организме, характеризующееся выраженным снижением уровня лейкоцитов в первой подопытной группе с $12,6 \pm 0,8 \cdot 10^9$ кл/л до $8,4 \pm 0,3 \cdot 10^9$ кл/л, во второй – с $13,8 \pm 0,6 \cdot 10^9$ кл/л до $9,1 \pm 0,5 \cdot 10^9$ кл/л соответственно (табл. 1). Лейкоцитоз, наблюдавшийся до лечения, мы связываем с воспалительным процессом в матке. Содержание гемоглобина, эритроцитов, гранулоцитов, лимфоцитов, моноцитов в обеих подопытных группах до и после лечения послеродового гнойно-катарального эндометрита коров изменялись менее значительно.

После терапии послеродового гнойно-катарального эндометрита коров концентрация щелочной фосфатазы в крови коров первой опытной группы было достоверно выше, чем у особей второй, на 0,2 %, белка – на 1,4 %, мочевины – на 1,5 % (табл. 2). Содержание α-глобулинов в крови коров первой и второй опытных групп было выше, чем в контроле, на 7,5 и 15,7 % (p<0,05).

При терапии животных второй опытной группы также отмечено увеличение концентрации АЛТ, по сравне-

нию с контролем, на 11,8 %, мочевины – на 7,3 %, белка – на 3 %, креатинина – на 2,1 %, щелочной фосфатазы – на 1,8 %, АСТ – на 1,9 %. Повышение уровня АЛТ указывает на ухудшение функционального состояния печени и токсическое действие средства, содержащего рыбий жир и окситетрациклин гидрохлорид на гепатоциты.

После лечения послеродового гнойно-катарального эндометрита у коров первой опытной группы отмечали повышение показателей иммунного статуса, по сравнению со второй. Лизоцимная (ЛАСК) и бактерицидная активности сыворотки крови (БАСК) возрастали соответственно на 4,3 % и 0,5 % (табл. 3). Во второй опытной группе после терапии выявлено снижение уровня ЛАСК, относительно показателей животных в контроле, на 28,8 % с одновременным ростом БАСК на 2,9 %.

В первой опытной группе после лечения послеродового гнойно-катарального эндометрита коров выявлен достоверный рост фагоцитарной активности (ФА), относительно уровня до лечения, на 1,3 %, фагоцитарного индекса (ФИ) – на 2,7 %, фагоцитарного числа (ФЧ) – на 4,5 %. Во второй опытной группе установлено их снижение после введения изучаемых препаратов соответственно на 1,3 %, 8,4 % и 9,0 %. При сравнении показателей первой подопытной группы с контролем установлен рост ФА на 0,5 %, ФЧ – на 1,2 %, ФИ – на 1,3 %, в то время как во второй опытной группе они были ниже, чем в контрольной, соответственно на 4,0

Табл. 2. Биохимические показатели крови коров, больных послеродовым гнойно-катаральным эндометритом

