

Земледелие и мелиорация

Завалин А.А., Алёшин М.А. Вынос урожая, баланс в почве и эффективность использования азота зерновыми культурами в смешанных и одновидовых агроценозах 3

Усенко В.И., Гаркуша А.А., Литвинцева Т.А., Щербакова А.А., Кобзева И.А. Изменение запасов влаги в выщелоченном черноземе в невегетационный период в зависимости от предшественника и основной обработки 9

Куницин Н.А., Минакова О.А. Последствие удобрений, применяемых в севообороте с сахарной свеклой, на плодородие чернозема выщелоченного, урожайность и качество зерновых культур в Центральном Черноземье 14

Хусайнов Х.А., Тунтаев А.В., Муртазалиев М.С., Елмурзаева Ф.Д., Абасов М.Ш. Влияние способов обработки и средств биологизации на агрофизические свойства чернозема типичного тяжелосуглинистого среднемоющего низкогумусного, подстилаемого галечником 19

Растениеводство, защита и биотехнология растений

Косолапов В.М., Чернявских В.И., Маринич М.Н. Формирование элементов семенной продуктивности у сортообразцов овсяницы красной: селекционный подход 24

Кочетов А.А., Мирская Г.В., Синявина Н.Г., Егорова К.В. Трансгрессивная селекция: методология ускоренного получения новых форм растений с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков 29

Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Исходный материал для селекции твердой пшеницы в Среднем Поволжье 38

Зейналов А.С. Роль биологических и экологически безопасных средств в оптимизации фитосанитарной обстановки в насаждениях земляники садовой 46

Агрочвоведение и агроэкология

Савин И.Ю., Андронов Д.П., Шишконокова Е.А., Вернюк Ю.И. Детектирование борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на основе данных съемки с беспилотного летательного аппарата 50

Зоотехния и ветеринария

Нефедова Е.В., Шкиль Н.Н. Влияние наночастиц серебра на морфологические, биохимические и иммунологические показатели крови коров, больных серозной формой мастита 56

Ездакова И.Ю., Капустина О.В., Вальциферова С.В., Григорьев А.Г. Иммунный репертуар В-клеток крови овец в поствакцинальном иммунном ответе 60

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

Лачуга Ю.Ф., Ибяттов Р.И., Шогенов Ю.Х., Зиганшин Б.Г., Дмитриев А.В. Метод расчета траектории движения зерна в пневмомеханическом шелушителе 64

Завражных А.А., Завражных А.И., Мишин Б.С. Математическое моделирование урожайности и динамики развития промышленных садов интенсивного и суперинтенсивного типа 68

Перечень статей, опубликованных в 2021 году 73

Farming and Amelioration

Zavalin A.A., Alyoshin M.A. Crop removal, soil balance and efficiency of nitrogen use by grain crops in mixed and single-species agrocenoses 3

Usenko V.I., Garkusha A.A., Litvintseva T.A., Shcherbakova A.A., Kobzeva I.A. Changes in moisture reserves in leached chernozem in the non-vegetative period, depending on the precursor and the main treatment 9

Kunitsin N.A., Minakova O.A. After-effect of fertilizers applied in a crop rotation with sugar beet on leached chernozem fertility, yield and quality of grain crops in the Central Black-earth region 14

Khusainov Kh.A., Tuntaev A.V., Murtazaliev M.S., Elmurzaeva F.D., Abasov M.Sh. Influence of processing methods and means of biologization on agrophysical properties of chernozem typical heavy loamy medium-thick low-humus chernozem underlain by pebbles 19

Plant Growing, Plant Protection and Biotechnology

Kosolapov V.M., Cherniavskih V.I., Marinich M.N. Formation of elements of seed productivity in cultivars of red fescue: breeding approach 24

Kochetov A.A., Mirskaya G.V., Sinyavina N.G., Egorova K.V. Transgressive breeding: a methodology for accelerated creating of new forms of plants with a predictable complex of economically valuable traits 29

Malchikov P.N., Myasnikova M.G. Initial material for breeding durum wheat in the Middle Volga region 38

Zeynalov A.S. The role of biological and environmentally safe products in optimizing the phytosanitary environment in strawberry plants 46

Agricultural Soil Science and Agroecology

Savin I.Yu., Andronov D.P., Shishkonakova E.A., VERNYUK Yu.I. Detection of Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) based on UAV survey data 50

Animal Science and Veterinary Medicine

Nefedova E.V., Shkil N.N. The effect of silver nanoparticles on the morphological, biochemical and immunological parameters of blood of cows with a clinical form of mastitis 56

Ezdkova I.Yu., Kapustina O.V., Valsiferova S.V., Grigorev A.G. Immune repertoire of sheep blood B-cells in the post-vaccination immune response 60

Mechanization, Electrification, Automation and Digitalization

Lachuga Yu.F., Ibyatov R.I., Shogenov Yu.Kh., Ziganshin B.G., Dmitriev A.V. Method for calculating the trajectory of grain movement in pneumomechanical peeling machine 64

Zavrazhnov A.A., Zavrazhnov A.I., Mishin B.S. Mathematical modelling of productivity and development dynamics of industrial gardens of intensive and super-intensive type 68

List of articles, published in 2021 73

Земледелие и мелиорация

УДК 631.55 + 631.81 : 631.423.3 : 631.8.022.3 + 631.84 : 633.1

DOI: 10.31857/S2500262721060016

ВЫНОС УРОЖАЕМ, БАЛАНС В ПОЧВЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ В СМЕШАННЫХ И ОДНОВИДОВЫХ АГРОЦЕНОЗАХА.А. Завалин¹, академик РАН, М.А. Алёшин², кандидат сельскохозяйственных наук¹Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 127550, Москва, ул. Прянишникова 31а
E-mail: zavalin.52@mail.ru²Пермский государственный аграрно-технологический университет им. Д.Н. Прянишникова, 614990, Пермь, ул. Петропавловская 23
E-mail: matvei0704@mail.ru

Исследования проводили с целью изучения влияния доз азотного удобрения на урожайность, содержание азота в урожае и эффективность использования элемента яровой пшеницей и посевным горохом в смешанных и одновидовых посевах этих культур. Почва опытного участка дерново-мелкоподзолистая с содержанием гумуса 1,68...1,81 %, высокой обеспеченностью подвижным фосфором и калием. Наибольшая в опыте урожайность зерна (3,07...3,16 т/га) отмечена в смешанных посевах пшеница 75 % от посевной нормы в чистом виде + горох 25 % и пшеница 50 % + горох 50 %, а наибольшая прибавка от внесения N_{30} (+0,23 т/га) и N_{60} (+0,65 т/га) – в агроценозе с преобладанием пшеницы (пшеница 75 % + горох 25 %). Больше всего азота в зерне пшеницы (2,22 %) накапливалось в посевах с преобладанием гороха (пшеница 25 % + горох 75 %) при внесении N_{60} . Содержание азота в зерне гороха составляло 3,24...3,64 %, увеличиваясь с повышением доли бобового компонента в составе высеваемой смеси (25 % → 50 % → 75 %). Потреблённый растениями пшеницы и гороха азот большей частью накапливался в зерне. Азотный индекс для пшеницы составлял 0,77, для гороха – 0,66. Положительный баланс азота в почве (+8,3...+17,8 кг/га) при внесении N_{60} складывался после смешанного (пшеница 25 % + горох 75 %) и одновидового агроценозов гороха. Для достижения уравновешенного баланса этого элемента в смешанных посевах с высокой долей пшеницы (пшеница 50 % + горох 50 % и пшеница 75 % + горох 25 %) необходимо внесение более высоких доз азотного удобрения.

CROP REMOVAL, SOIL BALANCE AND EFFICIENCY OF NITROGEN USE BY GRAIN CROPS IN MIXED AND SINGLE-SPECIES AGROCENOSSESZavalin A.A.¹, Alyoshin M.A.²¹All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, 127550, Moskva, ul. Pryanishnikova, 31a
E-mail: zavalin.52@mail.ru²Perm State Agro-Technological University named after D.N. Pryanishnikov, 614990, Perm, ul. Petropavlovskaya, 23
E-mail: matvei0704@mail.ru

The results of a study on the effect of nitrogen fertilizer doses on yield, nitrogen content in the crop and the efficiency of nitrogen use by spring wheat and seed peas in mixed and single-species crops are presented. A higher grain yield of 3.07...3.16 t/ha was obtained in mixed crops of wheat 75% + peas 25% and wheat 50% + peas 50%. The agroecosystems wheat 75% + peas 25% was marked by a built and consistent responsiveness to the levels of nitrogen nutrition (N_{30} +0.23 t/ha, N_{60} +0.65 t/ha). The maximum content of N in wheat grain (2.22%) was in sowing wheat 25% + peas 75% when applying N_{60} . The N content in the pea grain was at the level of 3.24...3.64%. With an increase in the proportion of the bean component in the composition of the sown mixture (25% → 50% → 75%) there was an increase in the concentration of N in the pea grain. Nitrogen consumed by wheat and pea plants was mostly accumulated in the grain. The nitrogen index for wheat was 0.77, for peas – 0.66. A positive nitrogen balance in the soil (+8.3...+17.8 kg/ha) was formed after mixed (wheat 25% + peas 75%) and single-species agroecosystems of peas, when applying nitrogen fertilizer at a dose of 60 kg d.v./ha. To achieve a balanced nitrogen balance in mixed crops of wheat 50% + peas 50% and wheat 75% + peas 25%, a higher dosage of nitrogen fertilizer is necessary.

Ключевые слова: вынос урожая, окупаемость удобрений, баланс в почве, яровая пшеница, посевной горох, смешанные посевы

Key words: crop removal, fertilizer payback, soil balance, spring wheat, seeded peas, mixed crops

Баланс азота в земледелии России за последние 25 лет оценивается как остро дефицитный. Это означает, что значительная доля урожая формируется благодаря минерализованному азоту почвы, который практически не накапливается в свободном состоянии, а быстро ассимилируется растениями и микроорганизмами [1, 2]. В масштабе страны уже наметилась тенденция к снижению содержания питательных веществ в почвах пашни. В первую очередь это касается Нечерноземной зоны, где в отдельных субъектах уменьшение степени

обеспеченности почв питательными веществами снизило потенциально возможную урожайность зерновых культур на 0,51...0,73 т/га.

Оценка состояния баланса элементов питания в системе удобрение – почва – растение служит важной характеристикой эффективности использования минеральных и органических удобрений. Изучение баланса элементов питания в почве позволяет систематически контролировать и направленно управлять ее агрохимическими свойствами, повышать уровень плодородия

[3]. Регулирование баланса азота и, следовательно, его биологического круговорота путем оптимизации доз и соотношений питательных веществ, вносимых с удобрениями, способствует увеличению урожайности, улучшению качества основной продукции, повышению доли хозяйственно-ценной части урожая в биологической массе [4], сохранению и увеличению плодородия почвы [5].

Накопленный в почве симбиотически связанный биологический азот после одновидовых и смешанных ценозов бобовых культур положительно отражается на балансе азота в севообороте в целом. Он служит дополнительным источником азотного питания растений, способствует повышению урожайности и белковости производимой растениеводческой продукции, используется другими культурами севооборота [6]. В связи с изложенным, в нашей стране необходимо резкое расширение посевов и увеличение урожайности бобовых, их выращивание в одновидовых посевах или травосмесях с преобладанием бобового компонента (50...75 %) [7].

Выстраивание аналогичной стратегии отмечается и за рубежом с целью разработки более эффективной, менее загрязняющей формами азота и безопасной европейской продовольственной системы. Такой подход к возделыванию бобовых культур для восстановления плодородия почвы и производства кормов, позволяет уменьшить зависимость от импорта удобрений и кормов [8].

Для успешной реализации этого направления необходимо совершенствование существующей системы применения удобрений. По утверждению некоторых авторов [9], используемые приемы должны быть с одной стороны максимально эффективными для формирования урожая и накопления белка, с другой – не оказывать отрицательного влияния на способность растений фиксировать молекулярный азот симбиотическим путем. Важнейшим аспектом при этом выступает сохранение уравновешенного баланса элементов питания в конкретных почвенно-климатических условиях.

Цель исследований – установить вынос урожаем и эффективность использования азота в смешанных и одновидовых агроценозах пшеницы и гороха при формировании дефицитного баланса в дерново-подзолистой почве Предуралья.

Методика. Работу проводили на опытном поле Пермского ГАТУ в 2012–2014 гг. на дерново-мелкоподзолистой среднесуглинистой почве со следующей характеристикой пахотного слоя: pH_{KCl} – 5,6...6,4 ед.; содержание гумуса (по Тюрину) – 1,68...1,81 %; подвижных форм P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) – соответственно 242...401 и 224...340 мг/кг.

Закладку полевого опыта проводили по следующей схеме:

состав агроценоза (фактор А) – пшеница 100 %, пшеница 75 % от посевной нормы в чистом виде + горох 25 %, пшеница 50 % + горох 50 %, пшеница 25 % + горох 75 %, горох 100 %;

доза азота (фактор В) – N_0 , N_{30} , N_{60} .

Соотношения компонентов в составе смеси устанавливали в соответствии с посевной нормой в одновидовом посеве злаковой культуры – 7 млн шт./га, бобовой – 1,4 млн шт./га. Азотное удобрение (N_{m2} , 46 % д.в.), вносили под предпосевную культивацию. Расположение вариантов по делянкам систематическое, повторность 4-кратная. Учётная площадь делянок при уборке на зерно составляла 109 м². Предшественник

озимая рожь. Объекты исследований: пшеница яровая сорт Иргина, горох посевной сорт Альбумен, имеющие близкие по продолжительности вегетационные периоды. Посев проводили сеялкой СЗ-3,6 в первой декаде мая, учёт урожая зерна – прямым комбайнированием по достижению полной спелости зерна.

Содержание азота в зерне и соломе определяли по ГОСТ 13496.4-93. Расчёт баланса азота проводили на основании [10] с использованием нормативных и справочных данных ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. Данные по урожайности и содержанию азота в хозяйственной части урожая подвергнуты статистическому анализу по методике Б.А. Доспехова.

Результаты и обсуждение. Во все годы исследований смешанные посевы отличались более устойчивым уровнем семенной продуктивности. Варьирование урожайности составляло в среднем 17...24 %. Последовательное увеличение доли пшеницы в составе смеси с 25 % до 50 % и 75 % сопровождалось повышением выхода её зерна в общем урожае в 1,7...1,8 раза. Для гороха повышение урожая зерна в 2,2 раза отмечено только при увеличении его доли в составе смеси с 25 % до 50 % (табл. 1).

Наибольшая в опыте урожайность зерна (3,07...3,16 т/га) была сформирована в смешанных посевах пшеница 75 % + горох 25 % и пшеница 50 % + горох 50 %. Выстроенной и последовательной отзывчивостью на применение азотного удобрения в дозах N_{30} (+0,23 т/га) и N_{60} (+0,65 т/га) характеризовался агроценоз пшеница 75 % + горох 25 %, благодаря доминированию яровой пшеницы в составе посева и снижению напряжённости в рамках конкурентного взаимодействия между компонентами. Смешанный посев пшеница 50 % + горох 50 % превосходил по урожайности зерна одновидовые агроценозы пшеницы в 2013–2014 гг., гороха – во все годы проведения исследований. Растения пшеницы, высеянные половинной нормой, в полном объёме справлялись с ролью поддерживающего компонента в составе смешанного посева. Создаются благоприятные условия для формирования урожая гороха и последующей механизированной уборки.

Высокой отзывчивостью на внесение N-удобрения отличались одновидовые агроценозы пшеницы. Прибавка урожайности относительно N_0 составляла 0,36 т/

Табл. 1. Урожайность зерна пшеницы и гороха в составе смешанных и одновидовых посевов (среднее за 2012–2014 гг.), т/га

Состав агроценоза (фактор А)	Доза азота (фактор В)							
	пшеница			среднее по А	горох			среднее по А
	N_0	N_{30}	N_{60}		N_0	N_{30}	N_{60}	
Пшеница 100 %	2,42	2,78	3,02	2,74	-	-	-	-
Пшеница 75 % + горох 25 %	1,99	2,21	2,56	2,25	0,78	0,79	0,87	0,82
Пшеница 50 % + горох 50 %	1,28	1,34	1,43	1,35	1,72	1,87	1,84	1,81
Пшеница 25 % + горох 75 %	0,76	0,82	0,72	0,76	1,89	1,90	1,59	1,79
Горох 100 %	-	-	-	-	2,39	2,34	1,99	2,24
Среднее по В	1,61	1,78	1,93		1,70	1,73	1,57	
НСР ₀₅ гл. эфф.		0,09		0,68		0,12		0,24
НСР ₀₅ для частных различий по фактору	А		1,18			0,42		
	В		0,17			0,24		

га (N_{30}) и 0,60 т/га (N_{60}). Растения гороха в монопосеве не менее интенсивно, чем пшеница в одновидовом посеве, использовали азот из почвы и удобрения. Отмечено значительное затягивание межфазных периодов (до 10...12 дней), избыточный рост вегетативной массы, неравномерность созревания бобов на растениях, сильное (порою до полного) полегание посевов, наличие большого числа зелёных горошин в составе зернового вороха. Снижение урожайности гороха при внесении N-удобрения объясняют [11] уменьшением нодуляции и симбиотической активности азотфиксирующих микроорганизмов, инфицирующих корневую систему гороха на начальных этапах вегетации. Выраженное ингибирующее действие азотного удобрения на развитие корневого ризобияльного аппарата гороха отчасти связано с отсутствием интенсивного потребления этого элемента пшеницей, которое характерно для смешанного посева. Учитывая обозначенные параметры, морфо-биологические особенности роста и специфику архитектоники гороха, возникает чёткое понимание необходимости его совместного возделывания на зерно в агроценозах с поддерживающими культурами.

Возделывание пшеницы и гороха в смешанных агроценозах для получения зерна, отличается не только величиной производимого урожая основной и побочной продукции, но и концентрацией азота в их составе. Так, в зерне пшеницы в смешанных агроценозах содержание азота было выше, чем в одновидовом посеве, на 0,09...0,44 % (табл. 2). Более высокая величина этого показателя в целом по опыту (2,16 %), была характерной для агроценоза пшеница 25 % + горох 75 %. Полученный результат подтверждает положение о том, что совместное выращивание зерновых и зернобобовых культур в смешанных посевах приводит к существенному увеличению содержания белка в зерне злакового компонента [12, 13]. При изменении уровня азотного питания ($N_0 \rightarrow N_{30} \rightarrow N_{60}$) происходило повышение содержания азота в зерне пшеницы на 0,06...0,12 %. По данным [14], при использовании азотных удобрений растут содержание белка в зерне и продуктивность пшеницы. Повышение содержания белка в зерне происходит не в результате усиления его синтеза, а вследствие торможения отложения крахмала в эндосперме зерна. Максимальное в опыте содержание азота в зерне пшеницы (2,22 %) отмечено в посеве пшеница 25 % + горох 75 % на фоне внесения N_{60} , что связано с оптими-

Табл. 2. Содержание N в зерне и соломе яровой пшеницы (среднее за 2012–2014 гг.), % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)	Доза азота (фактор В)							
	пшеница			среднее по А	горох			среднее по А
	N_0	N_{30}	N_{60}		N_0	N_{30}	N_{60}	
Пшеница 100 %	1,66	1,73	1,76	1,72	0,49	0,44	0,43	0,45
Пшеница 75 % + горох 25 %	1,76	1,80	1,87	1,81	0,51	0,47	0,52	0,50
Пшеница 50 % + горох 50 %	1,96	2,02	2,11	2,03	0,55	0,42	0,44	0,47
Пшеница 25 % + горох 75 %	2,11	2,16	2,22	2,16	0,52	0,46	0,42	0,47
Среднее по В НСР ₀₅ гл. эфф.	1,87	1,93	1,99		0,51	0,45	0,45	
		0,03		0,02		0,01		0,03
НСР ₀₅ для частных различий по фактору	А		0,04				0,06	
	В		0,06				0,03	

зацией азотного питания злака при увеличении общего пула поступающих посредством экзоосмоса азотистых веществ в ризосферу гороха и увеличения количества доступного для питания азота вследствие его поступления с удобрением.

Концентрация азота в соломе пшеницы составляла 0,42...0,55 % и не зависела от состава агроценоза. При использовании азотного удобрения отмечено снижение содержания этого минерального элемента в соломе, как по отдельным ценозам (-0,04...-0,13 %), так и в целом по опыту (-0,06 %). Известно [14], что содержание азота в вегетативных органах злаков связано с его реутилизацией при наливе зерна. Полнота оттока зависит от сроков и условий проведения уборки, а также аттрагирующей способности колоса в отношении питательных веществ. С увеличением доз азотного удобрения реутилизация азота из вегетативных органов в зерно пшеницы возрастала на 25,8 % при отсутствии существенных изменений у гороха. Аналогичные изменения отмечены для полноты оттока азота в зерно.

Высокое содержание N в вегетативных частях (стеблях, листьях) и зерне бобовых культур, обусловлено биологическими особенностями их развития. В зерне гороха, выращенном в смешанных агроценозах, содержание азота находилось на уровне 3,24...3,64 % (табл. 3). С повышением доли бобового компонента в составе высеваемой смеси (25 % → 50 % → 75 %) происходило увеличение концентрации этого элемента в зерне гороха, что отчасти связано со снижением конкуренции со стороны злакового компонента в посеве. Более высокое содержание азота (3,70 %) в зерне было характерно для одновидового посева. При внесении азотного удобрения в целом по опыту отмечена тенденция к повышению величины этого показателя (3,48 % → 3,51 % → 3,53 %). Содержание азота в соломе гороха варьировало не значительно, при отсутствии чёткой зависимости от состава агроценоза и доз N-удобрения.

Табл. 3. Содержание N в зерне и соломе посевного гороха (среднее за 2012–2014 гг.), % на а.с.в.

Состав агроценоза (фактор А)	Доза азота (фактор В)							
	зерно			среднее по А	солома			среднее по А
	N_0	N_{30}	N_{60}		N_0	N_{30}	N_{60}	
Пшеница 75 % + горох 25 %	3,18	3,22	3,31	3,24	1,36	1,52	1,35	1,41
Пшеница 50 % + горох 50 %	3,43	3,42	3,50	3,45	1,30	1,39	1,51	1,40
Пшеница 25 % + горох 75 %	3,56	3,70	3,66	3,64	1,45	1,29	1,34	1,36
Горох 100 %	3,75	3,69	3,65	3,70	1,48	1,37	1,41	1,42
Среднее по В НСР ₀₅ гл. эфф.		3,48	3,51	3,53		1,40	1,39	1,40
			0,04	0,07		0,06		0,07
НСР ₀₅ для частных различий по фактору	А			0,12			0,13	
	В			0,08			0,12	

Суммарный вынос азота урожаем включает вынос основной (зерном) и побочной (соломой) продукцией (табл. 4). В одновидовом посеве гороха он был в 1,6...2,5 раза выше, чем в одновидовом посеве пшеницы. Для посевов злакового компонента характерно увеличение выноса при использовании N-удобрения на 7,2...12,6 кг/га. В посевах бобовой культуры отмечена обратная тенденция – снижение выноса на 6,6...22,6 кг/га при использовании N-удобрения. Для смешанных посевов

Табл. 4. Вынос урожаем и эффективность использования азота в одновидовых и смешанных агроценозах пшеницы и гороха (среднее за 2012–2014 гг.)

Культура	Пшеница 100 %			Пшеница 75 % + горох 25 %			Пшеница 50 % + горох 50 %			Пшеница 25 % + горох 75 %			Горох 100 %		
	N ₀	N ₃₀	N ₆₀	N ₀	N ₃₀	N ₆₀	N ₀	N ₃₀	N ₆₀	N ₀	N ₃₀	N ₆₀	N ₀	N ₃₀	N ₆₀
Вынос урожаем, кг/га															
Пшеница	46,7	53,9	59,3	40,3	44,7	54,9	28,8	29,1	32,4	17,6	18,7	16,7			
в том числе зерно	34,5	41,3	45,8	30,0	34,1	41,3	21,5	23,3	25,9	13,6	14,9	13,6			
Горох				33,6	35,8	37,5	76,0	84,3	86,4	89,0	87,0	73,9	116,6	110,0	94,0
в том числе зерно				21,6	22,2	24,6	50,9	55,2	55,4	58,1	59,8	50,1	77,0	74,2	62,6
Всего:	46,7	53,9	59,3	73,9	80,4	92,5	104,8	113,4	118,7	106,6	105,7	90,6	116,6	110,0	94,0
Индекс хозяйственного использования азота															
Пшеница	0,74	0,77	0,77	0,41	0,42	0,45	0,21	0,21	0,22	0,13	0,14	0,15			
Горох				0,29	0,28	0,27	0,49	0,49	0,47	0,54	0,57	0,55	0,66	0,67	0,67
Коэффициент использования азота из удобрения (КИУ _N), %															
Пшеница		24,1	21,1		14,5	24,3		1,1	5,9		3,4	-			
Горох					7,2	6,5		27,7	17,4		-	-		-	-
Оплата азотного удобрения прибавкой урожая зерна, кг/кг															
Пшеница		10,3	8,6		6,2	8,3		1,8	2,1		1,4	-			
Горох					0,3	1,0		4,3	1,7		-	-		-	-
Создано зерна на 1 кг потребленного азота, кг															
Пшеница	44,6	44,3	43,8	42,3	42,3	40,1	38,1	39,5	37,9	36,6	36,8	36,7			
Горох				20,2	19,2	19,8	19,5	19,1	18,3	18,4	18,6	18,5	17,6	18,3	18,2
Прибавки массы зерна на единицу потребленного азота, кг															
Пшеница		5,7	3,5		4,2	5,7		1,8	2,3		2,2	-			
Горох					0,2	1,4		1,5	-0,3		-	-		-	-
Прибавка зерна на 1 кг азота потребленного из удобрения, кг															
Пшеница		42,8	40,8		42,9	34,1		67,0	36,1		40,0	-			
Горох					4,0	15,8		15,7	9,7		-	-		-	-
Потребление (вынос) азота 1 т зерна, кг															
Пшеница	22,4	18,8	19,0	19,7	19,7	20,8	21,9	21,1	22,0	22,8	22,6	22,7			
Горох				49,5	52,0	50,6	51,2	52,2	54,5	54,5	53,8	54,0	56,7	54,8	54,8

с преобладанием пшеницы (пшеница 75 % + горох 25 %) и при равном соотношении компонентов (пшеница 50 % + горох 50 %) отмечено увеличение выноса азота пшеницей и горохом при использовании удобрения. В варианте с преобладанием в смеси гороха (пшеница 25 % + горох 75%) количество азота и тенденция его накопления в урожае при внесении азотного удобрения были схожи с одновидовым посевом бобового компонента.

Эффективность использования культурами азота оценивают по соотношению его накопления в урожае основной (зерно) и побочной (солома) продукции. Потребленный растениями пшеницы и гороха азот в одновидовых и смешанных посевах большей частью накапливался в зерне. В среднем по опыту азотный индекс для яровой пшеницы составлял 0,77, для посевного гороха – 0,66. В зависимости от состава смеси и доз N-удобрения индекс хозяйственного использования изменялся не значительно, так как его преимущественно определяют генотипические особенности культур. Более весомый вклад в вынос азота зерном (68,1...70,3 %) в смеси с равным соотношением компонентов (пшеница 50 % + горох 50 %) отмечен для гороха, благодаря его повышенной концентрации N в зерне. В остальных смесях преимущество было за культурой, преобладающей в их составе.

Коэффициент использования растениями пшеницы азота удобрения в смеси пшеница 75 % + горох 25 % составлял 14,5...24,3 %, что близко к уровню одновидового посева. При снижении доли пшеницы в смеси до 50 % происходило его уменьшение на 13,4...18,4 %. При уве-

личении доли гороха в смеси с 25% до 50% его КИУН возрастал на 10,9...20,5 %. Отрицательные КИУН пшеницей и горохом отмечали в смеси пшеница 25% + горох 75%, что обусловлено снижением семенной продуктивности культур при внесении азотного удобрения в этом варианте. Аналогичная тенденция отмечена в одновидовом посеве гороха.

Максимальную в опыте суммарную прибавку урожая зернового вороха от 1 кг азота (9,3 кг) наблюдали в смеси пшеница 75 % + горох 25 % при внесении N₆₀. Больше всего зерна (43,8...44,6 кг) на 1 кг потребленного азота было создано в одновидовом посеве пшеницы. При включении и последующем увеличении доли гороха в посеве (25 % → 50 % → 75 % → 100 %) происходило снижение эффективности использования азота и количества зерна, созданного благодаря его потреблению. Использование возрастающих доз азотного удобрения в смесях с долей пшеницей более 25 % и в одновидовом посеве злака (пшеница 100 %) способствовало снижению величин этого показателя на 0,5...0,9 кг. Прибавка массы зерна на 1 кг потребленного азота в смешанных посевах не превышала 4,2...5,7 кг для пшеницы и 1,4...1,5 кг для гороха. Увеличение дозы приводило к снижению количества созданного зерна на 1 кг азота, потребленного из удобрения. Больше зерна гороха на 1 кг потребленного азота (15,7...15,8 кг) было создано при внесении N30 в смеси с равным долевым участием культур (пшеница 50 % + горох 50 %) или при внесении N₆₀ в посеве пшеница 75 % + горох 25 %.

Вынос азота 1 т зерна в рассматриваемых агроценозах изменялся, прежде всего, в зависимости от доли гороха и в меньшей степени от доз азотного удобрения. В обоих случаях отмечен постепенный рост потребления N не только злаковой, но и бобовой культурой. При этом использование азотного удобрения определённым образом сдерживало изменение количества потреблённого азота при увеличении доли гороха в составе смешанного посева с 4,9 кг/т до 4,6 и 4,4 кг/т у пшеницы и с 7,3 кг/т до 2,8 и 4,2 кг/т у гороха.

Полученные значения по выносу азота отличаются от существующих нормативов по затратам элементов питания для получения 1 т зерна с соответствующим количеством соломы. Это связано с тем, что нормативы были разработаны на основании результатов опытов географической сети, проведенных в различных почвенно-климатических условиях страны при достигнутом на тот момент потенциале плодородия почв, использовании существовавшего селекционного материала, ассортимента и объёмов агрохимикатов.

Положительный баланс азота (+8,3...+17,8 кг/га) отмечен после смешанного (пшеница 25 % + горох 75 %) и одновидового агроценозов гороха (табл. 5) при внесении азотного удобрения в дозе 60 кг д.в./га. Для достижения уравновешенного баланса N в смешанных посевах с равным соотношением компонентов (50 % + 50 %) или с преобладанием злаковой культуры (75 % + 25 %) такой дозы не достаточно. При отсутствии поступления азота с удобрением в посевах гороха отмечали резко отрицательный баланс этого элемента (-43,6...-57,5 кг/га), несмотря на симбиотическую фиксацию азота. Отчуждение из почвы такого его количества, в пересчете на подвижные формы, составляет 14...19 мг/кг. Отсутствие азотных удобрений приводит к снижению обеспеченности почвы этим элементом, что указывает на слабую способность современных сортов гороха к симбиотрофному питанию азотом атмосферы. Решение этой проблемы возможно путем селекции [15], использования соответствующих ми-

кробиологических препаратов и возделывания зернобобовых культур в составе смешанных агроценозов со злаками [16, 17, 18].

При соотношении результатов по балансу с данными по выносу азота урожаем зерна и соломы получена отрицательная величина (-9,6...-67,1 %), что не соответствует требованиям к балансу элементов питания за севооборот и не допустимо даже для почв с очень высоким их содержанием. Это указывает на необходимость использования азотных удобрений при возделывании одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха в условиях Предуралья в дозах ≥ 60 кг д.в./га.

Таким образом, наибольшая в опыте урожайность зерна (3,07...3,16 т/га) отмечена в смешанных посевах пшеница 75 % + горох 25 % и пшеница 50 % + горох 50 %. Более высокая отзывчивость на внесение азотного удобрения в дозах N_{30} (+0,23 т/га) и N_{60} (+0,65 т/га) характерна для агроценоза с преобладанием пшеницы.

В смешанных агроценозах в зерне пшеницы содержание азота было выше, чем в одновидовом посеве, на 0,09...0,44 %. При внесении N-удобрения в дозах 30 и 60 кг д.в./га происходило повышение содержания азота в зерне пшеницы на 0,06...0,12 % с максимальной в опыте величиной этого показателя (2,22 %) в агроценозе пшеница 25 % + горох 75 % на фоне N_{60} .

Потребленный растениями пшеницы и гороха азот в одновидовых и смешанных посевах большей частью накапливался в зерне. Азотный индекс для яровой пшеницы составлял 0,77, для посевного гороха – 0,66. Максимальная в опыте суммарная прибавка урожая зернового вороха от 1 кг N (9,3 кг) отмечена в смеси пшеница 75 % + горох 25 % при внесении N_{60} .

Вынос азота 1 т зерна с соответствующим количеством соломы в одновидовых посевах яровой пшеницей составлял 19,0...22,4 кг, посевным горохом – 54,8...56,7 кг, в смешанных посевах он изменялся, прежде всего, в зависимости от доли гороха в составе посева и в меньшей степени от доз азотного удобрения.

Табл. 5. Структура баланса азота при возделывании одновидовых и смешанных агроценозов пшеницы и гороха (среднее за 2012-2014 гг.), кг/га

Показатель	Пшеница 100 %			Пшеница 75 % + горох 25 %			Пшеница 50 % + горох 50 %			Пшеница 25 % + горох 75 %			Горох 100 %		
	N_0	N_{30}	N_{60}	N_0	N_{30}	N_{60}	N_0	N_{30}	N_{60}	N_0	N_{30}	N_{60}	N_0	N_{30}	N_{60}
Приход:	15,3	49,3	79,3	33,8	68,9	99,2	54,5	92,9	123,8	61,8	93,2	117,7	80,1	111,2	133,4
с осадками	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
с семенами	4,3	4,3	4,3	5,8	5,8	5,8	7,4	7,4	7,4	8,9	8,9	8,9	10,4	10,4	10,4
с удобрением	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60	0	30	60
благодаря свободноживущим азотфиксаторам	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10	10	6	10	10
благодаря симбиотической азотфиксации	-	-	-	16,9	18,1	18,4	36,2	40,5	41,4	42,0	39,4	33,8	58,7	55,8	48,1
Расход:	46,7	59,9	71,3	77,3	90,0	108,1	112,0	127,5	139,0	115,0	119,5	109,4	128,3	127,2	115,6
вынос (зерном + соломой)	46,7	53,9	59,3	73,9	80,4	92,5	104,8	113,4	118,7	106,6	105,7	90,6	116,6	110,0	94,0
газообразные потери из удобрения	-	6,0	12,0	-	6,0	12,0	-	6,0	12,0	-	6,0	12,0	-	6,0	12,0
газообразные потери биологического азота	-	-	-	3,4	3,6	3,7	7,2	8,1	8,3	8,4	7,9	6,8	11,7	11,2	9,6
Итого:	-31,3	-10,6	8,0	-43,6	-21,1	-8,9	-57,5	-34,6	-15,3	-53,2	-26,3	8,3	-48,2	-16,0	17,8
В % к выносу	-67,1	-19,6	13,5	-58,9	-26,3	-9,6	-54,9	-30,5	-12,9	-49,9	-24,9	9,1	-41,4	-14,6	19,0

В обоих случаях увеличивалось потребление азота не только злаковой, но и бобовой культурой.

Положительный баланс азота в почве (+8,3...+17,8 кг/га) достигался после смешанного (пшеница 25 % + горох 75 %) и одновидового агроценозов гороха при внесении N_{60} . Без азотного удобрения отмечен резко отрицательный баланс азота (-31,3...-57,5 кг/га), что не допустимо для почв даже с очень высоким содержанием элементов питания. Представленные результаты указывают на необходимость использования азотных удобрений при возделывании одновидовых и смешанных агроценозов яровой пшеницы и посевного гороха в условиях Предуралья в дозах ≥ 60 кг д.в./га.

Литература

1. Кудеяров В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // *Агрохимия*. 2018. №10. С. 3–11.
2. Сычев В.Г., Шафран С.А. О балансе питательных веществ в земледелии России // *Плодородие*. 2017. №1. С. 1–4.
3. Van Der Hoek K.W. Nitrogen cycling on dairy farms // *Материалы конференции «Снижение отрицательного воздействия на окружающую среду химически активного азота при производстве сельскохозяйственной продукции»*. 2010. С. 78–86.
4. Лапа В.В., Кулеши О.Г., Лопух М.С. Вынос и баланс элементов питания в зернотравяном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // *Почвоведение и агрохимия*. 2013. №2 (51). С. 143–150.
5. Плотников А.М., Кабдунова Г.С. Баланс элементов питания и продуктивность зернопарового севооборота при применении минеральных удобрений // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2018. № 1. С. 38–41.
6. Завалин А.А., Накаряков А.М. Эффективность применения биомодифицированных азотных удобрений под озимую пшеницу // *Агрохимический вестник*. 2021. № 1. С. 33–37. doi: 10.24412/1029-2551-2021-1-006.
7. Научно-обоснованные параметры применения минеральных удобрений с учетом использования биологического азота в севооборотах Нечерноземной зоны России / А.А. Завалин, В.Г. Сычев, Н.С. Алметов и др. М.: ВНИИА, 2014. 82 с.
8. Nitrogen use and food production in European regions from a global perspective / H. Van Grinsven, J. Spiertz, H. Westhoek, et al. // *The Journal of Agricultural Science*. 2014. Vol. 152 (S1). P. 9–19. doi: 10.1017/S0021859613000853.
9. Новикова Н.Е. Физиологическое обоснование листовой подкормки для оптимизации питания зерновых бобовых культур в онтогенезе растений (обзор) // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. №1(25). С. 60–67.
10. Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в ресурсосберегающих технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия: структуривно-методическое издание / А.Л. Иванов, А.А. Завалин, А.И. Карпунин и др. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. 464 с.
11. Jensen E.S. Grain yield, symbiotic N_2 fixation and interspecific competition for inorganic N in pea-barley intercrops // *Plant and Soil*. 1996. Vol. 182. P. 25–38. doi:10.1007/BF00010992
12. Пасынкова Е.Н. Влияние азотных удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в одновидовом и смешанном с викой посевах // *Агрохимия*. 2009. № 2. С. 18–27.
13. Nitrogen Fertilizer Effects on Pea-Barley Intercrop Productivity Compared to Sole Crops in Denmark / R.J. Cowden, A.N. Shah, L.M. Lehmann, et al. // *Sustainability* 2020. Vol. 12. No. 22. 9335. <https://doi.org/10.3390/su12229335>
14. Завалин А.А., Соколов О.А. Азот и качество зерна пшеницы // *Плодородие*. 2018. № 1. С. 14–17.
15. Проворов Н.А., Тихонович И.А. Эколого-генетические принципы селекции растений на повышение эффективности взаимодействия с микроорганизмами // *Сельскохозяйственная биология*. 2003. № 3. С. 11–24.
16. Влияние азотных удобрений и биопрепаратов на урожайность зерна в смешанных бобово-мятликовых агроценозах / А.С. Кононов, Н.М. Белоус, В.Е. Ториков и др. // *Агрохимический вестник*. 2021. № 2. С. 3–9. doi: 10.24412/1029-2551-2021-2-001.
17. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review / B. Laurent, E.-P. Journet, H. Hauggaard-Nielsen, et al. // *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. Vol. 35. P. 911–935. doi: 10.1007/s13593-014-0277-7.
18. Jensen E.S., Carlsson G., Hauggaard-Nielsen H. Intercropping of grain legumes and cereals improves the use of soil N resources and reduces the requirement for synthetic fertilizer N : A global-scale analysis // *Agronomy for Sustainable Development*. 2020. Vol. 40: 5. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-0607-x>.

Поступила в редакцию 31.08.2021

После доработки 16.09.2021

Принята к публикации 05.10.2021

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ ВЛАГИ В ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ЧЕРНОЗЕМЕ В НЕВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДШЕСТВЕННИКА И ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ

В.И. Усенко, доктор сельскохозяйственных наук,
А.А. Гаркуша, кандидат сельскохозяйственных наук,
Т.А. Литвинцева, кандидат сельскохозяйственных наук,
А.А. Щербакова, научный сотрудник, **И.А. Кобзева**, научный сотрудник

*Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий,
656910, Барнаул, Научный городок, 35
E-mail: aniish@mail.ru*

Исследования проводили с целью изучения изменения запасов продуктивной влаги в выщелоченном малогумусном среднесуглинистом черноземе в невегетационный период яровой пшеницы в зависимости от предшественников и приемов основной обработки почвы. Работу выполняли в 2011–2021 гг. в лесостепи юга Западной Сибири на юго-восточном склоне крутизной 1...2° в севообороте пар – пшеница – овес – пшеница – горох – пшеница и бессменных посевах пшеницы на фонах с нулевой, мелкой (14...16 см) и глубокой (25...27 см) плоскорезными обработками. Запасы влаги в метровом слое почвы осенью определялись предшественниками (65,7 %) и их взаимодействием с обработками (30,9 %). Они снижались от пара (109,2 мм) к гороху (88,1 мм), овсу (82,4 мм) и бессменной пшенице (72,6 мм), а также от глубокой (91,4 мм) к мелкой (88,7 мм) и нулевой (84,0 мм) обработкам. Рано весной влагозапасы определялись в основном обработкой почвы (82,7 %) и меньше предшественником (10,7 %), снижаясь от глубокой (169,4 мм) к мелкой (145,8 мм) и нулевой (118,4 мм), а по предшественникам от пара (156,6 мм) к гороху (144,4 мм), овсу (140,0 мм) и бессменной пшенице (136,9 мм). Аккумуляция зимних осадков почвой снижалась от глубокой (77,9 мм) к мелкой (57,0 мм) и нулевой (34,4 мм) обработкам и увеличивалась от пара (47,5 мм) к гороху (56,3 мм), овсу (57,7 мм) и бессменной пшенице (64,3 мм). К всходам запасы влаги в почве сокращались в зависимости от способа обработки (87,6 %) и снижались от глубокой (120,1 мм) к мелкой (108,5 мм) и нулевой (100,5 мм). Потери влаги весной на необработанном фоне были минимальными (81,2...87,5 мм), на фонах с мелкой и глубокой обработками они повышались (92,8...117,8 и 101,0...135,2 мм), возрастая от бессменной пшеницы к овсу, гороху и пару.

CHANGES IN MOISTURE RESERVES IN LEACHED CHERNOZEM IN THE NON-VEGETATIVE PERIOD, DEPENDING ON THE PRECURSOR AND THE MAIN TREATMENT

Usenko V.I., Garkusha A.A., Litvintseva T.A., Shcherbakova A.A., Kobzeva I.A.

*Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies,
656910, Barnaul, Nauchnyi gorodok, 35
E-mail: aniish@mail.ru*

Studies to study the change in productive moisture reserves in leached low-humus medium loamy chernozem during the non-vegetative period of spring wheat, depending on the predecessors and methods of basic tillage, were carried out in 2011-2021 in the forest-steppe of southern Western Siberia on the southeastern slope of 1-2 o in the crop rotation of pairs – wheat – oats – wheat – peas - wheat and permanent wheat crops on backgrounds with zero, shallow (14...16 cm) and deep (25...27 cm) plane-cutting treatments. Moisture reserves in the meter layer of soil in autumn were determined by precursors (65.7%) and their interaction with treatments (30.9%). They decreased from steam (109.2 mm) to peas (88.1 mm), oats (82.4 mm) and permanent wheat (72.6 mm), and from deep (91.4 mm) to shallow (88.7 mm) and zero (84.0 mm) treatments. In early spring, moisture reserves were determined by treatments (81%), decreasing from deep (169.4 mm) to shallow (145.8 mm) and zero (118.4 mm), and from steam (156.6 mm) to peas (144.4 mm), oats (140.0 mm) and permanent wheat (136.9 mm). The accumulation of winter precipitation by the soil was determined by processing (81.0%), decreasing from deep (77.9 mm) to shallow (57.0 mm) and zero (34.4 mm), and increasing from steam (47.5 mm) to peas (56.3 mm), oats (57.7 mm) and permanent wheat (64.3 mm). By germination, moisture reserves in the soil decreased, depended on processing (87.6%), decreased from deep (120.1 mm) to shallow (108.5 mm) and zero (100.5 mm). Moisture losses in spring on an untreated background were minimal (81.2...87.5 mm), and on backgrounds with shallow and deep treatments were higher (92.8...117.8 and 101.0...135.2 mm), increasing from permanent wheat to oats, peas and steam.

Ключевые слова: продуктивная влага, запасы влаги, выщелоченный чернозем, предшественник, приемы основной обработки почвы

Key words: productive moisture, moisture reserves, leached chernozem, precursor, basic tillage techniques

Влагообеспеченность почвы в условиях Западной Сибири выступает одним из основных ограничивающих продуктивность сельскохозяйственных культур факторов. Поэтому формирование севооборотов и систем основной обработки почвы строится, в том числе с учетом их влияния на накопление и сохранение влаги в почве [1, 2, 3].

Вместе с тем, как показывают результаты многочисленных исследований, влагонакопительная роль предшественников может существенно изменяться в зависимости от условий года и применяемой обработ-

ки почвы [4, 5, 6]. В свою очередь сохранение влаги в почве в допосевной период зависит как от складывающихся погодных условий, так и от фона основной обработки и предшественника [7, 8, 9]. Особенно актуальны эти вопросы в условиях лесостепи юга Западной Сибири, где период от схода снега до всходов культур ярового сева характеризуется чаще всего сильными ветрами, сухостью атмосферного воздуха и резким нарастанием температур при преимущественном дефиците осадков, что создает реальные предпосылки для непроизводительных потерь почвенной влаги [10].

Цель исследований – изучить изменение запасов продуктивной влаги в выщелоченном черноземе в не-вегетационный период яровой пшеницы в зависимости от предшественников и приемов основной обработки почвы в лесостепи юга Западной Сибири.

Методика. Исследование проводили в 2011–2021 гг. на опытном поле Алтайского научно-исследовательского института сельского хозяйства Федерально-го Алтайского научного центра агробιοтехнологий в стационарном полевом опыте, заложенном в 2000 г. по следующей схеме:

предшественник (фактор А) – пар, горох, овес, пшеница в севообороте, пшеница при бессменном возделывании;

прием основной обработки почвы (фактор В) – глубокая (25...27 см) плоскорезная (ГПО); мелкая (14...16 см) плоскорезная (МПО); без основной обработки почвы (БО).

Эксперимент реализован в севообороте пар – пшеница – овес – пшеница – горох – пшеница, развернутом во времени и в пространстве, и при бессменном возделывании пшеницы. Пар на фонах с обработками почвы готовили по типу чистого черного, а на фоне без основной обработки – по типу занятого (высевали рапс на маслосемена) с применением до посева или после уборки гербицидов сплошного действия.

Опытный участок расположен на юго-восточном склоне крутизной 1...2°. Почва опытного участка – чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный среднесуглинистый с содержанием в пахотном (0...20 см) слое гумуса – 3,8 %. Общая площадь делянок последнего порядка 2552 м², повторность – 3-кратная для полей севооборота и 2-кратная для бессменных посевов пшеницы.