Показатель	Группа ¹		
	контроль	I опытная	II опытная
Кальций, ммоль/л	2,8 ± 0,1	2,3 ± 0,1 2,2 ± 0,1*	2,2 ± 0,1 2,1 ± 0,1*
Фосфор, ммоль/л	1,6 ± 0,01	1,9 ± 0,1 1,7 ± 0,1*	2,1 ± 0,2 1,9 ± 0,1*
Щелочная фосфатаза, ед/л	62,0 ± 0,7	61,7 ± 0,8 62,1 ± 0,1*	63,4 ± 0,5 63,1 ± 0,4*
Белок, г/л	71,1 ± 1,82	71,3 ± 1,4 72,1 ± 0,7*	72,8 ± 0,2 73,2 ± 0,1*
Глюкоза, ммоль/л	3,3 ± 0,01	2,7 ± 0,1 3,3 ± 0,1*	3,2 ± 0,2 3,1 ± 0,1*
АСТ, ед/л	42,8 ± 1,7	43,1 ± 0,5 42,6 ± 0,9*	44,1 ± 0,7 43,6 ± 0,4*
АЛТ, ед/л	27,9 ± 1,3	27,8 ± 0,6 26,7 ± 0,3*	28,4 ± 0,6 31,2 ± 0,1*
Билирубин общий, мкмоль/л	7,7 ± 0,1	8,1 ± 0,5 7,6 ± 0,3*	7,9 ± 0,4 6,5 ± 0,1*
Креатинин, мкмоль/л	71,6 ± 0,8	72,2 ± 0,6 71,5 ± 0,2*	74,8 ± 0,9 73,1 ± 0,7*
Холестерин, мкмоль/л	3,9 ± 0,1	4,2 ± 0,1 3,9 ± 0,2*	4,1 ± 0,3 3,8 ± 0,1*
Мочевина, мкмоль/л	6,8 ± 0,2	7,2 ± 0,5 6,9 ± 0,1*	7,4 ± 0,2 7,3 ± 0,4*
Альбумин, г/л	45,0 ± 0,4	42,1 ± 0,3 44,8 ± 0,1*	41,5 ± 0,1 44,4 ± 0,2*
α-глобулины, %	19,1 ± 0,7	21,3 ± 0,5 18,6 ± 0,1*	22,1 ± 0,7 17,8 ± 0,1*
β-глобулины, %	14,7 ± 0,3	15,8 ± 0,1 14,7 ± 0,5*	15,3 ± 0,4 14,1 ± 0,3*
γ-глобулины, %	27,1 ± 0,2	25,8 ± 0,9 26,9 ± 0,5*	26,1 ± 0,7 27,7 ± 0,2*

¹ в числителе до введения препарата, в знаменателе – после введения;

*p < 0,05 между показателями до и после введения препарата

Табл. 3. Иммунологические показатели крови до и после лечения послеродового гнойно-катарального эндометрита коров

Показатель	Группа ¹		
	контроль	I опытная	II опытная
ЛАСК, %	20,8 ± 0,3	14,8 ± 0,1 21,7 ± 0,4*	15,2 ± 0,1 14,8 ± 0,3*
БАСК, %	62,0 ± 0,7	58,4 ± 1,2 62,3 ± 0,9*	57,3 ± 0,5 63,8 ± 0,3*
ФА, %	69,1 ± 0,1	68,4 ± 1,4 69,3 ± 0,7*	67,2 ± 1,1 66,3 ± 0,7*
ФИ, ед.	7,4 ± 0,3	7,3 ± 0,4 7,5 ± 0,2*	7,1 ± 0,5 6,5 ± 0,3*
ФЧ, ед.	8,4 ± 0,1	8,1 ± 1,1 8,5 ± 0,2*	7,8 ± 0,7 7,1 ± 1,3*

¹в числителе до введения препарата, в знаменателе – после введения;

*p<0,05 между показателями до и после введения препарата

%, 15,5 %, 12,2 %. Уменьшение величин этих показателей указывает на неэффективность протекающих иммунных реакций в организме.

Продолжительность сервис периода у коров во второй опытной группе была больше, чем в контрольной, на 82,6 % (табл. 4), в первой – только на 21,5 %. Индекс осеменения у животных контрольной группы составил 1,6±0,1, в первой опытной он был выше на 12,5 %, во второй – на 43,75 %. При этом результаты осеменения считаются хорошими, когда величина этого показателя равна 1,6...1,8, удовлетворительными – 1,9...2,0, плохими – 2,1 и более [14].

Табл. 4. Влияние препаратов различных фармакологических групп на репродуктивную функцию коров

Показатель	Группа		
	контроль	I опытная	II опытная
Количество коров в группе	50	50	50
Выздоровело коров в группе	-	50	48
Оплодотворилось коров	50	50	44
Продолжительность сервис периода	50,7 ± 0,7	61,6 ± 2,3	92,6 ± 3,6
Оплодотворилось коров после первого осеменения	27	25	20
Индекс осеменения	1,6 ± 0,1	1,8 ± 0,7	2,3 ± 0,9

Таким образом, после терапии послеродового гнойно-катарального эндометрита коров с использованием препарата, содержащего наночастицы серебра и диметилсульфоксид уровень ЛАСК возрос, относительно исходного в начале эксперимента, на 6,9 % (p < 0,05), БАСК – на 4,4 % (p < 0,05), ФА – на 1,3 % (p < 0,05), ФИ – на 2,7 % (p < 0,05), ФЧ – на 4,5 % (p < 0,05), что указывают на стимулирующее воздействие изучаемого средства на показатели неспецифического и клеточного звена иммунитета.