Отбор почвенных образцов проводили поздно осенью перед уходом в зиму, рано весной после схода снега и в начале лета после появления всходов. Подробная методика проведения эксперимента и агротехника, применяемая в опыте, изложены ранее [10, 11].

Количество осадков в осенний период в 2011–2021 гг. варьировало от 47 до 139 мм, или от 67 до 198 % по отношению к климатической норме (табл. 1), в зимний – от 71 до 190 мм (63...170 %), в весенний – от 35 до 118 мм (52...176 %), в летний – от 114 до 240 мм (71...240 %), за год – от 317 до 549 мм (78...136 %). При этом только в переходные периоды (осень и весна) отмечена соответственно сильная ($r = -0,79$) и средняя ($r = -0,62$) отрицательная их связь со среднесуточными температурами, а в остальные периоды она была малозначимой.

Наиболее увлажненными были 2013, 2015 и 2017 сельскохозяйственные годы с суммой осадков 528...556 мм, больше всего осадков осенью выпало в 2015 и 2021 гг. (105...139 мм), зимой – в 2013 и 2020 гг. (190...191 мм), весной – в 2013, 2015 и 2018 гг. (92...118 мм), летом – в 2017 г. (240 мм). Самым засушливым был 2012 г., когда острый дефицит осадков проявлялся в осенне-зимний (71 % от нормы) и весенний (55 %) периоды, а также в июне (21 %).

Результаты и обсуждение. Поздно осенью перед уходом в зиму запасы продуктивной влаги в метровом слое выщелоченного чернозема в среднем по предшественникам и фонам основной обработки составляли 88,1 мм (табл. 2). Их варьирование в опыте определяло действие предшественников (доля вклада 65,7 %) и его В пределах конкретных предшественников влияние приемов обработки на запасы продуктивной влаги в почве перед уходом в зиму проявлялось по-разному. Так, в паровом поле замена глубокой обработки

Табл. 1. Условия влаго- и теплообеспеченности в годы проведения исследований

Год	Период года				Всего
	осень (IX-X)	зима (XI-III)	весна (IV-V)	лето (VI-VIII)	
Сумма атмосферных осадков, мм					
2011	47	152	68	108	375
2012	58	71	37	151	317
2013	80	190	92	187	549
2014	71	129	64	193	457
2015	139	150	94	145	528
2016	82	121	65	189	457
2017	90	167	59	240	556
2018	99	108	118	114	437
2019	59	104	46	132	341
2020	62	191	44	147	444
2021	105	147	35	138	425
Среднее	81	139	65	159	444
Климатическая норма	70	112	67	160	409
Среднесуточная температура воздуха, °С					
2011	8,1	-13,0	10,1	18,2	2,2
2012	9,2	-13,9	10,0	20,8	2,6
2013	8,5	-12,7	7,5	17,7	1,8
2014	6,9	-8,8	9,1	18,8	3,7
2015	5,2	-10,0	9,8	19,2	3,1
2016	7,6	-8,8	9,9	19,3	4,1
2017	6,2	-10,5	9,9	18,6	3,0
2018	6,5	-12,0	6,7	18,7	1,9
2019	8,6	-11,9	8,2	18,7	2,5
2020	9,0	-7,8	13,2	18,8	5,2
2021	7,6	-11,7	10,0	18,4	2,6
Средняя	7,6	-11,0	9,5	18,8	18,2
Климатическая норма	7,0	-11,3	7,9	3,0	2,3

Табл. 2. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в зависимости от предшественников и приемов основной обработки (2011–2021 гг.), мм

Предшественник (фактор А)	Обработка почвы (фактор В)				НСР ₀₅ для факторов	Доля влияния факторов, %
	ГПО	МПО	БО	среднее		
Осенью перед уходом в зиму						
Пар	122,5	118,8	86,3	109,2	$A = 8,6$ $B = F_1 < F_{05}$ $AB = 7,5^{05}$ частных различий $= 15,0$	$A = 65,7$ $B = 3,4$ $AB = 30,9$
Горох	84,3	88,5	91,5	88,1		
Овес	75,7	79,9	91,5	82,4		
Пшеница	83,3	67,7	66,8	72,6		
Среднее	91,4	88,7	84,0	88,1		
Весной после схода снега						
Пар	188,5	164,3	117,1	156,6	$A = 12,1$ $B = 10,5$ $AB = 10,5$ частных различий $= 21,0$	$A = 10,7$ $B = 82,7$ $AB = 6,6$
Горох	166,0	147,3	119,9	144,4		
Овес	160,5	138,7	120,9	140,0		
Пшеница	162,5	132,7	115,6	136,9		
Среднее	169,4	145,8	118,4	144,5		
Весной после появления всходов						
Пар	118,8	112,1	101,5	110,8	$A = 7,7$ $B = 6,7$ $AB = 6,7$ частных различий $= 13,3$	$A = 1,4$ $B = 87,6$ $AB = 11,0$
Горох	118,6	106,2	102,3	109,0		
Овес	115,8	110,3	99,1	108,4		
Пшеница	127,1	105,5	99,2	110,6		
Среднее	120,1	108,5	100,5	109,7		

на мелкую практически не сказывалась на запасах влаги (122,5 и 118,8 мм, или 100 и 97 % соответственно), достоверное снижение которых (до 86,3 мм, или до 70 % от глубокой обработки) отмечено лишь на необработанном фоне после рапса (занятый пар). После гороха и, особенно, овса по мере минимизации обработки отмечали увеличение запасов влаги с 75,7...84,3 до 79,9...88,5 и 91,5 мм (со 100 до 105...106 и 109...121 %). При бесменном возделывании пшеницы переход от глубокой плоскорезной к мелкой и нулевой обработке приводил к уменьшению запасов влаги с 83,3 до 67,7 и 66,8 мм, или со 100 до 81 и 80 % соответственно.

Рано весной после схода снега варьирование запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы определялось в основном действием приемов основной обработки (82,7 %) и в значительно меньшей степени – предшественники (10,7 %) и взаимодействие факторов (6,6 %). По отношению к осеннему сроку определения влагозапасы возрастали в среднем по опыту на 56,4 мм (64 %), в том числе по предшественникам их прирост увеличивался от пара – на 47,4 мм (43 %) к гороху – на 56,3 мм (64 %), овсу – на 57,6 мм (70 %) и бесменной пшенице – на 64,3 мм (89 %), а по приемам обработки снижался от глубокой – на 78,0 мм (85 %) к мелкой – на 57,1 мм (64 %) и нулевой – на 34,4 мм (41 %). Коэффициент использования зимних осадков почвой после пара был равен 0,35, гороха – 0,41, овса – 0,46, бесменной пшеницы – 0,48, на фоне глубокой плоскорезной – 0,59, мелкой – 0,42, нулевой – 0,26.

Различия в эффективности усвоения зимних осадков почвой между обработками еще сильнее возрастали на фоне конкретных предшественников. Так, после пара перед уходом в зиму запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на фоне глубокой плоскорезной обработки составляли 122,5 мм, после мелкой – 118,8 мм, на фоне нулевой – 86,3 мм. Весной к периоду схода снега после пара запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы возросли на фоне глубокой обработки на 66,0 мм, мелкой – на 45,5 мм, на необработанном фоне – на 30,8 мм, или соответственно на 54, 38 и 36 %, по отношению к осени. То есть с уменьшением интенсивности основной обработки после пара эффективность усвоения зимних осадков почвой снижалась в 1,5 раза, а при отказе от обработки – в 2,1 раза. Коэффициент использования зимних осадков почвой после пара на фоне глубокой обработки был равен 0,49, мелкой – 0,35, на необработанном фоне – 0,22.

После гороха перед уходом в зиму запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы мало зависели от обработки, составляя 84,3...91,5 мм. Ко времени схода снега на фоне глубокой обработки они возросли на 81,7 мм, на фоне мелкой – на 58,8 мм, нулевой – на 28,4 мм, или соответственно на 97, 66 и 31 %. То есть, замена глубокой обработки на мелкую или нулевую после гороха приводила к снижению эффективности усвоения зимних осадков почвой в 1,4 и 2,9 раза. Коэффициент использования зимних осадков почвой после гороха на фоне глубокой обработки составил 0,60, мелкой – 0,42, нулевой – 0,22.

После овса запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы перед уходом в зиму на фоне глубокой плоскорезной обработки находились на уровне 75,7 мм, мелкой – 79,9 мм, на необработанном фоне – 91,5 мм, а к сходу снега весной они возросли, по отношению к осеннему сроку, соответственно на 84,8, 58,8 и 29,4 мм, или на 112, 74 и 32 %. Замена глубокой основной обработки на мелкую или отказ от обработки после овса приводили к снижению эффективности усвоения зимних осадков почвой в 1,4 и 2,9 раза соответственно. Коэффициент использования зимних осадков почвой после овса на фоне глубокой обработки составил 0,67, мелкой – 0,47, нулевой – 0,24.

При бессменном возделывании пшеницы перед уходом в зиму запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы на фоне глубокой основной обработки составляли 83,3 мм, мелкой – 67,7, нулевой – 66,8 мм. В период схода снега весной на фоне глубокой обработки они возросли в метровом слое почвы соответственно на 79,2, 65,0 и 48,8 мм, или на 95, 96 и 73 %. Замена глубокой основной обработки на мелкую, или отказ от ее проведения при бессменном возделывании пшеницы приводил к снижению эффективности усвоения зимних осадков почвой в 1,2 и 1,6 раза. Коэффициент использования зимних осадков почвой при бессменном возделывании пшеницы на фоне глубокой обработки был равен 0,59, мелкой – 0,46, нулевой – 0,39.

Ко времени появления всходов пшеницы запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы в среднем по опыту снизились, по отношению к периоду схода снега, на 34,8 мм, или 24 %, в том числе после пара – на 45,8 мм (29 %), гороха – на 35,4 мм (25 %), овса – на 31,6 мм (23 %), бессменной пшеницы – на 26,3 мм (19 %). С учетом текущих весенних осадков (в среднем за годы исследований 65,6 мм) потери влаги из почвы на испарение в среднем по опыту составили 100,4 мм (47 %), в том числе после пара – 111,4 мм (49 %), гороха – 101,0 мм (47 %), овса – 97,2 мм (47 %), бессменной пшеницы – 91,9 мм (45 %), или снижались по мере удаления предшественника от пара.

В зависимости от приема основной обработки сокращение запасов влаги в почве от схода снега к периоду всходов пшеницы в среднем по предшественникам на фоне глубокой обработки составляло 49,3 мм, или 29 %, на фоне мелкой – 37,2 мм (26 %), нулевой – 17,9 мм (15 %). С учетом весенних осадков потери влаги на испарение на фоне глубокой обработки достигали 114,9 мм, или 48 %, мелкой – 102,8 мм (48 %), нулевой – 83,5 мм (45 %).

В период всходов варьирование запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы определяло в основном действие приемов основной обработки (87,6 %) и в значительно меньшей степени – их взаимодействие с предшественником (11,0 %) при слабом влиянии предшественника (1,4 %).

По паровому предшественнику снижение запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы на фоне глубокой плоскорезной обработки составило 69,7 мм, или 37 %, мелкой – 52,2 мм (32 %), нулевой – 15,6 мм (13 %), а с учетом весенних осадков потери влаги на испарение достигали соответственно 135,3 мм (53 %), 117,8 мм (51 %) и 81,2 мм (43 %). После гороха уменьшение запасов продуктивной влаги в почве на фоне глубокой плоскорезной обработки находилось на уровне 47,4 мм, или 29 %, мелкой – 41,1 мм (28 %), нулевой – 17,7 мм (15 %), с учетом выпавших весенних осадков ее потери были равны соответственно 113,0 мм (48 %), 106,7 мм (50 %), 83,3 мм (44 %). После овса снижение

запасов продуктивной влаги в почве на фоне глубокой обработки составило 44,7 мм, или 28 %, мелкой – 28,4 мм (20 %), нулевой – 21,9 мм (18 %), а ее потери с учетом выпавших весенних осадков достигали соответственно 110,2 мм (48 %), 94,0 мм (45 %), 87,5 мм (46 %). В целом потери влаги по всем предшественникам в севообороте уменьшались от глубокой к мелкой и нулевой обработкам.

После бессменной пшеницы сокращение запасов продуктивной влаги в почве на фоне глубокой плоскорезной обработки составило 35,4 мм, или 22 %, мелкой – 27,2 мм (21 %), нулевой – 16,5 мм (14 %). С учетом весенних осадков потери влаги на фоне глубокой обработки составили 101,0 мм, или 43 %, мелкой – 92,8 мм (46 %), нулевой – 82,0 мм (46 %), то есть в абсолютном выражении они снижались от глубокой к мелкой и нулевой обработкам, а в относительном, напротив, увеличивались.

В период всходов пшеницы запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы составляли после пара 110,8 мм, гороха – 109,0, овса – 108,4, бессменной пшеницы – 110,6 мм. То есть преимущества пара над другими предшественниками не выявлено.

Различия по запасам продуктивной влаги в почве к периоду всходов отмечены в зависимости от приемов основной обработки. Так, в метровом слое на фоне глубокой плоскорезной обработки они составляли 120,1 мм, на фоне мелкой – 108,5, нулевой – 100,5 мм. То есть уменьшение глубины или отказ от обработки приводили к снижению накопления влаги в метровом слое почвы на 11,6 и 19,6 мм, или 10 и 16 % соответственно.

Преимущество глубокой плоскорезной обработки над мелкой и нулевой по влиянию на запасы продуктивной влаги в почве по предшественникам усиливалось в направлении от пара к гороху, овсу и бессменной пшенице. Если после пара на фоне глубокой обработки запасы влаги в метровом слое ко времени появления всходов были выше, чем на фоне мелкой и нулевой, на 6,7 и 17,3 мм (6 и 15 %), то после гороха – на 12,4 и 16,3 мм (10 и 14 %), овса – на 5,5 и 16,7 мм (5 и 14 %), а под бессменной пшеницей – на 21,6 и 27,9 мм (17 и 22 %) соответственно.

В свою очередь, с уменьшением глубины основной обработки почвы возрастала роль предшественника в накоплении и сохранении влаги в почве. Так, на фоне глубокой плоскорезной обработки в метровом слое почвы к всходам пшеницы запасы влаги снижались от бессменной пшеницы (127,1 мм) к пару (118,8 мм), гороху (118,6 мм) и овсу (115,8 мм) на 6, 7 и 9 % соответственно, на фоне мелкой – от пара (112,1 мм) к овсу (110,3 мм), гороху (106,2 мм) и бессменной пшенице (105,5 мм) на 2, 5 и 6 %, на фоне нулевой – от гороха (102,3 мм) к пару (101,5 мм), бессменной пшенице (99,2 мм) и овсу (99,1 мм) на 1, 3 и 3 %.

Таким образом, в условиях лесостепи Алтайского Приобья на землях с уклоном 1...2° накопление продуктивной влаги в метровом слое выщелоченного чернозема осенью перед уходом в зиму определялось действием предшественников (65,7 %) и их взаимодействием с приемами основной обработкой почвы (30,9 %). Ее запасы снижались по предшественникам в направлении от пара (109,2 мм) к гороху (88,1 мм), овсу (82,4 мм) и бессменной пшенице (72,6 мм), а по обработкам – от глубокой (91,4 мм) к мелкой (88,7 мм) и нулевой (84,0 мм).

Весной после схода снега запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы зависели преимущественно от приема обработки (82,7 %) и меньше – от предше-

стенника (10,7 %). По обработкам они снижались в направлении от глубокой (169,4 мм) к мелкой (145,8 мм) и нулевой (118,4 мм), а по предшественникам – от пара (156,6 мм) к гороху (144,4 мм), овсу (140,0 мм) и бессменной пшенице (136,9 мм).

Аккумуляция зимних осадков выщелоченным черноземом снижалась в направлении от глубоких (77,9 мм) к мелким (57,0 мм) и нулевым (34,4 мм) обработкам и увеличивалась от пара (47,5 мм) к гороху (56,3 мм), овсу (57,7 мм) и бессменной пшенице (64,3 мм).

К периоду всходов пшеницы запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы существенно сокращались, в сравнении с периодом выхода почвы из-под снега, зависели исключительно от приемов обработки почвы (87,6 %) и снижались в направлении от глубокой (120,1 мм) к мелкой (108,5 мм) и нулевой (100,5 мм), оставаясь неизменными (108,4...110,8 мм) по предшественникам.

Абсолютные потери влаги вследствие испарения за весенний период с учетом текущих осадков зависели от приема основной обработки (65,1 %), предшественника (19,8 %) и их взаимодействия (15,1 %). На необработанном фоне они были наименьшими (81,2...87,5 мм), незначительно повышаясь от занятого пара к гороху и овсу, а после мелкой и глубокой плоскорезных обработок возрастали соответственно до 92,8...117,8 и 101,0...135,2 мм, увеличиваясь в направлении от бессменной пшеницы к овсу, гороху и чистому пару. Относительные потери влаги на фоне нулевой обработки возрастали в направлении от пара (43 %) к гороху (44 %), овсу и бессменной пшенице (46 %), а на фоне мелких и глубоких обработок, напротив, снижались соответственно с 51...53 % до 48...50, 45...48 и 43...46 %.

Литература.

1. О целесообразности освоения системы прямого посева на черноземах России / А. Л. Иванов, В. В. Кулинец, В. К. Дриггер и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35. № 4. С. 8–16. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10401.
2. Кирюшин В. И. Состояние и проблемы развития адаптивно-ландшафтного земледелия // *Земледелие*. 2021. № 2. С. 3–7. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10201.
3. *Scenario projections of the changes in water availability to wheat crops in the steppe Crimea in the 21st century and some measures increasing the efficiency of its cultivation* / Ye. M. Gusev, L. Ya. Dzhogan, O. N. Nasonova // *Eurasian soil science*. 2021. Vol. 54. No. 5. P. 763–771. doi: 10.1134/S1064229321050100.
4. Кузыченко Ю.А. Системы обработки почвы в пропашном звене севооборота в зоне Центрального Предкавказья // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 25-28.
5. Юшкевич Л.В., Голованов Д.А. Водопроницаемость черноземных почв южной лесостепи Западной Сибири // *Земледелие*. 2017. № 5. С. 30–32.
6. Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // *Почвоведение*. 2019. № 9. С. 1130–1139.
7. Глазунов Г. П., Афонченко Н. В., Двойных В. В. Оценка влияния морфометрических показателей рельефа на плодородие черноземных почв // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 7. С. 10–18. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10702.
8. Хакимов Р. А., Никифорова С. А., Хакимова Н. В. Формирование урожайности озимой пшеницы по занятому пару в зависимости от уровня минерального питания // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35. № 2. С. 33–40. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10205.
9. Шакиров Р.С., Бикмухаметов З.М., Хисамиев Ф.Ф. Адаптивные влагоресурсосберегающие приемы повышения продуктивности яровой пшеницы и воспроизводства плодородия серой лесной почвы Предкавказья Татарстана // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 13. № 1 (48). С. 83–90.
10. Усенко В. И., Усенко С. В. Водный режим выщелоченного чернозема в зависимости от предшественника и приема основной обработки // *Земледелие*. 2018. № 2. С. 14–18.
11. Усенко В.И., Усенко С.В. Эффективность применения минеральных удобрений под яровую пшеницу в зависимости от предшественника, обработки почвы и средств защиты растений в лесостепи Алтайского Приобья // *Земледелие*. 2016. № 8. С. 4–8.

Поступила в редакцию 22.07.2021

После доработки 25.08.2021

Принята к публикации 20.09.2021

**ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ УДОБРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ
В СЕВООБОРОТЕ С САХАРНОЙ СВЕКЛОЙ,
НА ПЛОДРОДИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО,
УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ**

**Н.А. Куницын, соискатель,
О.А. Минакова, доктор сельскохозяйственных наук**

*Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова,
396030, Воронежская обл., Рамонский район, пос. ВНИИСС, 86
E-mail: olalmin2@rambler.ru*

Исследования проводили с целью определения последствия удобрений, длительно применяемых под сахарную свеклу в 9-польном зернопаропропашном севообороте в зоне неустойчивого увлажнения лесостепи Центрально-Черноземного района, на плодородие выщелоченного чернозема под зерновыми культурами, их урожайность и качество. Схема опыта, заложенного в 1936 г., включала следующие системы удобрения (в расчете на ротацию севооборота): $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза; $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$ т/га навоза; $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ т/га навоза; $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$ т/га навоза; $N_{380}P_{380}K_{380}$; без удобрений (контроль). Минеральные удобрения вносили только под сахарную свеклу 2 раза за ротацию, навоз – 1 раз в черный пар. Наиболее значительные в опыте изменения агрохимических свойств почвы в слое 0...40 см под влиянием минеральных удобрений и навоза отмечены под озимой пшеницей (повышение содержания подвижного P_2O_5 на 21,3...77,2 %, суммы $N-NO_3$ и $N-NH_4$ – на 8,1...133,2 %, pH_{KCl} – на 0,07...0,37 ед.), наименьшие – под овсом (P_2O_5 – на 16,3...44,4 %). Насыщение удобрениями больше всего увеличивало урожайность овса (на 12,2...65,5 % к контролю), несколько меньше – ячменя (на 13,0...59,1 %) и озимой пшеницы в паровом звене (на 7,4...57,6 %), меньше озимой пшеницы в клеверном звене (29,9...47,8 %). Последствие удобрений повышало содержание белка в зерне овса на 0,5...1,0 %, ячменя – на 0,6...1,8 % к контролю. Отмечена сильная положительная связь урожайности ячменя, овса и озимой пшеницы в обоих звеньях с количеством внесенных элементов питания ($r=0,67...0,95$). В зернопаропропашном севообороте наибольшая урожайность при удовлетворительном качестве зерна озимой пшеницы, ячменя и овса достигалась на фоне $N_{135}P_{135}K_{135}$ под свеклу сахарную дважды за ротацию и 25 т/га навоза в паровом или $N_{190}P_{190}K_{190}$ без навоза, внесение которых обеспечивало получение на 1 кг NPK 14,4...16,8 кг зерна.

**AFTER-EFFECT OF FERTILIZERS APPLIED
IN A CROP ROTATION WITH SUGAR BEET
ON LEACHED CHERNOZEM FERTILITY,
YIELD AND QUALITY OF GRAIN CROPS IN THE CENTRAL BLACK-EARTH REGION**

Kunitsin N.A., Minakova O.A.

*The A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar,
396030, Voronezhskaya obl., Ramonsky r-n, pos. VNISS, 86
E-mail: olalmin2@rambler.ru*

Aim of the studies was to determine after-effect of fertilizers long applied in sugar beet fields under conditions of 9-course grain-arable crop rotation of the Central Black-Earth Region forest-steppe unstable rainfall area on fertility of leached chernozem of fields with grain crops, their yield and quality. Scheme of the started in 1936 experiment with clay-loamy low-humic leached chernozem consisted of fertilizer systems including application of mineral fertilizers at the rates of $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ t/ha of manure, $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$ t/ha of manure, $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ t/ha of manure, $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$ t/ha of manure, and $N_{380}P_{380}K_{380}$ per rotation and variant without fertilizers (control). Mineral fertilizers were used for sugar beet only, 2 times per rotation; manure was applied once in black fallow. Under influence of mineral fertilizers and cattle manure, the most significant changes of leached chernozem agrochemical characteristics in the layer of 0-40 cm were noted for winter wheat (increase of content by 21.3...77.2 % for mobile P_2O_5 , 8.1...133.2 % for N_{mineral} (the sum of $N-NO_3$ and $N-NH_4$), and 0.07...0.37 for pH_{KCl}). The least changes were registered for oats (improvement of P_2O_5 content by 16.3...44.4 %). Increase of crop rotation area saturation with fertilizer (per 1 ha) most of all promoted an increase of oats yield (by 12.2...65.5 % as compared to the control). The effect on barley and winter wheat in a link with fallow was somewhat less (13.0...59.1% and 7.37...57.6 %, correspondingly). And winter wheat in a link with clover was the least influenced (29.9...47.8 %). Fertilizers after-effect promoted increase of protein content in grain of oats by 0.5...1.0 % and barley by 0.6...1.8 % as compared to the control. By mathematical methods, great direct dependence of burley, oats and winter wheat grain yield in both links on the quantity of basic nutrients applied per 1 ha of a crop rotation field ($r=0.674...0.954$) was determined. The fertilizer systems of the grain-arable crop rotation ensuring the greatest yield and satisfactory quality of wheat, burley and oats grain were: $N_{135}P_{135}K_{135}$ 2 times per rotation together with 25 t/ha of manure in fallow and $N_{190}P_{190}K_{190}$ (without manure) for sugar beet; each kg of their nutrients made it possible to obtain 14.4 and 16.8 kg of additional grain, accordingly.

Ключевые слова: зерновые культуры, удобрения, озимая пшеница (*Triticum aestivum*), ячмень (*Hordeum vulgare*), овес (*Avena sativa*), агрохимические свойства, почва

Key words: grain crops, fertilizers, winter wheat (*Triticum aestivum*), barley (*Hordeum vulgare*), oats (*Avena sativa*), agrochemical characteristics, soil

Основной фактор реализации потенциала продуктивности сахарной свеклы – оптимизация ее минерального питания. Успешное решение этой проблемы неразрывно связано с рациональным применением агрохимических средств [1], в том числе удобрений. Важное значение система удобрений приобретает в

севообороте, где можно наиболее продуктивно использовать питательные вещества почвы и удобрений с учетом биологических особенностей культур [2], а также их способностью оставлять после себя и накапливать питательные вещества в почве [3].

Под сахарную свеклу используют значительные

дозы удобрений ($N_{90...170}P_{90...180}K_{75...170}$) [4, 5, 6], что связано с высоким выносом основных элементов питания этой культурой ($N - 51...181$, $P_2O_5 - 18...89$, $K_2O - 64...266$ кг/га) [7, 8]. При этом известно, что внесенные питательные элементы усваиваются не сразу, некоторое их количество остается в почве для второй и даже третьей культуры, следующей по севообороту за хорошо удобренным предшественником [9].

Для формирования урожая яровых зерновых, зернобобовых и трав, требуется меньшее количество элементов питания. Так, вынос урожаем овса N составляет 45 кг/га, $P_2O_5 - 21$ и $K_2O - 42$ кг/га [9], однолетних трав – соответственно 60, 15 и 60 кг/га [5], гороха – 78, 22 и 31 кг/га [10], клевера – 118, 34 и 90 кг/га [11]. Дополнительное поступление азота в почву обеспечивает возделывание многолетних трав и гороха – 123...141 кг/га [12] и 40 кг/га [9] соответственно.

Культура, под которую вносят минеральные удобрения (сахарная свекла, картофель, подсолнечник и др.) в пропашных севооборотах, использует 45...70 % N , 10...20 % P_2O_5 , 40...60 % K_2O , следующая за ней культура 3...5 % N , 5...15 % P_2O_5 и 10...20 % K_2O и даже третья культура после внесения навоз способна использовать до 5 % N и 5 % P_2O_5 [11]. Из навоза, при прямом действии и последствии в сумме используется только около половины N , 40...50 % P_2O_5 и 60...75 % K_2O , а из минеральных удобрений за 3 года в среднем соответственно 45...70 %, 20...40 % и 50...80 % [11]. В зернопропашном севообороте на черноземе типичном в условиях Белгородской области при внесении 40...60 т/га подстильного навоза совместно с рекомендованными дозами минеральных удобрений последствие 1 т навоза обеспечивало получение 9 кг ячменя, 85 кг кукурузы на силос, 3,3 кг гороха, 3,6 кг озимой пшеницы [13].

Неиспользованные элементы служат основой для повышения почвенного плодородия, которое отмечают при длительном применении удобрений [13, 14, 15]. По результатам многих исследований отмечено значительное влияние последствия удобрений на урожайность зерновых культур, возделываемых в одном севообороте с пропашными [16, 17, 18].

Повышение продуктивности севооборота обеспечивает увеличение урожайности, в том числе от последствия удобрений, доля которого составляет 11,6...23,5 % [15]. Зачастую последствие интенсивной удобрения выше прямого действия [19].

Улучшение питания зерновых культур не только обеспечивает увеличение урожайности, но и оптимизирует ее структуру, повышает качество зерна [20, 21, 22].

Цель исследований – установить последствие длительно применяемых под сахарную свеклу удобрений на плодородие почвы под зерновыми культурами, их урожайность и качество в зернопаропропашном севообороте в условиях Центрального Черноземья.

Методика. Работу проводили в 2019–2020 гг. в длительном стационарном полевом опыте по изучению влияния удобрений на плодородие чернозема выщелоченного, урожайности и качество культур зернопаропропашного севооборота, заложенном в 1936 г. в пос. Рамонь Воронежской области. Объектами исследований служили почва опытного участка – чернозем выщелоченный малогумусный среднеспособный тяжелосуглинистый, а также основная продукция (зерно) озимой пшеницы, овса и ячменя. Удобрения применяли в 9-польном зернопаропропашном севообороте со следующим чередованием культур: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень с подсевом клевера – клевер первого года использования – озимая пше-

ница – сахарная свекла – однолетние травы (горох+овес) – овес. Севооборот развернут во времени и в пространстве. Схема опыта: без удобрений (контроль); $N_{45}P_{45}K_{45} + 25$ т/га навоза (с минеральными удобрениями за ротацию внесено $N_{90}P_{90}K_{90}$ – система I); $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза ($N_{180}P_{180}K_{180}$ – система II); $N_{135}P_{135}K_{135} + 25$ т/га навоза ($N_{270}P_{270}K_{270}$ – система III); $N_{150}P_{150}K_{150} + 50$ т/га навоза ($N_{300}P_{300}K_{300}$ – система IV); $N_{190}P_{190}K_{190}$ ($N_{380}P_{380}K_{380}$ – система V).

В качестве минеральных удобрений использовали нитроаммофоску с содержанием NPK 16:16:16, которую вносили только под сахарную свеклу осенью взбросом вручную перед основной обработкой почвы (отвальная вспашка). Использовали полуперепревший подстильный навоз с $pH = 7,9$, содержанием общих $N - 0,48$ %, $P_2O_5 - 0,23$ %, $K_2O - 0,62$ %, который вносили разбрасывателем РОУ-5 один раз за ротацию в паровом поле, прямое действие навоза испытывала озимая пшеница в паровом звене, последствие – остальные культуры севооборота.

Повторность опыта трехкратная, размещение вариантов – систематическое. Общая площадь опытной делянки составляла 133,7 м², учетная – 16,2 м². Возделывали районированные сорта отечественной и белорусской селекции: озимой пшеницы – Безенчукская 380, Скипетр, ячменя – Атаман, Таловский 9, овса – Лев, Золотой дождь.

Почвенные образцы отбирали с глубины 0...20 и 20...40 см в третьей декаде мая согласно ГОСТ P58595-2019. Агрохимические анализы и определение качества зерна выполняли в ГЦАС «Воронежский». В свежих образцах почвы измеряли содержание нитратного (по ГОСТ 26951-86) и аммонийного (по ГОСТ 26489-85) азота, в сухих – подвижного фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) по Чирикову (ГОСТ 26213-91), а также pH_{KCl} (ГОСТ 26490-85). Урожайность зерна определяли методом пробного снопа. Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного и регрессионного анализов (Доспехов Б.А., 1985) с использованием программы Excel 2010.

Результаты и обсуждение. Кислотность почвы под озимой пшеницей после пара была на 0,15...0,54 ед. pH ниже, чем после клевера (табл. 1), возможно, как вследствие подщелачивающего влияния навоза, так и из-за подкисления при разложении свежих растительных остатков клевера. Почва под озимой пшеницей после пара относилась к слабокислой, после клевера – к среднекислой. Уменьшение различий в кислотности почвы под озимой пшеницей в изучаемых звеньях отмечали при повышении уровня применения минеральных удобрений (системы $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза, $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$ т/га навоза, $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ т/га навоза и $N_{380}P_{380}K_{380}$), что свидетельствовало о более значительном их подкисляющем влиянии на почву под озимой пшеницей после клевера, по сравнению с пшеницей после пара, за исключением системы IV ($N_{300}P_{300}K_{300} + 50$ т/га навоза). Отмечено подкисление pH_{KCl} относительно контроля, на 0,07...0,37 ед. в почве под озимой пшеницей после клевера и на 0,18...0,27 – после пара, наибольшее снижение происходило при системе V ($N_{380}P_{380}K_{380}$), наименьшее – при системах II и III ($N_{180}P_{180}K_{180} + 25$ т/га навоза и $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ т/га навоза). В почве после пара было отмечено снижение кислотности в вариантах с системами I и IV ($N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза и $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$ т/га навоза) вследствие невысокой агрохимической нагрузки при системе I и подщелачивающего действия повышенной дозы навоза при системе IV.

Табл. 1. Агрохимические свойства почвы (слой 0...40 см) под озимой пшеницей (2019–2020 гг.)

Вариант	После клевера				После пара			
	рН _{КСл}	N _{мин}	P ₂ O ₅	K ₂ O	рН _{КСл}	N _{мин}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	5,09	4,25	77,5	82	5,29	3,58	80,7	80,2
Система I	5,02	5,17	94,0	77	5,40	8,35	104	79,5
Система II	4,96	5,90	118	81	5,11	6,50	128	77,2
Система III	4,94	5,10	129	78	5,11	5,05	143	80,2
Система IV	5,00	4,10	110	82	5,54	3,87	104	89,2
Система V	4,72	4,62	133	82	5,02	6,52	121	79,5
HCP ₀₅	0,05	0,26	5,79	F _φ < F _τ	0,06	0,32	5,6	F _φ < F _τ

Последствие удобрений, особенно систем II и III (N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + 25 т/га навоза и N₂₇₀P₂₇₀K₂₇₀ + 25 т/га навоза) с высокой насыщенностью питательными элементами, повышалось содержание минерального азота (сумма N-NO₃ и N-NH₄), относительно контроля, в почве под озимой пшеницей после клевера на 8,7...38,8 %, после пара – на 8,1...133,2 %. Наибольшее влияние оказали системы I, III и V (N₉₀P₉₀K₉₀ + 25 т/га навоза, N₂₇₀P₂₇₀K₂₇₀ + 25 т/га навоза и N₃₈₀P₃₈₀K₃₈₀). Содержание подвижного P₂O₅ в почве после клевера в удобренных вариантах повышалось на 21,3...71,6 %, после пара – на 28,9...77,2 %. Самое высокое влияние оказывали системы II, III и V (N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + 25 т/га навоза, N₂₇₀P₂₇₀K₂₇₀ + 25 т/га навоза и N₃₈₀P₃₈₀K₃₈₀), создавая повышенную обеспеченность подвижным P₂O₅ вследствие высокой насыщенности минеральными удобрениями. Увеличение количества вносимых удобрений сопровождалось ростом содержания P₂O₅, за исключением системы IV с повышенной (50 т/га) дозой навоза. Действие навоза в дозе 25 т/га проявилось в увеличении содержания подвижного фосфора в почве под озимой пшеницей после пара на 8,5...10,8 %, относительно почвы под озимой пшеницей после клевера. Калийный режим почвы как после клевера, так и после пара не был подвержен изменениям. Почва относилась к среднеобеспеченной этим элементом (за исключением варианта с системой IV).

Как под овсом, так и под ячменем кислотность почвы не была подвержена существенным изменениям, под овсом отмечена тенденция к повышению на 0,04...0,13 ед. (табл. 2) в вариантах с системами I, II, IV (N₉₀P₉₀K₉₀ + 25 т/га навоза, N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + 25 т/га навоза и N₃₀₀P₃₀₀K₃₀₀ + 50 т/га навоза), под ячменем – к ее снижению на 0,05 и 0,22 ед. при использовании систем III и V (N₂₇₀P₂₇₀K₂₇₀ + 25 т/га навоза и N₃₈₀P₃₈₀K₃₈₀). Такая

ситуация обусловлена тем, что на ячмень в большей мере влияют удобрения сахарной свеклы, поскольку он испытывает их последствие первого года, а овес – второго. Кислотность почвы под ячменем была на 0,05...0,23 ед. рН ниже, чем под овсом, что возможно, связано с биологическими особенностями культур. Увеличение разницы отмечено в контроле и на фоне последствие системы IV (N₃₀₀P₃₀₀K₃₀₀ + 50 т/га навоза).

Количество N_{мин} (сумма N-NO₃ и N-NH₄) в почве под ячменем возрастало, относительно контроля, на 23,6...76,1 %, наибольшее его содержание отмечено в вариантах систем I, III, V (N₉₀P₉₀K₉₀ + 25 т/га навоза, N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + 25 т/га навоза, N₃₈₀P₃₈₀K₃₈₀), в почве под овсом содержание минерального азота не изменялось. Наибольшее влияние удобрений на почву под ячменными культурами выражалось в изменении содержания подвижного P₂O₅. Под овсом оно возрастало на 16,3...44,4 %, повышение доз удобрений приводило к последовательному росту величины этого показателя, относительно контроля, на 21,4, 44,3, 16,3 и 42,4 % соответственно. Повышение доз удобрений обеспечивало увеличение содержания подвижного P₂O₅ в почве под ячменем, относительно контроля, на 6,6...71,4 %, возрастающие дозы минеральных удобрений на фоне 25 т/га навоза способствовали росту величины этого показателя на 6,59, 42,2 и 13,0 %, то есть наибольшее влияние оказывала система II (N₁₈₀P₁₈₀K₁₈₀ + 25 т/га навоза).

В почве под овсом было отмечено достоверное увеличение содержания подвижного K₂O на 4,0...23,3 %, что, возможно, связано с возделыванием в этом звене севооборота клевера. Под ячменем величина этого показателя не была подвержена изменению, очевидно вследствие того, что предшественник сахарная свекла – калиелюбивая культура и выносит его в большом

Табл. 2. Агрохимические свойства почвы (слой 0...40 см) под яровыми зерновыми культурами

Вариант	Овес				Ячмень			
	рН _{КСл}	N _{мин}	P ₂ O ₅	K ₂ O	рН _{КСл}	N _{мин}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	4,83	7,13	99,7	75,0	5,06	5,68	91,0	88,0
Система I	4,92	10,80	92,7	71,0	5,01	9,93	97,0	76,0
Система II	4,95	5,43	121,0	78,0	5,00	7,02	138,0	88,7
Система III	4,87	7,44	144,0	80,7	4,84	10,00	156,0	104,0
Система IV	4,96	4,97	116,0	92,5	5,11	5,49	118,0	84,7
Система V	4,83	6,79	142,0	78,7	4,91	7,93	119,0	92,2
HCP ₀₅	F _φ < F _τ	F _φ < F _τ	7,3	3,0	F _φ < F _τ	0,42	6,4	F _φ < F _τ

Табл. 3. Урожайность и качество зерновых культур

Вариант	Озимая пшеница по пару		Ячмень		Овес		Озимая пшеница по клеверу	
	урожайность, т/га	сырая клейковина, %	урожайность, т/га	белок, %	урожайность, т/га	белок, %	урожайность, т/га	сырая клейковина, %
Контроль	3,66	21	3,01	10,0	2,29	11,2	3,35	24
Система I	3,93	21	3,40	10,9	2,57	11,8	3,51	24
Система II	3,68	21	4,37	11,8	3,21	11,1	4,34	23
Система III	4,92	21	4,79	11,5	3,44	12,2	4,68	23
Система IV	4,60	22	4,23	10,7	3,39	11,7	4,95	24
Система V	5,77	21	4,68	10,6	3,79	11,7	4,48	23
НСР ₀₅	0,24	-	0,21	0,5	0,17	0,6	0,25	1

(около 300 кг/га) количестве [5]. В почве под ячменем отмечали значительное увеличение содержания калия только в варианте с системой III ($N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ т/га навоза), при этом оно было выше, чем под овсом, на 7,0...28,9 % за исключением системы IV ($N_{300}P_{300}K_{300} + 50$ т/га навоза).

Последствие удобрений обеспечивало повышение урожайности озимой пшеницы после пара, относительно контроля, на 0,27...2,11 т/га, или на 7,4...57,6 % (табл. 3), наибольшее влияние оказывали системы III ($N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ т/га навоза) и V ($N_{380}P_{380}K_{380}$) с высокой насыщенностью минеральными удобрениями. В то же время, повышение доз удобрений не привело к росту содержания сырой клейковины в зерне озимой пшеницы, отмечена только тенденция к ее увеличению в варианте IV с $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$ т/га навоза в пару на 1 %.

В звене с клевером под влиянием последствие удобрений урожайность зерна озимой пшеницы возрастала на 0,99...1,60 т/га (29,5...47,8 %), наибольшее воздействие отмечено при использовании систем III и IV ($N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ т/га навоза и $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$ т/га навоза). В этих вариантах наблюдали самый высокий уровень окупаемости 1 кг питательных веществ (3,48 и 3,44 кг/кг соответственно). Повышение и снижение насыщенности удобрениями в системах II и V ($N_{180}P_{180}K_{180} + 25$ т/га навоза и $N_{380}P_{380}K_{380}$) сопровождалось снижением окупаемости до 3,38 и 2,97 кг/кг соответственно. В контроле, в вариантах I, III и V урожайность культуры в паровом звене была выше, чем в травяном, на 0,24...1,29 т/га, что свидетельствует о более высоком эффекте изучаемых доз в звене после клевера, чем после пара. Вследствие того, что с корневыми и пожнивными остатками клевера в почву поступало 142,1...202,2 кг/га азота, содержания сырой клейковины в зерне озимой пшеницы, выращенной после клевера, было на 2...3 % выше, чем после пара. При повышении доз удобрений величина этого показателя в большей степени изменялось при выращивании озимой пшеницы после клевера, чем после пара. Так, после клевера системы II, III и IV ($N_{180}P_{180}K_{180} + 25$ т/га навоза, $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ т/га навоза и $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$ т/га навоза) снижали содержание сырой клейковины, относительно контроля, на 1,0 %, в вариантах с системами I и V ($N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза и $N_{380}P_{380}K_{380}$) оно находилось на уровне контроля (24 %). После пара существенного изменения содержания клейковины в зерне озимой пшеницы не отмечали.

Последствие удобрений на 1-й год после сахарной свеклы в паровом звене способствовало повышению урожайности зерна ячменя, относительно кон-

троля, на 13,0...59,1 % (на 0,39...1,78 т/га), наибольшее влияние оказали системы III и V ($N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ т/га навоза и $N_{380}P_{380}K_{380}$), содержание белка при этом возрастало на 0,6...1,8 %. Повышение уровня насыщенности удобрениями способствовало увеличению урожайности овса на 0,28...1,50 т/га (12,2...65,5 %), сильнее всего при системе V с $N_{380}P_{380}K_{380}$, а содержание белка в зерне возрастало на 0,5...1,0 %, более всего при системе III с $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ т/га навоза в пару. Увеличение доз удобрений с $N_{90}P_{90}K_{90} + 25$ т/га навоза до $N_{180}P_{180}K_{180} + 25$ т/га навоза способствовало росту урожайности зерна овса на 0,64 т/га, дальнейшее их повышение до $N_{270}P_{270}K_{270} + 25$ т/га навоза, $N_{300}P_{300}K_{300} + 50$ т/га навоза и $N_{380}P_{380}K_{380}$ обеспечивало меньшую прибавку. Окупаемость 1 кг питательных веществ системы удобрения I (с учетом навоза) зерном озимых и яровых культур составила 4,45 кг/кг, системы II – 11,2 кг/га, системы III – 14,4 кг/га, системы IV – 10,4 кг/га, системы V – 16,8 кг/га.

В результате регрессионного анализа установлена сильная положительная связь урожайности ячменя, овса и озимой пшеницы с количеством основных элементов питания, внесенных на 1 га севооборотной площади ($r=0,67...0,95$). Согласно уравнениям регрессии повышение уровня удобренности пашни увеличивало урожайность на 2,6...3,2 кг (табл. 4), в наибольшей степени – озимой пшеницы после пара, в наименьшей – овса. Урожайность яровых зерновых культур в сильной степени была обусловлена содержанием подвижного P_2O_5 в почве ($r=0,75...0,78$), но не зависела от $N_{\text{мн}}$, pH_{KCL} , подвижного K_2O (за исключением ячменя – $r=0,43$, средняя связь).

Таким образом, последствие минеральных удобрений, внесенных под сахарную свеклу и навоза в паровом поле, на агрохимические свойства почвы под зерновыми культурами зависело от доз их применения и повышало содержание подвижного P_2O_5 относительно варианта без удобрений на 16,3...77,2 %, $N_{\text{мн}}$ – на 8,7...133,2 %, pH_{KCL} – на 0,07...0,37 ед., при отсутствии влияния на содержание подвижного K_2O . Внесение навоза в паровом поле обеспечивало повышение содержания $N_{\text{мн}}$ в почве под озимой пшеницей, в сравнении с вариантом после клевера, на 10,2...61,5 %, P_2O_5 – на 8,5...10,8 % и pH_{KCL} – на 0,15...0,54 ед. Изменение плодородия почвы под зерновыми, обусловленное длительным систематическим применением удобрений, способствовало повышению урожайности озимой пшеницы после клевера, относительно контроля, на 29,9...47,8 %, озимой пшеницы после пара – на 7,4...57,6 %, ячменя – на 13,0...59,1 %, овса – на 12,2...65,5 %. Последствие удобрений сопро-

Табл. 4. Уравнения взаимных связей* урожайности (Y) зерновых культур, доз удобрений и агрохимических свойств почвы (слой 0...40 см)

Культура	Сумма NPK удобрений	pH _{KCl}	Содержание в почве, мг/кг		
			N _{мин.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница (звено - пар)	Y=0,0032x+3,320 (0,67)**	-	-	-	-
Озимая пшеница (звено - клевер)	Y=0,0028x+3,263 (0,83)	-	-	Y=0,024x+1,527 (0,65)	-
Ячмень	Y=0,0031x+3,025 (0,82)	Y=-4,56x+26,8 (0,39)	-	Y=0,026x+1,07 (0,76)	Y=0,051x-0,484 (0,43)
Овес	Y=0,0026x+2,211 (0,95)	-	-	Y=0,024x-0,266 (0,78)	-

* прочерки означают отсутствие связи.
** в скобках коэффициент парной корреляции

вождалось снижением содержания сырой клейковины в зерне озимой пшеницы после клевера на 1,0 %, но повышалось содержание белка в зерне овса на 0,5...1,0 % и в зерне ячменя на 0,6...1,8 %. Наибольшую в опыте урожайность зерновых культур с окупаемостью удобрений прибавкой урожая 14,4 кг/га при хорошем качестве зерна обеспечивало внесение N₁₃₅P₁₃₅K₁₃₅ под сахарную свеклу два раза в ротацию совместно с 25 т/га навоза в паровом поле, а также N₁₉₀P₁₉₀K₁₉₀ без навоза – при некотором снижении качества с окупаемостью удобрений 16,8 кг/га.