По результатам исследований отмечено отсутствие отрицательного влияния препарата на морфологические, биохимические и иммунологические показатели крови коров, больных послеродовым гнойно-катаральным эндометритом.

При терапии послеродового гнойно-катарального эндометрита с использованием композиции, в состав которой входят агровит и диметилсульфоксид средний срок лечения животных составил 6,9 ± 0,3 суток, что в 2 раза меньше чем во второй опытной группе. Продолжительность сервис периода после лечения увеличился соответственно на 21,5 % и 82,6 %.

Литература.

1. Шабунин С.В. Системное решение проблемы сохранения воспроизводительной способности и продуктивного долголетия молочного скота / С.В. Шабунин, А.Г. Нежданов // Современные проблемы ветеринарного акушерства и биотехнологии воспроизведения животных: Мат. межд. науч.-практ. конф. Воронеж: «Истоки», 2012. С. 10–20.
2. Багманов М.А. Акушерско-гинекологическая патология коров (монография). Ульяновск: Ульяновск ГСХА, 2005. 2070 с.
3. Сидоров М.А., Федотов В.Б. Определитель зоопатогенных микроорганизмов. М.: Колос, 1995. 319 с.
4. Еремин С.П., Блохин П.Н., Комарова Г.Д. Повышение эффективности ведения скотоводства // Ветеринарная медицина. 2012. №1. С. 12–13.
5. Тяпугин Е.А. Теория и практика интенсификации репродуктивной активности в молочном скотоводстве. Вологда: ООО ПФ «Полиграфист», 2008. 451 с.
6. Яшин И.В., Зоткин Г.В., Блохин П.И. Патологии репродуктивных органов у коров в хозяйствах Нижегородской области: инфекционные болезни // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2016. № 1. С. 21–25.
7. Болгов А.Е., Карманова Е.П., Хакана И.А. Повышение воспроизводительной способности молочных коров: учеб. пособие. М.: Лань, 2010. 224 с.
8. Марциновская И.В. Эпизоотологические аспекты эндометритов крупного рогатого скота, оптимизация системы лечебно-профилактических мероприятий с использованием пробиотиков: автореф. дис. ... канд. вет. наук. Санкт-Петербург, 2008. 23 с.
9. Скрипильева Т.А. Оценка действия противомикробного препарата на основе наночастиц серебра при лечении болезней желудочно-кишечного тракта телят // Имнология и ветеринария. 2016. № 3(21). С. 84–88.
10. Шевченко И.М. Разработка технологии комплексного антимикробного препарата на основе наночастиц серебра для защиты поверхности варено-копченых колбасных изделий: дис. ... к.т.н. Ставрополь, 2011. 123 с.
11. Каламантьева О.В., Фирстова В.В., Потапов В.Д. Особенности воздействия наночастиц серебра на иммунную систему мышей в зависимости от пути введения // Российские нанотехнологии 2014. № 9–10. С. 96–100.
12. Тыхеев А.П. Профилактические, диагностические и лечебные мероприятия по повышению воспроизводительной функции коров. Методические рекомендации. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2011. 50 с.
13. Оценка естественной резистентности сельскохозяйственных животных: метод. рекомендации / сост. П.Н. Смирнов, М.И. Гулюкин, Ю.Н. Федоров и др. Новосибирск, 2003. 32 с.
14. Акушерство, гинекология и биотехника репродукции животных / А.П. Студенцов, В.С. Шишилов, В.Я. Никитин и др.; под ред. В.Я. Никитина. М.: Колос С. 2011. 440 с.

Поступила в редакцию 21.01.2021

После доработки 16.02.2021

Принята к публикации 01.03.2021