Литература

1. Булдыкова И.А., Шеуджен А.Х. Влияние микроудобрений на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 98. С. 732–737.
2. Карамнова Н.В., Белоусов В.М. Управление технологиями: учебное пособие. Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ, 2018. 275 с.
3. Малимбаева А.Д. Урожайность культур свекловичного севооборота в зависимости от длительного и систематического применения удобрений // Почвоведение и агрохимия. 2009. № 3. С. 39–43.
4. Гуреев И.И., Агibalов А.В. Производство сахарной свеклы без затрат ручного труда. Курск: Курский ЦНТИ, 2000. 124 с.
5. Агрохимия / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
6. Инновационные технологии производства, хранения и переработки сахарной свеклы. Аналитический обзор / В.Ф. Федоренко, Н.П. Мишууров, Т.А. Щеголихина и др. М.: Росинфрагротех, 2020. 92 с.
7. Мязин Н.Г., Кожокина А.Н. Влияние удобрений на изменение содержания элементов питания в почве, продуктивность и качество корнеплодов сахарной свеклы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2013. № 3 (38). С. 15–21.
8. Заришняк А.С., Руцкая С.И., Колибабчук Т.В. Влияние удобрений на потребление элементов питания культурами зерно-свекловичного севооборота на черноземе оподзоленном // Агрохимия. 2003. № 6. С. 39–46.
9. Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П. Система удобрения. М.: КолосС, 2003. 320 с.
10. Вильдфуш И.Р., Малашевская О.В. Влияние макро-, микроудобрений, регуляторов роста и ризобияльного инокулянта на урожайность и качество семян посе-

- ного гороха // Почвоведение и агрохимия. 2018. № 1 (60). С. 228–237.
11. Агрохимия / Б.А. Ягодин, П.М. Смирнов, А.В. Петербургский и др. Изд. 2-ое, перераб. М.: Агропромиздат, 1989. 639 с.
12. Завалин А.А., Алметов Н.С., Чернова Л.С. Эффективность использования минеральных удобрений и биопрепаратов в зернотравяных севооборотах // Агрохимия. 2014. № 9. С. 35–47.
13. Шелганов И.И. Органические удобрения в севооборотах Центрально-Черноземной зоны: Автореф. дис. ... докт. сельск. наук. М., 1996. 47 с.
14. Храмов И.Ф. Приемы рационального применения минеральных и органических удобрений на черноземных почвах Западной Сибири / Матер. Всерос. научно-метод. конф. Географической сети опытов с удобрениями. М.: ВНИИА, 2006. С. 88–91.
15. Небытов В.Г. Влияние фосфорных удобрений, навоза и их длительного последствие на устойчивость озимой ржи к неблагоприятным погодным условиям // Агрохимия. 2005. № 2. С. 27–32.
16. Волынкин В.И., Волынкина О.В. Сравнительное действие минеральных и органических удобрений на выщелоченных черноземах Западной Сибири // Плодородие. 2014. № 4 (79). С. 17–19.
17. Мерзлая Г.Е. Биологические факторы в системах удобрения // Агрохимия. 2017. № 10. С. 24–36.
18. Шаповалова Н.Н., Годунова Е.И. Последствие 30-летнего применения минеральных удобрений на продуктивность чернозема обыкновенного Центрального Предкавказья // Плодородие. 2019. № 1 (106). С. 11–14.
19. Шаповалова Н.Н., Шустикова Е.П., Ворopaева А. Влияние длительного внесения минеральных удобрений на продуктивность полевого севооборота в прямом действии и последствии // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 2. С. 11–14.
20. Ионина Н.В., Волынкина О.В., Копылов А.Н. Влияние удобрений на урожайность зерновых культур полевых севооборотов в северо-западной зоне Курганской области // Агрохимия. 2019. № 9. С. 26–36.
21. Жиленко С.В., Сычѳв В.Г. Эффективность системы удобрения озимых зерновых культур на выщелоченном черноземе // Плодородие. 2015. № 2 (83). С. 8–10.
22. Влияние различных систем обработки почвы и удобрения на плодородие почвы и урожайность озимой пшеницы / А.А. Романенко, В.М. Кильдюшкин, А.Г. Солдатенко, Е.Г. Животовская // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 3. С. 26–29.

Поступила в редакцию 20.07.2021
После доработки 06.09.2021
Принята к публикации 25.09.2021

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ И СРЕДСТВ БИОЛОГИЗАЦИИ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОГО СРЕДНЕМОЩНОГО НИЗКОГУМУСНОГО, ПОДСТИЛАЕМОГО ГАЛЕЧНИКОМ

Х.А. Хусайнов, кандидат биологических наук,
А.В. Тунтаев, М.С. Муртазалиев, Ф.Д. Елмурзаева, М.Ш. Абасов

*Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
366021, Грозный, пос. Гикало, ул. Ленина, 1
E-mail: haron-h14@mail.ru*

Исследования проводили с целью изучения влияния различных способов основной обработки почвы с внесением навоза и заделкой сидератов на агрофизические свойства пахотного (0...25 см) и подпахотного (25...50 см) слоев чернозема типичного тяжелосуглинистого среднесплошного низкогумусного, подстилаемого галечником, при недостаточной влагообеспеченности. Схема опыта предусматривала изучение эффективности применения навоза и сидератов на фоне вспашки на глубину 25...30 см, дискования на глубину 10...15 см и чизелевания на глубину 30...40 см. Контролем был вариант без органических удобрений. Применение навоза и сидератов способствовало улучшению агрофизических параметров почвы, по сравнению с контролем, в обоих изучаемых слоях. В конце вегетации плотность почвы в слое 0... 25 см на оптимальном уровне (1,10...1,20 г/см³) отмечали в вариантах без удобрений и с заделкой сидератов после дискования. При использовании других способов обработки почвы она выходила за эти пределы. Наибольшее содержание структурных агрегатов в пахотном слое почвы зафиксировано также после дискования на фоне сидерата (81 %), в подпахотном – оно было самым большим по вспашке на фоне навоза (89 %). Лучшую водопрочность структурных агрегатов наблюдали при дисковании и чизелевании после сидерата – соответственно в пахотном слое 86,2 и 90 %, в подпахотном – 84,6 и 84,7 %. Влажность почвы в начале вегетационного периода 2020 г. благодаря выпадению осадков находилась в оптимальном интервале (в пределах 50...70 % от ППВ) во всех вариантах опыта. К концу вегетации она снижалась почти в 2 раза. При этом лучшую величину этого показателя в пахотном (41,1 %) и подпахотном (37,9 %) слое отмечали при дисковании после заделки сидерата.

INFLUENCE OF PROCESSING METHODS AND MEANS OF BIOLOGIZATION ON AGROPHYSICAL PROPERTIES OF CHERNOZEM TYPICAL HEAVY LOAMY MEDIUM-THICK LOW-HUMUS CHERNOZEM UNDERLAIN BY PEBBLES

Khusainov Kh.A., Tuntaev A.V., Murtazaliev M.S., Elmurzaeva F.D., Abasov M.Sh.

*Chechen Scientific Research Institute of Agriculture
366021, Chechenskaya Respublica, Grozny, Gikalo, ul. Lenina, 1
E-mail: haron-h14@mail.ru*

The studies were carried out to study the effect of various methods of basic soil cultivation with the introduction of manure and incorporation of green manure on the agrophysical properties of arable (0...25 cm) and sub-arable (25...50 cm) layers of typical heavy loamy medium-thick low-humus chernozem, underlain by pebbles, with insufficient moisture supply. Experiment scheme: without the use of manure and green manure (control); plowing to a depth of 25...30 cm + green manure; disking to a depth of 10...15 cm + green manure; chiseling to a depth of 30...40 cm + green manure; plowing + manure; disking + manure; chiseling + manure. When disking on the aftereffect of manure and green manure, all agrophysical parameters of the soil in both layers increased significantly in comparison with the control. At the same time, the best indicators of the bulk density were noted after the incorporation of green manure - 1.11 g/cm³ in the topsoil and 1.28 g/cm³ in the sub-arable layer. The highest content of structural aggregates in the topsoil was recorded after disking against the background of green manure (81%), in the sub-arable layer – after plowing against the background of manure (89%). When disking against the background of green manure relative to the control, the bulk density in both soil layers decreased from dense to medium-dense (optimal) degree of compaction, the number of structural aggregates increased from satisfactory to good structural state in the arable layer, and their water resistance – from unsatisfactory to excellent in both soil layers. The soil moisture at the beginning of the 2020 growing season due to precipitation was in the optimal range (within 50 ... 70 % of the full field moisture capacity) in all variants of the experiment. By the end of the growing season, it decreased by almost 2 times. At the same time, the best value of this indicator in the arable (41.1 %) and sub-arable (37.9 %) layer was noted when disking after the green manure was planted.

Ключевые слова: объемная масса, количество структурных агрегатов, водопрочность, влажность почвы

Key words: volumetric weight, number of structural aggregates, water resistance, soil moisture

Физические свойства почв – важный показатель их плодородия и деградации. Гранулометрический состав – матрица, на которой протекают все физико-химические процессы, развитие корневых систем, поглощение ими элементов минерального питания. В научном земледелии до сих пор не сложилось единого мнения о влиянии систем обработки почвы и фонов удобрений на агрофизические свойства почвы, что обусловлено различными почвенными условиями [1]. Поверхностная обработка почвы обеспечивает наибольшее ресур-

сосбережение, производственные затраты при этом снижаются в пределах 16...22 %. Поэтому ее рекомендуют применять для сокращения материальных и трудовых затрат на обыкновенных черноземах поверхностную обработку почвы [2].

По мнению других авторов, наиболее эффективная система основной обработки почвы в пропашном звене севооборота озимая пшеница – кукуруза на зерно с экономической точки зрения – чередование обычной вспашки на глубину 20...22 см под озимую пшеницу

и чизельной обработки на 23...25 см под кукурузу на зерно. Уровень рентабельности производства продукции в этом варианте составляет 89 % [3]. При длительном антропогенном воздействии основные изменения агрофизических и физико-химических свойств лугово-бурой тяжелосуглинистой почвы происходят в ее верхнем 0...20 см слое. В Хабаровском крае, за период сельскохозяйственного использования (с 1963–1965 по 2019 гг.), в полевом севообороте плотность этого слоя увеличилась, по сравнению с целинным участком, на 0,38...0,62 г/см³, порозность – снизилась на 13,0...21,9 %. Самое высокое содержание водопрочных агрегатов почвы отмечено в пятипольном севообороте с клевером луговым – 43,1 %, наименьшее – в двухпольном пропашном севообороте и при бессменном возделывании кукурузы – 31,4...28,1 % [4].

Основная обработка почвы должна обеспечивать максимальное накопление зимних осадков, а после поглощения талых вод – тормозить процессы физического испарения влаги. Глубоко обработанная почва хорошо аккумулирует влагу, но плохо ее сохраняет, тогда как более плотная почва после мелкой или поверхностной обработки хуже накапливает влагу, но лучше ее сохраняет [5]. При безотвальной обработке повышается производительность труда, сокращаются сроки проведения полевых работ, снижается себестоимость продукции, улучшается противозерозионная стойкость почвы, уменьшаются потери влаги из неё. В то же время ей присущи и определённые недостатки, в первую очередь, увеличивается засорённость посевов, особенно при повышенном увлажнении [6]. Различные по интенсивности воздействия приемы основной обработки приводят к изменению физических свойств почвы, в том числе к уплотнению, ухудшению структуры, снижению водоустойчивости. Так, при прямом посеве благодаря мульчирующему слою пожнивных остатков происходит накопление влаги в почве, увеличение супрессивности и снижение эродированности. Отмечается отсутствие ухудшения таких агрофизических свойств почвы, как переуплотнение, увеличение количества крупных почвенных агрегатов (>10 мм), но одновременно и повышение её плотности [7]. Вспашка, как основной способ обработки почвы, способствует снижению количества сорных растений, но уступает чизелеванию по накоплению влаги [8]. Производственные затраты на возделывание яровой пшеницы постоянно растут в связи с удорожанием ГСМ, техники, средств защиты растений и удобрений. При этом наибольшие энергетические затраты приходится на обработку почвы. Поэтому в последние годы весьма актуально повышение урожайности яровой пшеницы при одновременном снижении затрат на ее производство путем разработки ресурсосберегающих технологий возделывания, основанных на рациональном сочетании систем удобрения с различным уровнем биологизации и интенсивности основной обработки почвы [9].

Применение органических удобрений обеспечивает существенное улучшение плодородия почвы. Кроме того, наблюдается положительное последствие навоза при резком недостатке атмосферных осадков [10]. Следует отметить, что использование традиционных органических удобрений заметно снизилось из-за резкого сокращения поголовья животных, внесение навоза, особенно на отдаленных полях, стало чрезмерно затратным. В связи с этим одним из основных и доступных способов поддержания плодородия почвы становится сидерация [11]. Приемы биологизации (солома,

сидерация, многолетние бобовые травы) обеспечивают существенное улучшение агрофизических свойств почвы, в частности способствуют оптимизации её плотности. Одновременно происходит накопление гумуса в почве, возрастает урожайность выращиваемых культур [12]. Будучи важным фактором биологизации земледелия сидераты предохраняют почву от эрозии, обеспечивают устойчивое экологическое равновесие и формирование экологически безопасной продукции [13, 14]. Необходимо эффективное использование всех источников органического вещества (навоз, солома, сидераты и др.), которые служат важнейшим фактором ресурсосбережения и воспроизводства плодородия почвы, особенно в условиях высокой стоимости минеральных удобрений [15].

Цель исследований – разработка научно обоснованной ресурсосберегающей системы основной обработки почвы с использованием средств биологизации для сохранения и воспроизводства плодородия чернозема типичного тяжелосуглинистого среднемощного низкогумусного, подстилаемого галечником в условиях засушливого вегетационного периода.

Методика. Работу проводили в 2019–2020 гг. на опытном поле Чеченского НИИСХ, расположенном в лесостепной природно-климатической зоне в засушливых условиях. Почва опытного участка – чернозем типичный тяжелосуглинистый среднемощный низкогумусный, подстилаемый галечником. Среднее содержание гумуса (по Тюрину) в пахотном слое составляет 4,2 %, подвижного фосфора и калия (по Мачигину) – 15 и 220 мг/кг соответственно. Реакция почвенной среды (потенциометрическим методом) – нейтральная ($pH_{KCl} = 6,9$).

Закладку и проведение полевого опыта осуществляли по общепринятым методикам [16, 17, 18]. Посевная площадь делянок для озимой пшеницы и овса составляла 45 м², гороха – 67,5 м², кукурузы – 90 м², учетная – соответственно 30 м², 52,5 м², 75 м². Повторность в опыте – 4-кратная.

Образцы пахотного (0...25 см) и подпахотного (25...50 см) слоев почвы отбирали с каждого варианта в начале и конце вегетационного периода. Определение агрофизических показателей почвы проводили общепринятыми методами: агрегатный состав почвы – по методу Саввинова, водопрочность структурных агрегатов – по методу Андрианова.

В качестве органических удобрений (фактор А) использовали полуперепревший навоз в дозе 30 т/га (N – 0,45 %, P – 0,23 %, K – 0,50 %), внесенный осенью 2018 г., и сидераты: в 2019 г. овес яровой + сорго кормовое (нормы высева соответственно 150 и 10 кг/га); в 2020 г. рапс яровой (норма высева 15 кг/га). Заделку сидератов проводили осенью предшествующего исследованию года (в 2018 и 2019 гг. соответственно). Контроль – без применения навоза и сидератов.

Кроме того, схема опыта предусматривала изучение трех способов основной обработки почвы (фактор В): вспашка на глубину 25...30 см навесным плугом ПН-4-35, дискование на 10...15 см БДМ-3×4, чизелевание на 30...40 см чизелем-глубококорыхлителем Д 380 NS.

Метеоусловия осенне-зимнего периода в оба года исследований складывались в основном одинаково. Осень отличалась высокой температурой воздуха и отсутствием осадков вплоть до начала ноября. Средняя месячная температура воздуха октября составляла 12,8 °С, что на 1,2 °С превышало среднегодовую (11,6 °С). Зима была малоснежной, со средней температурой воздуха в январе 1 °С, при среднемо-

Табл. 1. Агрофизические показатели пахотного и подпахотного слоев почвы при разных способах обработки на фоне внесения сидератов и навоза (2019 г.)

Вариант		Слой почвы, см	Объемная масса, г/см ³		Количество структурных агрегатов, %		Водопрочность структурных агрегатов, %		Влажность почвы от ППВ, %	
органические удобрения (фактор А)	обработка почвы (фактор В)		1*	2	1	2	1	2	1	2
Без удобрений	вспашка	0...25	1,23	1,22	67,7	70,6	34,9	63,3	42,2	42,7
		25...50	1,18	0,91	74,2	51,8	40,2	81,0	44,1	36,9
	дискование	0...25	1,15	1,13	51,9	61,8	24,6	80,4	42,2	45,5
		25...50	1,25	1,03	54,3	55,1	38,3	76,1	45,9	29,7
	чизелевание	0...25	1,34	1,31	49,7	58,5	42,9	74,4	35,6	32,1
			1,25	1,27	49,1	59,8	18,9	76,5	37,2	33,7
Сидерат	вспашка	0...25	1,14	1,30	79,2	80,0	32,7	80,0	44,7	49,7
		25...50	1,11	1,31	86,4	77,1	36,5	84,5	46,0	30,1
	дискование	0...25	1,11	1,30	63,1	81,0	44,4	86,2	49,1	49,1
		25...50	1,23	1,36	64,2	51,4	54,3	84,6	50,3	35,0
	чизелевание	0...25	1,36	1,23	69,4	61,8	48,2	90,0	44,5	49,8
			1,32	1,35	73,5	73,7	33,1	84,7	46,6	41,7
Навоз	вспашка	0...25	1,12	1,23	41,3	78,3	56,1	67,7	41,2	42,4
		25...50	1,18	1,00	37,1	89,0	30,8	46,8	46,6	50,0
	дискование	0...25	1,04	1,28	55,8	80,2	26,3	74,3	46,9	45,9
		25...50	1,32	1,20	49,5	81,1	30,7	53,3	39,7	45,9
	чизелевание	0...25	1,14	1,34	59,6	58,8	48,5	56,9	46,6	55,3
			1,20	1,25	50,1	70,9	20,7	36,8	48,7	44,1
НСР ₀₅		0...25	0,05	0,06	2,9	3,5	1,9	3,7	2,1	2,2
		25...50	0,06	0,06	3,0	3,3	1,7	3,4	2,0	1,9
НСР _А = НСР _В		0...25	0,03	0,04	1,8	2,16	1,2	2,3	1,3	1,4
		25...50	0,04	0,04	1,8	2,0	1,1	2,0	1,2	1,2
НСР _{АВ}		0...25	0,02	0,02	1,1	1,3	0,8	1,4	0,8	0,8
		25...50	0,02	0,02	1,1	1,2	0,7	1,3	0,8	0,7

*1 – в начале вегетационного периода, 2 – в конце вегетационного периода

голетней – -1,9 °С. Весенний период в оба года характеризовался частыми осадками, основное количество которых выпадало в течение мая с превышением месячной нормы (56 мм) на 33...72 %. а среднемесячной температуры воздуха 16,6°С – на 1...1,3°С. Самые теплые дни с температурой воздуха от 29 до 32°С наблюдались с середины по конец мая. Однако в течение летнего периода количество осадков резко уменьшалось, при этом среднемесячная температура воздуха превышала среднегодовалную норму июля 23,9°С на 1,5...2,0°С. С середины июня и до начала августа температура воздуха устойчиво держалась в пределах 34...36°С, в некоторые дни достигая 40...42°С, при этом с частыми суховеями, что приводило к иссушению почвы.

Результаты и обсуждение. Определение агрофизических показателей пахотного и подпахотного слоев почвы в начале и конце вегетационных периодов показало, что под влиянием изучаемых приемов их величина в разной степени повышалась, по сравнению с соответствующим контролем.

В конце вегетационного периода 2019 г. плотность почвы в пахотном слое близкую к оптимальной (1,10...1,20 г/см³) отмечали в варианте с дискованием без применения удобрений (табл. 1), в подпахотном

(1,20...1,30 г/см³) – при чизелевании на фоне внесения навоза и без удобрений. На фоне естественного плодородия почва в подпахотном слое почвы при дисковании и вспашке характеризовалась очень рыхлым состоянием (< 1,10 г/см³). Наибольшую долю структурных агрегатов почвы в конце вегетационного периода 2019 г. в пахотном слое почвы отмечали после дискования на фоне заделки сидерата с превышением величины этого показателя в аналогичном варианте без удобрений на 19,2 %. В подпахотном лучшие результаты отмечены при вспашке на фоне внесения навоза, где доля структурных агрегатов на 37 % превысила величину этого показателя при отвальной обработке в контроле (см. табл. 1).

При этом в вариантах с дискованием и чизелеванием на фоне сидерата в обоих слоях почвы в конце вегетационного периода 2019 г. отмечена отличная (>70 %) водопрочность структурных агрегатов. По сравнению с контролем, она возросла в пахотном слое соответственно на 6 и 15 %, в подпахотном – на 8 % при обеих обработках.

Влажность почвы в обоих изучаемых слоях в 2019 г., вследствие сильной засухи, в конце вегетационного периода почти во всех вариантах опыта не превышала 50 %. Исключением был пахотный слой после чизелева-

Табл. 2. Агрофизические показатели пахотного и подпахотного слоев почвы при разных способах обработки на фоне внесения сидератов и навоза (2020 г.)

Вариант		Слой почвы, см	Объемная масса, г/см ³		Количество структурных агрегатов, %		Водопрочность структурных агрегатов, %		Влажность почвы от ППВ, %	
органические удобрения (фактор А)	обработка почвы (фактор В)		1*	2	1	2	1	2	1	2
Контроль	вспашка	0...25	1,18	1,07	52,4	36,8	53,7	60,7	56,2	33,0
		25...50	1,06	1,22	57,2	49,0	50,3	64,8	47,4	26,1
	дискование	0...25	1,30	1,33	54,8	56,2	58,3	66,3	51,1	36,7
		25...50	1,37	1,24	48,8	69,0	54,2	74,1	47,2	36,2
	чизелевание	0...25	1,36	1,24	46,0	34,1	50,5	62,7	56,3	34,9
		25...50	1,24	1,31	51,6	56,4	57,6	65,2	58,2	31,5
Сидерат	вспашка	0...25	1,24	0,91	51,0	68,2	74,4	69,9	64,2	25,6
		25...50	1,24	1,20	54,7	53,2	73,9	74,0	61,3	26,9
	дискование	0...25	1,10	1,11	63,6	58,8	71,1	76,1	67,9	41,1
		25...50	1,12	1,28	51,2	50,0	70,1	80,3	64,5	37,9
	чизелевание	0...25	1,30	1,29	49,2	64,0	68,2	70,9	64,0	39,0
		25...50	1,24	1,33	54,3	49,2	64,9	74,5	61,5	35,1
Навоз	вспашка	0...25	1,24	1,29	51,6	58,8	70,9	65,8	67,6	34,8
		25...50	1,30	1,15	48,4	78,6	61,5	68,8	61,3	23,6
	дискование	0...25	1,18	1,23	43,2	42,6	66,9	73,8	64,3	31,2
		25...50	1,24	1,31	60,8	65,0	70,4	71,9	58,1	29,7
	чизелевание	0...25	1,30	1,27	52,2	58,2	60,8	70,7	64,1	34,9
		25...50	1,30	1,23	69,8	50,6	73,7	65,3	61,0	22,1
НСР ₀₅	0...25	0,05	0,05	2,4	2,6	3,1	3,4	3,0	1,7	
	25...50	0,06	0,05	2,7	2,9	3,1	3,5	2,9	1,5	
НСР _А = НСР _В	0...25	0,03	0,04	1,7	2,1	1,1	2,2	1,3	1,3	
	25...50	0,04	0,04	1,9	2,0	1,1	2,1	1,3	1,2	
НСР _{АВ}	0...25	0,02	0,02	1,2	1,3	0,1	1,4	0,8	0,8	
	25...50	0,02	0,02	1,1	1,2	0,6	1,2	0,7	0,7	

*1 – в начале вегетационного периода, 2 – в конце вегетационного периода

ния на фоне с внесением навоза, в котором величина этого показателя оставалась у нижней границы оптимума (50...70 % от ППВ) и была выше, чем в соответствующем контроле, на 23 % (см. табл. 1).

К концу вегетационного периода 2020 г. плотность пахотного слоя почвы оставалась в оптимальном диапазоне 1,10...1,20 г/см³ в варианте с дискованием на фоне сидерата. В соответствующем контроле в пахотном слое она была на 0,22 г/см³ выше, а в подпахотных слоях в этих вариантах плотность почвы была на одном уровне (табл. 2).

Влажность почвы в начале вегетации 2020 г. находилась в пределах оптимальных значений (50...70 % от ППВ) во всех вариантах опыта, что связано с выпадением в этот период осадков. Из-за установившейся засухи, а также в результате потребления растениями к концу вегетационного периода она снизилась почти вдвое. При этом наиболее высокую величину этого показателя в обоих слоях отмечали после дискования на фоне сидерата: в пахотном слое больше, чем в соответствующем контроле, на 5 %, в подпахотном – на 2 % (см. табл. 2). Вероятно, дискование обеспечивает лучшее сохранение влаги в условиях, когда почвенный покров подстилается галечником, который ме-

стами доходит до пахотного слоя. При более глубоких обработках почвы (вспашка и чизелевание) почвенная влага быстрее просачивается в нижние слои или испаряется, что необходимо учитывать в условиях с жарким, засушливым летом и частыми суховеями.

Лучшее структурное состояние почвы в конце вегетационного периода 2020 г. отмечали при вспашке: в пахотном слое на фоне сидерата, в подпахотном – навоза. В этих вариантах доля структурных агрегатов была выше, чем в контроле, соответственно на 31,4 и 29,6 % (см. табл. 2).

Отличную водопрочность структурных агрегатов в обоих слоях почвы в конце вегетационного периода 2020 г. отмечали при дисковании на фоне сидерата, где она была выше, чем в соответствующем контроле, в пахотном слое на 10 %, в подпахотном – на 6 %.

В целом влияние навоза и сидератов на агрофизические свойства почвы было сопоставимым. Среди способов обработки почвы формирование лучших агрофизических показателей обеспечило дискование. При его проведении наблюдали оптимальную объемную массу почвы в обоих слоях, хорошую структуру почвы в пахотном слое, отличную водопрочность структурных агрегатов в обоих слоях, более высокую влажность по-

чвы при засухе.

Таким образом, обработка почвы дисковыми боронами на фоне сидерации позволяет решать задачи по сохранению плодородия чернозема типичного тяжелосуглинистого среднемощного низкогумусного, подстилаемого галечником в Чеченской Республике в условиях дефицита почвенной влаги. С учетом зачастую труднодоступности навоза, заделка сидерата – вполне приемлемая замена.

Литература

- Смирнов Б.А., Воронин А.Н. Агрофизические свойства дерново-подзолистой глееватой почвы при разных системах обработки, удобрений и гербицидов // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2010. № 5. С. 20–30.
- Влияние ресурсосберегающих обработок на агрофизические свойства обыкновенного чернозема и урожайность яровой пшеницы в предгорной степи Южного Урала / Я.З. Каипов, Р.Л. Акчурин, З.Р. Султангазин и др. // *Земледелие*. 2020. № 1. С. 40–43.
- Кузыченко Ю.А. Системы обработки почвы в пропашном звене севооборота в зоне Центрального Предкавказья // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 25–28.
- Рубцов Л.М., Юрченко Т.С., Хоменок Г.П. Влияние длительной антропогенной нагрузки на изменение агрофизических и физико-химических свойств сезонно-мерзлотных почв Хабаровского края // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 6. С. 11–16.
- Баздырев Г.И., Заверткин И.А. Возможности и проблемы минимализации обработки почвы при длительном ее использовании // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2008. № 4. С. 4–8.
- Буянкин Н.И., Красноперов А.Г. Основная обработка почвы в условиях засушливого земледелия // *Достижения науки и техники АПК*. 2006. № 6. С. 39–42.
- Минимизация основной обработки почвы под горох в Курской области / Д.В. Дубовик, Е.В. Дубовик, А.В. Шумаков, и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 11. С. 26–31.
- Кильдюшкин В.М., Бугаевский В.К., Романенко А.А. Основная обработка почвы в эрозионноопасных и равнинно-западных агроландшафтах Северного Кавказа // *Достижения науки и техники АПК*. 2004. № 11. С. 25–26.
- Сравнительная оценка технологий возделывания яровой мягкой пшеницы с различным уровнем интенсификации в условиях Курской области / В.И. Лазарев, Р.И. Лазарева, Б.С. Ильин и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 5. С. 24–27.
- Матюк Н.С., Полин В.Д., Николаев В.А. Изменение агрофизических свойств почвы под действием приемов обработки и удобрений // *Владимирский земледелец*. 2015. № 2 (72). С. 12–14.
- Никитин С.Н. Влияние последствия органических удобрений и инокуляции семян ризоагрином на накопление пожнивно-корневых остатков и продуктивность яровой пшеницы // *Достижения науки и техники АПК*. 2012. № 1. С. 12–14.
- Ахметзянов М.Р., Хузина Г.К., Таланов И.П. Влияние растительной биомассы растений и приемов основной обработки почвы на агрофизические показатели почвы и продуктивность культур в звене севооборота // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 11–16.
- Лошаков В.Г., Иванов Ю.Д., Николаев В.А. Плодородие дерново-подзолистых почв и продуктивность зерновых севооборотов при длительном использовании пожнивной сидерации // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2004. № 3. С. 3–14.
- Туктаров Б.И., Тарасенко П.В., Уваров А.В. Повышение плодородия чернозема выщелоченного в лесостепной зоне при биологизации земледелия // *Плодородие*. 2012. № 1. С. 37–39.
- Изменение показателей плодородия серой лесной почвы и продуктивность культур в звене севооборота при внесении удобрений / Р.С. Шакиров, З.М. Бикмухаметов, Ф.Ф. Хисамиев и др. // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 15. № 2 (58). С. 59–65.
- Адиньяев Э.Д., Абаев А.А., Адаев Н.Л. Учебно-методическое руководство по проведению исследований в агрономии. Грозный: Изд-во ЧГУ, 2012. 344 с.
- Володин В.М. Экологические основы оценки и использования плодородия почв. М.: ЦИНАО, 2000. 335 с.
- Нагорный В.Д. Практикум по земледелию: учебное пособие. М.: РУДН, 2014. 182 с.

Поступила в редакцию 30.08.2021

После доработки 24.09.2021

Принята к публикации 08.10.2021

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.264: 631.527

DOI: 10.31857/S2500262721060053

**ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СЕМЕННОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ
У СОРТООБРАЗЦОВ ОВСЯНИЦЫ КРАСНОЙ: СЕЛЕКЦИОННЫЙ ПОДХОД****В.М. Косолапов¹**, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН
В.И. Чернявских¹, доктор сельскохозяйственных наук, **М.Н. Маринич²**, аспирант¹Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса
141055, Московская обл., Лобня, ул. Научный городок, корп. 1
E-mail: cherniavskih@mail.ru²Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
308015, Белгород, ул. Победы, 85

Исследования проводили с целью изучения исходного материала овсяницы красной, созданного на основе форм, выделенных в экотопах мелового юга Среднерусской возвышенности по комплексу показателей семенной продуктивности, в сравнении с районированными сортами. В 2017–2020 гг. изучали 18 сортобразцов овсяницы красной: 4 сорта (газонного типа) Россинант (стандарт), Гостёнка, Искринка, Везёлка и 14 селекционных образцов, исходный материал для создания которых был собран в различных экологических точках Белгородской области. Юг Среднерусской возвышенности с широким распространением меловых обнажений, карбонатных почв, перемежающихся с луговыми экотопами пойм рек, можно считать регионом, благоприятным для отбора исходного материала с целью создания сортов овсяницы красной газонного типа с высокой семенной продуктивностью на уровне 71,2...108,6 г/м². Метод кластерного анализа позволяет эффективно упорядочить и группировать сортобразцы культуры по признакам семенной продуктивности. Формирование отдельных элементов семенной продуктивности и урожая семян достоверно зависит не только от условий года, но и в значительной степени (на 17,2...83,5 %) определяется генетической составляющей. При селекции на семенную продуктивность овсяницы красной газонного направления в условиях юга Среднерусской возвышенности важнейшие селекционные признаки – количество продуктивных стеблей ($r_s = 0,760$), масса 1000 семян ($r_s = 0,795$) и устойчивость к полеганию ($r_s = 0,874$).

**FORMATION OF ELEMENTS OF SEED PRODUCTIVITY
IN CULTIVARS OF RED FESCUE: BREEDING APPROACH****Kosolapov V.M.¹, Cherniavskih V.I.¹, Marinich M.N.²**¹Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology,
141055, Moskovskaya obl., Lobnya, ul. Nauchnyi gorodok, korp. 1
E-mail: cherniavskih@mail.ru²Belgorod State University,
308015, Belgorod, ul. Pobedy, 85

The aim of the research was to study the initial material of red fescue, created on the basis of forms identified in ecotopes of the Cretaceous south of the Central Russian Upland by a set of indicators of seed productivity in comparison with varieties. In 2017-2020 studied 18 cultivars of red fescue: 4 regionalized cultivars of the lawn type Rossinant (standard), Gostjonka, Iskrinka, Vezelka and 14 breeding samples, the initial material for the creation of which was obtained in various ecological points of the Belgorod region. It has been established that the south of the Central Russian Upland with a wide distribution of chalk outcrops, calcareous soils interspersed with meadow ecotopes of river floodplains can be considered a region favorable for the selection of starting material for varieties of red lawn fescue with high seed productivity at the level of 71.2... 108.6 g/m². It is shown that the method of cluster analysis makes it possible to efficiently order and group varieties of red fescue according to the characteristics of seed productivity. Analysis of variance showed that the formation of individual elements of seed productivity and seed yield reliably depends not only on the conditions of the year, but to a large extent – by 17.2...83.5% – is determined by the genetic component of the studied varieties. When breeding for seed productivity of red fescue in the south of the Central Russian Upland, the most important breeding characteristics are: the number of productive stems ($r_s = 0.760$), the weight of 1000 seeds ($r_s = 0.795$) and resistance to lodging ($r_s = 0.874$).

Ключевые слова: *Festuca rubra*, селекция и семеноводство трав, дисперсионный анализ, кластерный анализ, урожай семян, исходный материал

Key words: *Festuca rubra*, grass breeding and seed production, analysis of variance, cluster analysis, seed yield, source material

Производство семян газонных трав – одна из важных отраслей мировой экономики [1, 2]. Однако ведущее место на этом рынке, к сожалению, занимают компании из Дании, Германии, Нидерландов, США.

Россия, как и многие другие страны постсоветского пространства и восточной Европы, пытается восстановить паритет в этой отрасли. И узким местом здесь выступает не только отсутствие достаточного количества конкурентоспособных сортов газонного направления в Реестре селекционных достижений, допущенных к использованию в РФ, но и проблема их низкой семенной продуктивности [3].

Один из самых востребованных и селективируемых в мире видов газонных трав – овсяница красная (*Festuca rubra* L.) [4, 5]. Её широкая известность связана с тем,

что вид используют для создания самых различных газонов – от обычных садово-парковых в городских ландшафтах до сверхпрочных, предотвращающих деградацию почв на горнолыжных трассах [6, 7, 8].

Для овсяницы красной проблема низкой семенной продуктивности газонных сортов, относительно сортов кормового назначения, одна из самых актуальных [9, 10, 11]. Вопросами создания нового селекционного материала *F. rubra* газонного типа с высокими показателями семенной продуктивности активно занимаются во многих странах, включая Россию [12, 13, 14]. При этом известно, что один из ключевых вопросов современного сельского хозяйства – создание сортов в тех региональных экологических условиях, для которых они предназначены [15, 16, 17]. Для комплексной оцен-

ки селекционного материала *F. rubra* рекомендуют одновременно исследовать ряд ключевых признаков с использованием методов многомерной статистики и кластерного анализа [18, 19, 20].

Белгородская область – регион, в котором складываются благоприятные условия для ведения семеноводства многолетних злаковых трав. В качестве методологической основы такого подхода к поиску и созданию исходного материала использована теория, рассматривающая меловой юг Среднерусской возвышенности как вторичный антропогенный микрогенцентр формообразования синантропных видов трав [21, 22, 23].

Цель исследований – изучение исходного материала овсяницы красной, созданного на основе форм, выделенных в экотопах мелового юга Среднерусской возвышенности, по комплексу показателей семенной продуктивности для селекции трав газонного направления.

Методика. Работу проводили в рамках совместной научной программы учёных Белгородского государственного национального исследовательского университета и Федерального научного центра кормопроизводства и агроэкологии имени В.Р. Вильямса.

Участок для размещения селекционных посевов овсяницы красной в 2017–2020 гг. был предоставлен директором селекционно-семеноводческого хозяйства С.А. Мавродиным (с. Драгунское, Белгородский район, Белгородская область, ИП «Мавродин С.А.»). Почва – чернозём типичный со средним содержанием гумуса (по Тюрину) – 4,9 %; нейтральной реакцией среды (рН_{сод.} – 6,8 ед.); повышенным содержанием подвижных форм фосфора и калия (по Чирикову) – 120 мг/кг и 180 мг/кг соответственно. Среднегодовое количество осадков – 553 мм; среднегодовая температура воздуха – +6,3 °С. Продолжительность безморозного периода – 8...9 месяцев. Высота над уровнем моря – 181 м.

Изучали 18 сортов образцов овсяницы красной: 4 районированных сорта газонного типа Россинант (стан-

дарт), Гостёнка, Искринка, Везёлка и 14 селекционных образцов, исходный материал для создания которых был собран в различных экологических точках Белгородской области – поймах малых рек, на карбонатных почвах, меловых обнажениях овражно-балочных комплексов.

Опыт был заложен в 2017 г. методом полной рендомизации. Сорт-стандарт Россинант размещали через каждые четыре номера. Делянки двухрядковые, размером 2,0 на 0,3 м. Повторность 4-х кратная. Позднелетний посев проводили ручной сеялкой из расчёта 200 всхожих семян на 1 погонный метр. Учёты и наблюдения осуществляли в соответствии с действующей методикой [24].

Определяли шесть результативных признаков, характеризующих формирование семенной продуктивности у растений овсяницы красной: количество продуктивных стеблей, количество семян в 1 метёлке, количество семян на единице площади посева, массу 1000 семян, устойчивость к полеганию и фактический урожай семян. Устойчивость к полеганию оценивали по 10-и балльной шкале, где 1 балл – 100 %-ное полегание; 10 баллов – 100 %-ная устойчивость растений к полеганию.

Математическую обработку данных и оценку доли влияния признаков проводили методом дисперсионного анализа [25]. Кластерный анализ выполняли с использованием пакета прикладных программ Statgrafics. Для его проведения были отобраны показатели, определяющие семенную продуктивность, не являющиеся производными один от другого. Для выявления связей между изучаемыми признаками использовали метод корреляции рангов Спирмена [26].

Результаты и обсуждение. Количество продуктивных стеблей период исследований в среднем изменялось от 375,8±51,5 шт./м² в 2018 г. до 539,7±32,1 шт./м² в 2020 г., коэффициент варьирования признака составлял 7,5...31,5 % (табл. 1). В 2018 г. достоверно превысила стандарт Россинант по количеству продуктивных

Табл. 1. Формирование элементов семенной продуктивности и урожайность сортов и селекционных образцов овсяницы красной в условиях Белгородской области

Сортообразец	Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	Количество семян в метёлке, шт.	Количество семян, тыс. шт./м ²	Масса 1000 семян, г	Устойчивость к полеганию, балл	Урожай семян, г/м ²
FR 3-31 – сорт Россинант (st)	438,7	135,3	59,2	1,24	6,3	69,7
FR 1-6	474,0	161,3	76,4	1,30	6,7	96,9
FR 1-10	483,0	148,0	71,6	1,43	7,3	99,7
FR 1-15	428,7	160,7	68,3	1,25	6,3	82,3
FR 1-26 – сорт Гостёнка	477,0	135,0	64,4	1,42	7,3	88,5
FR 1-32	494,7	153,0	75,6	1,46	8,3	106,6
FR 2-1	476,7	148,3	70,7	1,41	7,3	88,8
FR 2-7	499,0	148,3	73,9	1,40	8,3	100,2
FR 2-10	467,7	140,3	65,3	1,39	6,7	88,8
FR 2-21	423,7	156,7	65,8	1,35	6,3	87,0
FR 2-22 – сорт Искринка	516,3	138,0	71,5	1,34	8,3	93,4
FR 2-28	521,0	139,0	72,6	1,41	8,3	98,4
FR 3-4	556,0	141,7	78,1	1,43	8,7	108,6
FR 3-9	511,0	138,3	70,6	1,28	7,3	86,6
FR 3-22 – сорт Везёлка	447,7	141,7	63,5	1,15	5,7	71,2
FR 3-27	527,7	142,0	75,1	1,23	7,3	90,5
FR 3-33	435,0	145,7	63,6	1,31	5,3	81,3
FR 3-34	520,0	139,0	72,5	1,44	7,7	100,4
НСР ₀₅	59,6	10,2	9,8	0,07	1,2	13,4

стеблей на 29,9...32,8 % три сортообразца: FR 2-28, FR 1-32 и FR 3-4. В 2019 г. выделились пять образцов – FR 3-27, Искринка, FR 3-4, FR 3-34 и FR 3-9, у которых количество продуктивных стеблей в рядовых посевах было больше, чем у стандарта, на 18,2...29,6 %. В 2020 г. высокие результаты продемонстрировали сортообразцы FR 2-10, FR 2-22, FR 3-27, FR 2-28 и FR 3-4, превосшедшие сорт Россинант на 17,7...23,6 %.

В среднем за 2018–2020 гг. лучшим по количеству продуктивных стеблей был селекционный образец FR 3-4, у которого величина этого показателя превышала стандарт на 117,3 шт./м² (26,7 %). Образцы FR 2-22, FR 2-28 и FR 3-27 достоверно превосходили стандарт в течение 2 лет и в среднем продемонстрировали прибавку 77,7 шт./м² (17,7 %), 82,3 шт./м² (18,8 %) и 89,0 шт./м² (20,3 %) соответственно. Несущественно – на 0,8...3,4 % – уступали стандарту только три изучаемых селекционных образца (FR 1-15, FR 2-21, FR 3-33).

Количество семян в одной метёлке у изученных в опыте сортов и сортообразцов овсяницы красной в среднем варьировало от 143,4 ± 7,3 шт. в 2019 г. до 146,3 ± 8,8 шт./м² в 2018 г. (коэффициент вариации составлял от 0,8 % до 9,5 %). В 2018 г. достоверно превысили стандарт на 16,5...21,6 % три образца овсяницы красной: FR 1-6, FR 2-21 и FR 1-5. В 2019 г. лучшими были шесть номеров – FR 1-6, FR 1-10, FR 1-32, FR 2-1, FR 2-7, FR 2-21, превосходившие стандарт на 13,0...23,7 %, в 2020 г. – пять номеров: FR 1-6, FR 1-15, FR 1-32, FR 3-27, FR 3-33, превысившие стандарт на 10,3...25,0 %.

В течение трёх лет исследований достоверно превосходил сорт Россинант по количеству семян в метёлке на 26,0 шт. (19,2 %) селекционный образец FR 1-6. Образцы FR 1-15, FR 1-32 и FR 2-21 в среднем за три года сформировали прибавку к стандарту на 25,3 шт. (18,7 %), 17,7 шт. (13,1 %), 21,3 шт. (15,8 %) соответственно.

Количество семян на единице площади посева в опыте изменялось от 54,9 ± 7,7 тыс. шт./м² в 2018 г. до 78,5 ± 4,4 тыс. шт./м² в 2020 г. В среднем за три года исследований коэффициент вариации составлял от 6,4 % до 32,2 %. В 2018 г. отдельные селекционные номера уступали стандарту по количеству семян на единице площади посева на 2,4...25,5 %, но разница была не существенной. У большинства сортообразцов (55,6 %) величина этого показателя находилась на уровне стандарта или выше. Достоверную прибавку 31,9...47,2 % сформировали сортообразцы FR 1-6, FR 1-32, FR 2-7 и FR 3-4. В 2019 г. большинство изучаемых селекционных образцов и сортов (71,4 %) достоверно превосходили стандарт по количеству семян с единицы площади посева на 18,3...36,7 %. В 2020 г. таких было 76,5 %, а прибавка составляла 12,9...33,1 %. В среднем за 2018–2020 гг. достоверно превосходили сорт Россинант по величине этого показателя четыре сортообразца: FR 1-6 – на 29,1 %, FR 1-32 – на 27,8 %, FR 2-7 – на 24,8 % и FR 3-4 – на 32,0 %.

Масса 1000 семян в среднем за годы исследований изменялась незначительно: от 1,32 ± 0,08 г в 2018 г. до 1,36 ± 0,07 г в 2019 и 2020 гг. При этом коэффициент вариации изучаемого признака был очень низким – от 0,47 % до 6,78 %. В 2018 г. у сорта Везёлка и сортообразцов FR 1-6, FR 1-15, FR 3-9, FR 3-27, FR 3-33 масса 1000 семян находилась на уровне или уступала сорту Россинант. Остальные сорта и сортообразцы превосходили его по величине этого показателя на 6,5...16,9 %. В 2019 г. 72,2 % сортов и селекционных образцов превышали стандарт на 6,5...20,2 %, в 2020 г. – 83,3 % образцов на 6,5...19,5 %.

В среднем за 2018–2020 гг. только у сорта Везёлка

масса 1000 семян была ниже, чем у стандарта, на 6,7 %. У всех остальных селекционных номеров она находилась на уровне или выше стандарта на 3,5...17,8 %.

В течение трёх лет исследований лучшими по массе 1000 семян были сортообразцы FR 1-32 и FR 3-34, у которых она превысила стандарт на 17,8 % и 16,2 % соответственно. Селекционные образцы FR 1-10, FR 1-26 и FR 2-10 достоверно превосходили стандарт в течение двух лет и в среднем за три года показали прибавку на уровне 12,7...15,4 %.

Урожай семян у изучаемых селекционных образцов в среднем по опыту возрастал по годам с 70,1 ± 12,1 г в 2018 г. до 100,73 ± 8,0 г в 2019 г. и 102,2 ± 8,0 г в 2020 г. При этом признак имел среднюю степень варьирования – от 8,59 % до 35,34 %.

В 2018 г. 66,7 % сортов и селекционных образцов в опыте достоверно превысили стандарт по урожаю семян в среднем на 8,5...42,2 г/м² (15,8...78,0 %). Остальные пять номеров по величине этого показателя находились на уровне сорта Россинант. В 2019 г. все селекционные образцы и сорта, за исключением сорта Везёлка, достоверно превышали стандарт по сбору семян на 14,0...45,5 г/м² (19,4...62,8 %). В 2020 г. у сорта Везёлка и номера FR 2-1 величина этого показателя оставалась на уровне стандарта, у остальных изучаемых селекционных образцов овсяницы красной она была на 7,9...35,9 г/м² (10,0...45,4 %) выше, чем у сорта Россинант.

По всем результативным признакам в опыте установлены достоверные различия ($p < 0,05$). Выявлено, что организованные факторы оказывают разное влияние, как на формирование отдельных элементов семенной продуктивности, так и на урожай семян овсяницы красной в целом (табл. 2).

На результативный признак «количество продуктивных стеблей» наибольшее ($h^2_x = 72,2$ %) влияние оказали условия года (возраст травостоя). Доля фактора «сортообразец» не превышала 17,2 %, случайных факторов – 10,6 %.

На результативные признаки «количество семян в метёлке», «масса 1000 семян» и «устойчивость к полеганию», комплексно характеризующее формирование семенной продуктивности, наибольшей влияние оказал фактор «сортообразец» ($h^2 = 70,7$ %, $h^2 = 83,5$ % и $h^2_x = 70,9$ % соответственно). Признак «урожай семян» во многом зависел от фактора «условия года» ($h^2_x = 59,3$ %), но при этом влияние фактора «сортообразец» было также существенным ($h^2_x = 29,2$ %).

Результаты кластерного анализа сходства селекционного материала с точки зрения изученных признаков позволяет распределить сортообразцы на два достаточно обособленных кластера (см. рисунок). В первый вошёл преимущественно формы, исходный материал для которых был создан на основе индивидуальных отборов, проведенных в пойменных экотопах рек. В этот же кластер вошёл стандарт – сорт Россинант и сорт Везёлка. Второй кластер представлен селекционным материалом и сортами, созданными на основе форм, исходный материал для которых был получен в результате индивидуальных отборов, проведенных на карбонатных почвах и меловых обнажениях юга Среднерусской возвышенности.

Анализ морфо-биологических признаков и семенной продуктивности показал ряд различий между кластерами. У форм, отнесённых к первому кластеру, на уровне тенденций установлены более низкий урожай семян, количество семян в метёлке и масса 1000 семян. У сортообразцов из второго кластера отмечено досто-

Табл. 2. Результаты однофакторного дисперсионного анализа по изученным признакам при возделывании селекционных образцов овсяницы красной (2018–2020 гг.)

Признак	Источник вариации	D*	n-1	s ²	F _f	F _{st0.05}	h ² _x
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	общая	431578,8	53				100,0
	условия года	311544,4	2				72,2
	сортообразец	74418,8	17	4377,6	3,3	2,0	17,2
	случайное	45615,6	34	1341,6			10,6
Количество семян в метелке, шт.	общая	4900,1	53				100,0
	условия года	80,0	2				1,6
	сортообразец	3466,8	17	203,9	5,1	2,0	70,7
	случайное	1353,3	34	39,8			27,6
Масса 1000 семян, г	общая	0,47	53				100,0
	условия года	0,02	2				3,4
	сортообразец	0,40	17	0,02	12,8	2,0	83,5
	случайное	0,06	34	0,00			13,1
Устойчивость к полеганию, балл	общая	68,8	53				100,0
	условия года	1,2	2				1,7
	сортообразец	48,8	17	2,9	5,2	2,0	70,9
	случайное	18,9	34	0,55			27,5
Урожай семян, г/м ²	общая	20147,7	53				100,0
	условия года	11942,3	2				59,3
	сортообразец	5888,8	17	346,4	5,1	2,0	29,2
	случайное	2316,6	34	68,1			11,5

*D – сумма квадратов отклонений (девианта); s² – дисперсия; n-1 – число степеней свободы; h²_x – сила влияния на результативный признак.

верно большее количество продуктивных стеблей и меньшая полегаемость (табл. 3).

Изучение с использованием коэффициента корреляции рангов Спирмена зависимостей между значениями результативных признаков и урожаем семян сортообразцов овсяницы красной показало, что существует сильная положительная коллекционная связь между его величиной и количеством продуктивных стеблей (r_s = 0,760), массой 1000 семян (r_s = 0,795) и устойчивостью сортообразцов к полеганию (r_s = 0,874).

Таким образом, юг Среднерусской возвышенности с широким распространением меловых обнажений, карбонатных почв, перемежающихся с луговыми

экотопами пойм рек, можно считать регионом, благоприятным для отбора исходного материала для сортов овсяницы красной газонного типа с высокой семенной продуктивностью на уровне 71,2...108,6 г/м².

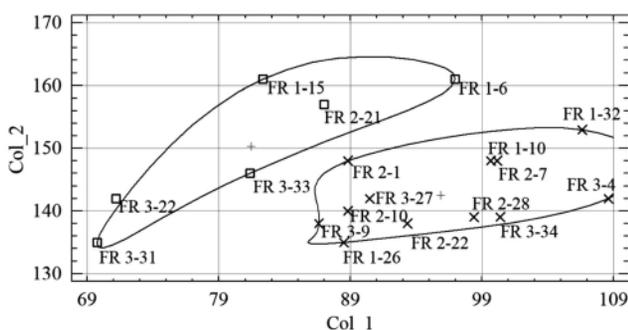
Формирование отдельных элементов семенной продуктивности и урожая семян достоверно зависит не только от условий года, но и в значительной степени (на 17,2...83,5 %) определяется генетической составляющей изученных сортообразцов.

Исходный материал, созданный на основе форм с

Табл. 3. Средние показатели отдельных элементов семенной продуктивности сортов и сортообразцов *F. rubra* в двух выделенных кластерах

Показатели	Кластер 1		Кластер 2	
	M± m ¹	Cv, %	M± m	Cv, %
Урожай, г/м ²	81,4±7,3	12,46	95,9±6,4	7,78
Количество семян в 1 метелке в рядовых посевах, шт.	150,2±9,3	7,2	142,6±4,6	3,86
Количество продуктивных стеблей в рядовых посевах, шт./м ²	441,3*±13,0	4,1	504,2*±21,2	5,13
Масса 1000 семян, г	1,27±0,06	5,57	1,39±0,05	4,88
Устойчивость к полеганию, балл	6,11*±0,41	8,21	7,75*±0,54	8,02
Количество семян в рядовых посевах, тыс. шт./м ²	66,2±4,2	8,9	71,8±2,8	5,5

¹M – среднее, m – ошибка средней; Cv – коэффициент вариации; * – разница достоверна при p≥0,05.



Результаты кластерного анализа, характеризующие сходство исследуемых сортообразцов *F. rubra* в поле двух результирующих признаков (ось Col 1 – урожайность сортообразцов, г/м²; ось Col 2 – количество продуктивных стеблей, шт./м²).

меловых обнажений, обладает более высокой семенной продуктивностью, по сравнению с сортообразцами на основе исходного материала луго-пойменного происхождения.

Метод кластерного анализа позволяет эффективно ординировать и группировать изучаемые сортообразцы по признакам семенной продуктивности. Выделенные таким образом группы можно использовать в селекции для получения сортов, пригодных к возделыванию в различных экологических условиях.

Важнейшие признаки при селекции на семенную продуктивность овсяницы красной газонного направления в условиях юга Среднерусской возвышенности – количество продуктивных стеблей ($r_s = 0,760$), масса 1000 семян ($r_s = 0,795$) и устойчивость к полеганию ($r_s = 0,874$).

Литература

1. Optimizing the number of consecutive seed harvests in red fescue (*Festuca rubra* L.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) for yield, yield components and economic return / L. C. Deleuran, K. Kristensen, R. Gislum, et al. // *Acta agriculturae Scandinavica*. 2013. Vol. 63. No. 1. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09064710.2012.703229> (дата обращения: 13.08.2021).
2. Malaval S., Dupin B., Dantin G. Conservation et restauration de la flore dans un contexte anthropisé, quelles solutions? // *Sci. Eaux Territ.* 2015. Vol. 16. 70–75.
3. Косолапов В.М., Чернявских В.И., Костенко С.И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2021. Т. 25. № 4. С. 401–407.
4. Гладков Е. А. Неблагоприятное влияние экологических факторов городских экосистем на овсяницу красную // *Астраханский вестник экологического образования*. 2018. № 6 (48). С. 128–129.
5. Биолого-экологические особенности низовых злаковых трав и их использование при создании газонов / Н. Н. Лазарев, М. А. Гусев, О. В. Кухаренкова и др. // *Кормопроизводство*. 2020. № 1. С. 10–16.
6. Scotton M. Grassland Restoration at a Graded Ski Slope: Effects of Propagation Material and Fertilisation on Plant Cover and Vegetation // *Agriculture*. 2021. Vol. 11. No. 5. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/5/381> (дата обращения: 13.08.2021).
7. Głab T., Szewczyk W. The effect of traffic on turfgrass root morphological features // *Scientia horticulturae*. 2015. Vol. 197. P. 542–554.
8. Применение *Festuca rubra* L. в фиторемедиации: комплексная оценка влияния техногенного грунта на растение / М. В. Служковская, Е. В. Новиченок, И. П. Кременецкая и др. // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. 2017. № 4 (165). С. 70–80.
9. Multivariate characteristics of selected grass varieties for seed production / M. Iwańska, D. Martyniak, M. Martyniak, et al. // *Czech journal of genetics and plant breeding*. 2019. Vol. 55. No. 2. P. 83–86.
10. Ostapets T. Comparative Characteristics of Main Morphological Indication and Type of Inheritance of Leaf Plate Color in Species *Festuca Glauca*, *Festuca Rubra*, *Festuca Ovina* // *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2020. No. 51–2. P. 15–17.
11. Tate T. M., Bonos S. A., Meyer W. A. Breeding and Evaluation of Fine Fescues for Increased Tolerance to *Mesotrione Herbicide* // *HortTechnology*. 2021. Vol. 31. No. 3. P. 315–326.
12. Ecological assessment of grass associations in the Balkan Mountains / N. Georgieva, V. Kosev, G. Naydenova, et al. // *Biological agriculture & horticulture*. 2019. Vol. 35. No. 3. P. 187–196.
13. Природные генетические ресурсы кормовых растений Смоленской области / Н. Н. Козлов, Н. С. Малюженец, В. Л. Коровина и др. // *Адаптивное кормопроизводство*. 2016. № 1. С. 28–39.
14. Косолапов В. М., Пилипко С. В., Костенко С. И. Новые сорта кормовых культур – залог успешного развития кормопроизводства // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. Т. 29. № 4. С. 35–37.
15. Кормопроизводство, рациональное природопользование и агроэкология / В. М. Косолапов, И. А. Трофимов, Г. Н. Бычков и др. // *Кормопроизводство*. 2013. № 2. С. 26–27.
16. The effect of decomposing biomass of the grasses *Festuca arundinacea*, *F. ovina*, and *F. rubra* on the species composition and quality of lawns / H. Lipińska, W. Harkot, Z. Czarnecki, et al. // *Acta Agrobotanica*. 2018. Vol. 71. No. 4. URL: <https://pbsociety.org.pl/journals/index.php/aa/article/view/aa.1748/7577> (дата обращения: 25.07.2021).
17. Использование генетических ресурсов злаковых трав в селекции специализированных сортов / В.М. Косолапов, С.И. Костенко, С.В. Пилипко и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. № 2. С. 12–16.
18. Agronomic and molecular evaluation of cocksfoot and tall fescue cultivars for adaptation to an Algerian drought-prone environment / M. Mefii, H. Bouzerzour, E. Francia, et al. // *Euphytica*. 2016. Vol. 212. P. 371–386.
19. Temperature and Precipitation, but not Geographic Distance, Explain Genetic Relatedness Among Populations in the Perennial Grass *Festuca Rubra* / M. Šurinová, Z. Münzbergová, V. Hadincová, et al. // *Journal of Plant Ecology*. 2019. Vol. 12. No. 4. P. 730–741.
20. Phenotypic and genetic variation in natural populations of *Festuca rubra* s.l. in Europe / K. Saikkonen, S. Dirihan, H. Väre, et al. // *Plant Ecology & Diversity*. 2019. Vol. 12. No. 5. P. 441–456.
21. Impact Of Endemic Calciphilous Flora Of The Central Russian Upland On The Nitrogen Regime Of Carbonate Soils And Sub-Soils / V.I. Cherniavskikh, E.V. Dumacheva, F.N. Lisetsky, et al. // *Bioscience Biotechnology Research Communications*. 2019. Vol. 12. No. 3. P. 548–554.
22. Use Of *Hissopus Officinalis* L. Culture For Phytoamelioration Of Carbonate Outcrops Of Anthropogenic Origin The South Of European Russia / V.I. Cherniavskikh, E.V. Dumacheva, N.I. Sidelnikov, et al. // *Indian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 46. No. 2. P. 221–226.
23. Biological Resources Of Natural Forage Grassland Of The Cretaceous South Of The European Russia / V.I. Cherniavskikh, N.I. Sidelnikov, E.V. Dumacheva, et al. // *Eur.Asian Journal of BioSciences*. 2019. Vol. 13. No. 2. P. 845–849.
24. Guidelines For The Conduct Of Tests For Distinctness, Homogeneity and Stability/tg/39/6 Original: German/allemand/deutsch Date/Datum: 1984-11-07: https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg039_06.pdf
25. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.
26. Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высш. школа, 1990. 352 с.

Поступила в редакцию 25.08.2021
После доработки 15.09.2021
Принята к публикации 01.10.2021

ТРАНСГРЕССИВНАЯ СЕЛЕКЦИЯ: МЕТОДОЛОГИЯ УСКОРЕННОГО ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ФОРМ РАСТЕНИЙ С ПРОГНОЗИРУЕМЫМ КОМПЛЕКСОМ ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ

А.А. Кочетов, кандидат биологических наук,
Г.В. Мирская, кандидат биологических наук,
Н.Г. Синявина, кандидат биологических наук, **К.В. Егорова**, аспирант

*Агрофизический научно-исследовательский институт,
 195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, 14
 E-mail: kochetoval@yandex.ru*

Трансгрессивная селекция – одно из наиболее перспективных направлений развития современной сельскохозяйственной науки. Феномен трансгрессии, несмотря на его широкое распространение, изучен недостаточно, что препятствует эффективному использованию его в селекционном процессе. При прогнозируемом получении трансгрессий возможно ускоренное создание новых сортов с заданным комплексом хозяйственно ценных признаков, адаптированных к различным условиям выращивания и технологиям производства. Цель исследований – разработка и апробирование методологии, повышающей эффективность трансгрессивной селекции. Ключевой аспект методологии – изучение биоразнообразия селективируемой культуры в регулируемой агроэкосистеме при специально создаваемых режимах выращивания, позволяющих оценить потенциальные возможности генотипа и подобрать родительские пары для гарантированного получения трансгрессий с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков. Применение разработанной методологии позволило за 5...7 лет создать ультраскороспелые линии яровой мягкой пшеницы; высокоустойчивые к действию светотемпературных стрессоров Северо-Западного региона России линии дайкона и сорт Петербургский, а также предназначенные для светокультуры высокопродуктивные образцы и сорт редиса Петербургский фиолетовый. Предлагаемый подход способствует значительному уменьшению объема прорабатываемого материала и сокращает сроки создания новых сортов различных культур.

TRANSGRESSIVE BREEDING: A METHODOLOGY FOR ACCELERATED CREATING OF NEW FORMS OF PLANTS WITH A PREDICTABLE COMPLEX OF ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS

Kochetov A.A., Mirskaya G.V., Sinyavina N.G., Egorova K.V.

*Agrophysical Research Institute
 195220, St. Petersburg, Grazhdanskiy prosp., 14
 E-mail: kochetoval@yandex.ru*

Transgressive breeding is one of the most promising trends of development of modern agricultural science. The phenomenon of transgression, despite its widespread distribution, has not been sufficiently studied, which prevents its effective use in the breeding process. With the predicted getting of transgressions, it is possible to accelerate the creation of new accessions of plants with a given complex of economically valuable traits adapted to different growing conditions and technologies. The purpose of this article is to present the author's view of the essence of the phenomenon of transgression and its role in breeding, as well as the methodology of accelerated breeding, developed and tested at the Agrophysical Research Institute, based on the use of this phenomenon. The key aspect of the methodology is the study of the biodiversity of the selected crop in a regulated agroecosystem with specially created growing modes that allow assessing the potential of the genotype and selecting parent pairs for guaranteed obtaining transgressions with a predicted complex of economically valuable traits. Application of the developed methodology made it possible to breed ultra-early ripening lines of spring soft wheat in 5-7 years as well as highly resistant to the action of light-temperature stressors of the North-West region of Russia daikon lines and daikon Petersburgsky variety. Besides that, highly productive lines and the Petersburg violet small radish variety for intensive light culture were created. It is shown that this approach contributes to a significant reduction in the volume of the material being worked out and reduces the time required for the creation of new cultivars of different crops.

Ключевые слова: трансгрессивная селекция, светокультура, селекционно-ценные признаки, пшеница (*Triticum aestivum* L.), дайкон, редис (*Raphanus sativus* L.)

Key words: transgressive breeding, light culture, breeding-valuable traits, wheat (*Triticum aestivum* L.), daikon, small radish (*Raphanus sativus* L.)

В современном мире, столкнувшись со значительным ростом населения, возрастающей техногенной нагрузкой на окружающую среду и глобальным изменением климата, необходима смена парадигмы стратегии развития сельскохозяйственного производства. Одним из базовых элементов новой стратегии, ориентированной на биологизацию и экологизацию интенсификационных процессов, должна стать адаптивная селекция, предусматривающая усиление генетического контроля за устойчивостью растений к абиотическим стрессорам и эффективностью использования благоприятных факторов внешней среды. Приоритетной задачей современной селекции становится создание высокопродук-

тивных, специфично адаптированных сортов, дающих стабильно высокий урожай благодаря эффективному использованию питательных веществ и почвенной влаги, устойчивых к действию стрессовых факторов среды, характерных для регионов выращивания, резистентных к возбудителям различных заболеваний. Немаловажным требованием к новым сортам должны также стать их питательная ценность и биохимический состав, обеспечивающие полноценное здоровое питание населения. Все это диктует необходимость кардинального обновления и расширения ассортимента существующих сортов в короткие сроки. С такими задачами селекция, ориентированная на использование традиционных подходов и

методов, успешно справиться не может. Наиболее актуальными требованиями к селекции на современном этапе становятся повышение эффективности, уменьшение объемов работ, ускорение селекционного процесса, а также создание новых сортов с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков. Необходима разработка принципиально новых подходов и методов, обеспечивающих возможность реализации этих задач. Перспективными направлениями современной селекции выступают геномный отбор и редактирование генома [1]. Однако традиционные подходы, включающие трансгрессивную селекцию, имеют ряд преимуществ, которые могут по-новому раскрыться при дополнении их современными методами.

Одним из наиболее перспективных направлений, решающих большинство существующих задач, может стать развитие трансгрессивной селекции, ориентированной на целенаправленное получение трансгрессий по хозяйственно ценным признакам. В современной биологии под термином «трансгрессия» понимается образование при гибридизации наследственно закрепленных генотипов, превышающих амплитуды изменчивости обоих родителей по изучаемому признаку. В определении, приведенном в современном словаре Глазко В.И., Глазко Г.В. [2], повторяющем понятие, сформулированное в более ранней публикации (Картель Н.А. и др., 1999), трансгрессия – это «эффект суммирующего действия полимерных генов, выражающийся в устойчивом увеличении (положительная Т.) или уменьшении (отрицательная Т.) значения (величины) какого-либо полимерно наследуемого признака у отдельных особей F_2 , по сравнению с крайними (+ или –) значениями этого признака у родительских форм». В определении, данном Р. Ригером и А. Михаэлисом [3], указывалось также, что трансгрессия должна превышать спектр изменчивости не только родительских форм, но и F_1 . Ценность феномена трансгрессии для селекции очевидна. Еще в 1935 г. Н. И. Вавилов писал: «Серьезным дефектом в развитии генетической теории селекции является самоотстранение генетики от изучения сложных хозяйственных признаков. Трансгрессии, типы трансгрессий, их механизмы – это первоочередная задача, учитывая всю значимость трансгрессий» [4]. Однако практическое использование трансгрессий далеко не соответствует их биологической и хозяйственной важности. Сложившаяся ситуация связана со сложностью прогнозирования трансгрессий из-за недостаточной изученности генетических механизмов, обуславливающих трансгрессивное расщепление, различного понимания аспектов феномена трансгрессии, а также терминологической неопределенности.

Согласно современной концепции образования трансгрессий, они возникают в результате взаимодействия у гибридных особей родительских генов, которые образуют полиген и определяют селективируемый признак. Принято считать, что вероятность выявления и целенаправленного подбора в одном генотипе значительного числа генов (компонентов полигена), находящихся в разных участках генома и обеспечивающих образование трансгрессий вследствие аддитивного взаимодействия, очень низка. В общепринятых определениях трансгрессии отсутствует один из возможных механизмов ее образования, который отмечал Г. Нильсон Эле (1909, 1911) – комплементария двух разных систем генов. Об этом механизме образования трансгрессий, как об основном, сообщают Л.Н. Риезеберг с соавторами [5]. Они отмечают, что согласно результатам большин-

ства исследований, посвященных картированию локусов количественных признаков, в которых наблюдали трансгрессивное расщепление, основной причиной образования трансгрессий выступает действие комплементарных генов. В качестве примера авторы ссылаются на работу L.M. Mansur et al. (1993), проанализировавших гибридное потомство от скрещивания двух фенотипически сходных сортов сои. Трансгрессивную сегрегацию благодаря комплементарным аллелям в этих опытах отмечали для всех 15 изученных признаков.

Современные представления о механизмах образования трансгрессий обсуждаются в статье de los Reyes B.G. [1]. Они включают в себя классическое объяснение образования трансгрессивных фенотипов через omnigenную теорию количественных признаков, дополненную современными парадигмами эпигенетики. Автор считает, что для феномена трансгрессивной сегрегации характерна физиологическая реконфигурация родительских геномов у гибридного потомства посредством перенастройки геномной сети, включающей в себя сложные молекулярные синергии, контролируемые как на генетическом, так и на эпигенетическом уровнях. Одним из возможных механизмов появления трансгрессивных фенотипов, по его мнению, выступает изменение областей метилирования ДНК, которое происходит при геномном шоке, вследствие рекомбинации сильно различающихся между собой родительских геномов, что влечет изменения в метаболическом профиле у гибридных растений. В результате у отдельных особей отмечается появление новых, отличных от родительских, продуктов – белков, регуляторных факторов и др., что может приводить к возникновению трансгрессий. Автор предлагает пересмотреть стратегию селекции в направлении максимального использования генетического разнообразия культур для создания новых геномных и эпигеномных комбинаций, путем взаимодействия современной геномной биологии с классическими подходами к созданию рекомбинантов.

По сравнению с традиционными представлениями, сводящими механизмы образования трансгрессий к аддитивным взаимодействиям, современные исследователи рассматривают разные типы взаимодействий между родительскими геномами при рекомбинациях, что способствует развитию трансгрессивной селекции. Важным обстоятельством, позволяющим эффективно использовать феномен трансгрессии в селекционном процессе, выступает гомозиготность трансгрессивных генотипов по селективируемым признакам, о которой в определениях говорится косвенно, как об устойчивом увеличении или уменьшении признака у некоторых особей второго поколения, по сравнению с родителями. Л.Н. Риезеберг с соавторами [5] считают трансгрессию проявлением фенотипической изменчивости, и степень гомозиготности трансгрессивных форм не обсуждают. De los Reyes B.G. [1] отмечает, что в отличие от гетерозиса, трансгрессивные фенотипы, встречающиеся среди рекомбинантных форм, стабильны в транс-поколении (то есть гомозиготны). Вероятность появления генотипов, гомозиготных по селекционно значимым количественным признакам, детерминирующимся значительным числом генов, во втором поколении обычно крайне невысокая. Некоторые исследователи считают, что выявление истинных трансгрессий следует проводить не во втором, а в последующих поколениях гибридов: «...отбор трансгрессивных форм из второго поколения может быть случайным... Более целесообразно его осуществлять, начиная с третьего поколения, по скороспелости, морфологиче-

ским признакам, качественным показателям, а по продуктивности – с четвертого» [6]. А.А. Трушко и С.П. Халецкий [7] отмечают: «Общезвестно, что большинство отбираемых в F_2 так называемых трансгрессий является гетерозиготами или положительными модификациями. Поэтому вопрос времени проведения отбора ценных трансгрессивных форм в гибридных популяциях остается дискуссионным. Ряд авторов считает, что отбор положительных трансгрессий из второго поколения носит случайный характер и его целесообразно проводить, начиная с третьего поколения».

Значительная часть исследователей относит к трансгрессивным все особи гибридной популяции, фенотипически превосходящие родительские формы по селективируемому признаку, включая как гомо-, так и гетерозиготные генотипы. Высокую частоту появления трансгрессий, отмечаемую во втором поколении гибридов в ряде исследований, объясняют как раз этим обстоятельством, а также учетом как положительных, так и отрицательных трансгрессий. Сообщение L.H. Rieseberg с соавторами о том, что фактически в 155 из 171 проанализированных ими исследований (91 %) описывается по крайней мере один трансгрессивный признак, а 44 % из 1229 исследованных признаков были трансгрессивными [5], вероятно, соответствует действительности, если относить к трансгрессиям особи, которые отобраны по фенотипу без учета их гомозиготности. О большом проценте выявления трансгрессий во втором гибридном поколении сообщают многие авторы. Так, при селекции овса по признаку «масса зерна с растения» установлено «60 % гибридных комбинаций от общего числа с отрицательной и невысокой положительной степенью трансгрессии» [7]. В другой работе частота появления положительных трансгрессий по числу зерен с растения у мягкой пшеницы варьировала от 51 до 55 % [8]. N. Putri с соавторами отмечали трансгрессивное расщепление (по массе зерна с растения у мягкой пшеницы) в обоих направлениях у более чем 50 % гибридных популяций [9]. Наш опыт работы с редисом и дайконом показал, что при селекции по сложным количественным признакам (масса корнеплода, устойчивость к стрессорам) число трансгрессивных форм (по фенотипу) часто превышало 50 %. В потомстве большинства выделенных форм отмечали расщепление по селективируемому признаку при самоопылении до 4...5 поколения.

Выделение гомозиготных трансгрессивных форм среди других, превышающих родительские по фенотипическим признакам, особенно важно для сокращения сроков получения стабильных линий при селекции. Несомненно, превышение по фенотипу у части негомозиготных трансгрессивных форм над родительскими по селективируемому признаку возникает вследствие сверхдоминирования и кодоминирования, а также взаимодействия генотип-среда. L.H. Rieseberg с соавторами на основании анализа данных различных исследований сообщают, что количественные генетические исследования гибридных популяций неизменно указывают на действие комплементарных генов как на первичную причину трансгрессий, хотя сверхдоминирование и эпистаз также вносят свой вклад [5]. Таким образом, фенотипически выраженная положительная трансгрессия у гибридов второго или последующих поколений по селективируемому признаку может обеспечиваться как межallelльным, так и межгенным взаимодействием. В образовании трансгрессий могут быть задействованы механизмы, аналогичные тем, что отмечены при проявлении гетерозиса. По мнению С. Хаблака, «в связи с

тем, что в механизме проявления гетерозиса наблюдаются все формы межгенного неallelльного и аллельного взаимодействия генов, природу этого явления до сих пор было трудно объяснить» [10]. То же можно констатировать и в отношении трансгрессии. Скорее всего, механизмы гетерозиса и положительной трансгрессии во многом сходны, а их вклад в наблюдаемый эффект трудно оценить и разделить. В то время, как при гетерозисе эффект гетерозиготности гибридов первого поколения уменьшается в последующих поколениях, ослабляя его последствия, при формировании трансгрессий аддитивное и комплементарное взаимодействие генов выходит на первый план, стабилизируется и не исчезает в потомстве.

Важным аспектом в понимании феномена трансгрессии выступает ее экологическая зависимость. Эколого-генетический подход к изучению трансгрессий предусматривает приоритетное внимание к исследованию механизмов взаимодействия генотип-среда, методов прогнозирования и управления ими. Как отмечает академик РАН В.А. Драгавцев, гипотеза формирования трансгрессий, основанная на геноцентрической парадигме наследования, «опровергается фактами, когда сорт-трансгрессия в зоне районирования дает максимальный урожай, а при переносе в другую зону уходит на 5-е и даже 10-е место по урожаю среди других сортов, то есть трансгрессии оказались экологически зависимыми» [11].

Теоретической базой эколого-генетического подхода к селекции растений, аккумулирующей основной спектр накопленных знаний о природе количественных признаков и механизмах взаимодействия генотип-среда, служит созданная академиком В.А. Драгавцевым с соавторами теория эколого-генетической организации количественных признаков (ТЭГОКП) [12]. Согласно ее положениям, при смене лимитирующих факторов внешней среды меняется спектр и число генов, определяющих уровень и генетическую дисперсию количественного признака. Важным аспектом также выступает то, что компоненты сложного признака складываются в разные фазы онтогенеза и мультипликативно образуют результирующий признак. Поэтому при изучении сложного признака необходимо учитывать условия формирования его компонентов. Следствием теории эколого-генетической организации количественных признаков служат представления о модульной организации сложного количественного признака и наличии у растений семи генетико-физиологических систем, управляя которыми селекционеры могут осуществлять повышение продуктивности и урожайности, ориентируясь на эти системы необходимо вести селекцию в целом и трансгрессивную селекцию в частности.

На наш взгляд, с учетом современных представлений о механизмах образования трансгрессий, ее определение должно быть следующим: «Трансгрессия – это устойчивое, наследственно закрепленное увеличение (положительная Т.) или уменьшение (отрицательная Т.) значения (величины) какого-либо признака у отдельных особей F_2 или последующих поколений по сравнению с крайними (+ или –) значениями этого признака у родительских форм, формирующееся благодаря всем типам межallelльного и межгенного взаимодействия, а также взаимодействия генотип-среда (эпигенетический эффект)».

Существует значительное число публикаций, посвященных получению трансгрессий: по устойчивости к засолению у риса [1], созданию соле- и засухоустойчи-

вых трансгрессивных генотипов у подсолнечника [13], у мягкой пшеницы по длине колоса и числу зерен в колосе [8], у пшеницы по высоте растений и числу стеблей [14], по показателям хлебопекарных свойств (общая стекловидность, содержание белка, седиментация и ряд других параметров) у озимой пшеницы [15], по содержанию белка у озимой мягкой пшеницы [16], по морозостойкости и продуктивности пшеницы [17], по способности мягкой пшеницы накапливать в зерне Zn и Fe [18]. Показана возможность использования маркер-опосредованного отбора для селекции (в том числе трансгрессивной) картофеля на устойчивость к болезням и вредителям [19].

Цель исследований – разработка и апробирование методологии, повышающей эффективность трансгрессивной селекции.

Для ее достижения необходимо решить две наиболее важные задачи:

разработать эффективные методы изучения и оценки биоразнообразия селективируемой культуры и, на их основе, принципы подбора родительских пар, обеспечивающие максимальное проявление трансгрессивного эффекта по селективируемым признакам у гибридного потомства в конкретных условиях выращивания;

разработать экспресс-методы выявления «истинных» трансгрессий (гомозиготных по селективируемым признакам) в гибридном потомстве.

Это позволит целенаправленно получать формы с прогнозируемым комплексом селективируемых признаков, значительно уменьшить число прорабатываемых комбинаций скрещивания и число генераций, необходимых для формирования стабильных линий. Возможность решения поставленных задач существует как на молекулярном (анализ генома), так и на организменном (оценка и подбор по фенотипу) уровне.

Методика. В результате многолетних исследований феномена трансгрессии у разных культур и опыта использования регулируемой агроэкологической системы (РАЭС) в селекционном процессе была разработана и апробирована оригинальная методология ускоренной селекции [20]. Основоположником этих работ в АФИ была Г.А. Макарова, пионерские работы которой по селекции редиса и яровой мягкой пшеницы заложили основу методологии получения новых трансгрессивных форм растений с прогнозируемым комплексом селекционных ценных признаков [21, 22]. Разработку и совершенствование методологии в дальнейшем проводили путем генетико-селекционных исследований в регулируемой агроэкологической системе яровой мягкой и твердой пшеницы, редьки, дайкона и редиса.

Среди основных особенностей методологии ускоренной трансгрессивной селекции новых линий и сортов растений с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков и высокой степенью адаптации к агроэкологическим условиям их возделывания при использовании регулируемой агроэкологической системы можно выделить следующие:

учет эколого-генетической организации количественных признаков;

учет модульной структуры селективируемых признаков, представленной комплексом результирующего признака и формирующих его компонентов;

учет независимости наследуемости компонентов селективируемых признаков;

использование режимов выращивания в РАЭС, обеспечивающих уменьшение модификационной и повышение четкости проявления генотипической изменчивости, а также режимов, ускоряющих развитие растений;

оценка степени выраженности компонентов селективируемых признаков при моделировании в РАЭС основных лимитирующих факторов среды, действующих в регионе селекции;

подбор родительских пар по принципу благоприятного взаимодополнения разных компонентов селективируемых признаков, детерминируемых генами или блоками генов, обеспечивающих получение трансгрессий благодаря комплементарным взаимодействиям;

проведение в регулируемых условиях скрещиваний и изучение гибридов F_1 и F_2 , в сравнении с родительскими формами, с целью получения и выявления трансгрессивных генотипов с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков;

сравнение селективируемых признаков у гетерозисных генотипов первого и трансгрессивных генотипов второго поколения с родительскими генотипами посредством модифицированного гибридологического анализа;

получение стабильных по исследуемым признакам линий из отобранных трансгрессивных образцов путем инбридинга и стабилизирующего отбора с использованием режимов выращивания, ускоряющих генеративное развитие.

При работе по созданию ультраскороспелых линий яровой мягкой пшеницы было изучено 14 образцов из коллекции ФИЦ ВИР им. Н. И. Вавилова. Выращивание и оценку образцов, а также гибридов первого и последующих поколений проводили в РАЭС на биополигоне АФИ в вегетационно-облучательных установках, оснащенных лампами ДНаТ-400, при облученности 50 ± 5 Вт/м² ФАР. Режимы выращивания исходных образцов яровой мягкой пшеницы включали четыре варианта: 12- и 20-часовое ежесуточное освещение, без яровизации и с предварительной яровизацией наклонившихся проростков. Гибридные растения культивировали в условиях 12-часового фотопериода без предварительной яровизации. Этот режим использовали для обеспечения наиболее четкого фенотипического проявления различий исследуемого материала по генотипам систем *Vrn* и *Ppd*, ответственных за реакцию на яровизирующие температуры и фотопериод, контролирующее длительность онтогенеза. Температурный режим поддерживали на уровне 22...26 °С днем и 18...20 °С ночью. Растения выращивали в вегетационных сосудах объемом 2 л. В качестве корнеобитаемой среды использовали субстрат на основе верхнего торфа низкой степени разложения с минеральными добавками. Полив осуществляли водой, подкормку – раствором Кнопа 2 раза в неделю. Повторность для каждого сорта и линии – 25-кратная, для гибридов F_1 – 15-кратная. В F_2 высевали потомство 1...3 растений первого поколения в количестве 100...110 зерновок. Индивидуально для каждого растения фиксировали сроки начала кущения, выхода в трубку, колосения и созревания, проводили изучение элементов продуктивности главного колоса (длина колоса, число колосков, число и масса зерен) и растения (высота стебля, число колосьев, число и масса зерен).

Японская редька (дайкон) служила одним из важных объектов проводимой селекционной работы для создания линий и сортов, реализующих потенциал продуктивности культуры в климатических условиях Ленинградской области [23]. Для достижения такой цели было необходимо объединить в генотипе высокую устойчивость к длинному дню и пониженным температурам, а также обеспечить формирование товарных корнеплодов при майской посадке в открытый грунт. В ходе работы в условиях РАЭС выявляли формы восточных редек, наиболее устойчивые к действию каждого из стрессоров,

вызывающих преждевременное стебление, подбирали родительские пары по принципу взаимодополнения по компонентам устойчивости, в потомстве которых были получены трансгрессивные формы с комплексной устойчивостью. Особенность наших экспериментов состояла в том, что существовала необходимость совмещения трансгрессии по размерам и массе корнеплода с трансгрессией по устойчивости к действию соответствующих стрессоров, провоцирующих преждевременное цветение. Для этого в РАЭС изучали реакцию на длинный день и пониженную температуру более чем 40 сортов восточных редек (дайкон и лоба) из коллекции ФИЦ ВИР им. Н. И. Вавилова. В качестве источников света использовали лампы ДНаТ-400, облученность составляла 60...70 Вт/м² ФАР. При изучении воздействия низкой температуры проклюнувшиеся семена выдерживали в холодильнике при температуре 0...5 °С в течение 14 дней, затем высевали в субстрат (торф с керамзитом 1:1 по объему) и выращивали до начала стебления при коротком 12-часовом фотопериоде. Для определения влияния длинного дня сухие семена высевали в тот же субстрат и выращивали при 18-часовом фотопериоде до начала стебления. Температуру в помещении поддерживали на уровне 22...26 °С днем и 18...20 °С ночью. Полив осуществляли водой, подкормку – раствором Кнопа 2 раза в неделю. При создании гибридов F₁ родительские пары подбирали таким образом, чтобы длиннокорнеплодная форма обладала устойчивостью к одному из неблагоприятных факторов среды, а круглокорнеплодная – к другому. Выявление трансгрессивных форм в F₂ и сравнение их с родительскими сортами и гибридами F₁ проводили в открытом грунте в Ленинградской области при майском посеве на фоне обычно действующих в регионе стрессоров. Повторность для каждого сорта и линии – 12-кратная, для гибридов F₁ – 6-кратная. При выращивании гибридов второго поколения изучали 150...200 образцов в каждом варианте скрещивания. Учитывали сроки начала цветения, надземную массу и массу корнеплода, число листьев в розетке, размеры и число долей у развитого листа, диаметр и длину корнеплода, его окраску и форму.

При селекции редиса исследовали особенности продукционного процесса и проявления хозяйственно ценных признаков более чем 30 сортов из коллекции ФИЦ ВИР им. Н.И. Вавилова, а также российских селекционно-семеноводческих фирм в условиях интенсивной светокультуры. Растения культивировали при 12-часовом фотопериоде в вегетационно-облучательной ярусной установке, оборудованной лампами ДНаЗ-400 при облученности 60...70 Вт/м² ФАР. Температуру поддерживали на уровне 22...26 °С днем и 18...20 °С ночью. Субстратом служил верховой торф с минеральными добавками, толщина корнеобитаемого слоя составляла 4...5 см, плотность посева – 100...200 растений на 1 м². Полив и подкормку проводили по схеме, аналогичной дайкону. Повторность для каждого сорта и линии – 40-кратная, для гибридов F₁ – 20-кратная, в F₂ высевали 150...200 растений, в F₃ – 40...60 растений. Для получения семян маточные корнеплоды после 2-недельного воздействия низкой температуры (0...5 °С) высаживали в сосуды объемом 2 л (торф с минеральными добавками), выращивая их при 16-часовом фотопериоде. Учитывали высоту и диаметр розетки, массу растения и корнеплода, число и размеры листьев, длину и диаметр корнеплода, степень опушенности листа, устойчивость к стеблению.

Обработку данных проводили методами матема-

тической статистики с использованием программного обеспечения MS Excel 2016.

Результаты и обсуждение. Основным подходом к получению трансгрессий традиционно выступает скрещивание географически и генетически отдаленных форм. Однако в большинстве работ отсутствует обсуждение механизмов образования трансгрессий и методов их целенаправленного получения.

Наши представления о работе с феноменом трансгрессии заключаются, с одной стороны, в понимании необходимости изучения наличия и локализации генов или коадаптированных блоков генов, детерминирующих селективируемые признаки и их компоненты, с применением современных молекулярно-генетических методов в имеющейся коллекции сортов, с другой – в понимании невозможности прогнозирования реализации этих генов на уровне фенотипа без изучения влияния на них конкретных факторов среды. Один из основных принципов нашего подхода – гармонизация взаимодействия генотип-среда для получения и максимальной выраженности трансгрессий. Сложность межгенных взаимодействий и взаимодействий генотип-среда заставляет выдвигать на первое место изучение не молекулярно-генетической структуры объектов селекции, а фенотипических различий у имеющихся образцов в контролируемых условиях выращивания. Работа на уровне фенотипа, подбор родительских пар с учетом взаимодополнения по компонентам сложного признака, фактически подразумевает использование не аддитивных эффектов полигенов, а комплиментарных взаимодействий между генами или блоками генов, детерминирующими как хозяйственно ценные признаки, так и их компоненты.

Предлагаемый подход связан с прогнозируемым получением трансгрессий по селективируемым признакам (компонентам продуктивности и устойчивости) путем целенаправленного подбора родительских пар, исходя из результатов проведенного в условиях регулируемой агроэкосистемы изучения биоразнообразия культуры. Причем оценку первичного селекционного материала и выявление источников хозяйственно ценных признаков возможно проводить, моделируя стрессовые воздействия или комплекс факторов среды, типичных для зоны селекции. Использование регулируемой агроэкосистемы позволяет более четко оценивать реакцию генотипа на действие различных факторов среды и их комбинаций, значительно снижая влияние экологических шумов, неизбежно возникающих при проведении селекции в открытом грунте. Наиболее важной характеристикой при оценке первичного селекционного материала, помимо общей продуктивности, служит степень выраженности компонентов селективируемых признаков. Полученные данные служат основой для подбора родительских пар и прогноза возможных трансгрессий, а также эталонами для идентификации в расщепляющихся гибридных популяциях трансгрессивных генотипов. Применяемый метод подбора родительских пар (взаимодополнение по разным независимо наследуемым компонентам селективируемых признаков) позволяет на порядок повысить эффективность селекции, по сравнению с традиционными методами, путем сокращения числа прорабатываемых гибридных комбинаций и уменьшения числа растений в изучаемых гибридных популяциях при более четкой идентификации трансгрессий по фенотипу в регулируемой агроэкосистеме. Все эти элементы разработанной методологии ускоренной трансгрессивной селекции могут быть наглядно продемонстрированы на примере наших работ по селекции различных культур.

Реализация разработанной методологии трансгрессивной селекции при создании ультраскороспелых линий яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.). В работе с мягкой пшеницей главной задачей исследований было изучение в РАЭС механизмов, определяющих скороспелость и обеспечивающих получение ультраскороспелых трансгрессивных форм. В ее основу была положена концепция независимого наследования длительности периодов онтогенеза пшеницы «всходы – выход в трубку», «выход в трубку – колошение» [20, 22]. Эта концепция открывает возможности для целенаправленного создания трансгрессивных по сроку колошения генотипов с использованием взаимодополняющего подбора компонентов родительских форм (длительность периодов), определяющих степень проявления селективируемого признака.

Продолжительность вегетационного периода яровой мягкой пшеницы выступает важным фактором, определяющим адаптацию растений к различным условиям окружающей среды и, в конечном счете, их продуктивность [24]. До фазы выхода в трубку пшеница находится в вегетативном периоде развития, от начала колошения до конца цветения – в генеративном, от первой стадии созревания до полной спелости – в репродуктивном периоде. Различные фазы определяют формирование определенных количественных показателей продуктивности. Увеличение длительности периода всходы – кущение сопровождается наращиванием вегетативной массы. Многие авторы отмечают, что продолжительность фазы выход в трубку – колошение (IV...VII этапы органогенеза) важна, поскольку в этот период формируются фертильные цветки, определяющие будущее число зерен в колосе [25]. Во время периода колошение – созревание (IX...XII этапы органогенеза) происходят налив и увеличение массы зерна [26].

Эффективную адаптацию пшеницы в процессе онтогенеза к разным условиям среды обеспечивают генетические системы, контролирующие реакцию растений на яровизирующие температуры (гены *Vrn-vernalisation*) и фотопериод (гены *Ppd-photoperiod response*) [27, 28, 29].

Следует отметить, что основное количество работ по генетике вегетационного периода у пшеницы связано с изучением продолжительности периода от всходов до колошения. В литературе имеются немногочисленные исследования по изучению длительности отдельных фаз развития этой культуры. Выявлены различия по времени наступления и скорости прохождения отдельных этапов органогенеза у различающихся по локусам *Vrn* и *Ppd* генотипов [30, 31, 32]. Установлено, что действие генов *Ppd* длится с середины IV до конца VI этапов органогенеза и оказывает влияние на скорость роста и развития апекса побега [32, 33, 34]. Показано, что различия в проявлении локусов *Vrn A1*, *Vrn B1* и *Vrn D1* связаны с разной скоростью прохождения II и III этапов (кущение–выход в трубку). Отмечено, что период «кущение–выход в трубку» выступает критическим и определяет продолжительность всего вегетационного периода от всходов до колошения и созревания растений [35, 36, 37]. Адаптивность пшеницы к широкому диапазону условий выращивания во многом определяет взаимодействие систем генов *Vrn* и *Ppd*, представленных разной долей доминантных и рецессивных аллелей. Регуляция времени цветения и созревания позволяет растениям избегать стрессовых климатических условий [28].

Ключевую роль при получении ультраскороспелых форм мягкой пшеницы сыграло проведение исследований в регулируемой агроэкосистеме, обеспечивающее возможность создания анализирующих фонов, способ-

ствующих четкости фенотипического проявления генетических систем *Vrn* и *Ppd*. Благоприятным фоном для оценки их вкладов в фенотипы компонентных (продолжительность отдельных периодов онтогенеза) и результирующего (срок колошения) признаков выступал короткодневный 12-часовой режим освещения без предварительной яровизации, при выращивании на котором фенотипическая дисперсия по признакам длительности периодов онтогенеза выражена очень отчетливо (рис. 1). Это иллюстрирует преимущество РАЭС, по сравнению с природными условиями, состоящее в возможности создания режимов выращивания, обеспечивающих снижение модификационной изменчивости и более четкое выявление генотипической изменчивости.

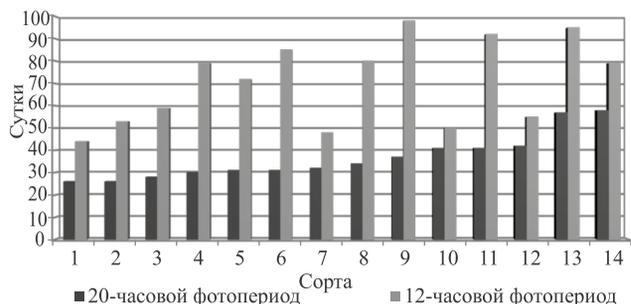


Рис. 1. Длительность периода от всходов до колошения у сортов яровой мягкой пшеницы при 12- и 20-часовом фотопериодах: 1 – СКФ 2; 2 – Gecora 70; 3 – Santa Elena; 4 – Белорусская 80; 5 – Triple Dirk D; 6 – Ленинградка; 7 – Родина; 8 – Triple Dirk E; 9 – Московская 35; 10 – АФИ-М-1; 11 – Ленинградская ранняя; 12 – Sonora 64; 13 – Triple Dirk B; 14 – Asakaze komugi.

В отличие от широко распространенного способа оценки особенностей генетических систем *Vrn* и *Ppd*, период всходы – колошение был рассмотрен не как единый этап онтогенеза, а как два подэтапа: «всходы – выход в трубку», «выход в трубку – колошение». Прогноз количественных характеристик трансгрессий по признаку срок колошения пшеницы осуществляли по формуле, изложенной в методике [20].

Данные, полученные при оценке срока колошения по его компонентной структуре в наборе сортов яровой мягкой пшеницы на провокационном фоне (короткий день), позволили выявить ряд комбинаций скрещивания, перспективных для получения трансгрессий по скороспелости пшеницы (рис. 2).

Подбор комбинаций скрещивания проводили по принципу благоприятного взаимодополнения компонентов селективируемого признака (продолжительность периода всходы – выход в трубку, а второй сорт – коротким периодом выход в трубку – колошение). В анализируемой выборке сортов наиболее перспективными оказались комбинации скрещивания Asakaze komugi × Ленинградская ранняя, Asakaze komugi × Sonora 64. У гибридов F₂ в этих комбинациях скрещивания, согласно сделанному прогнозу, отмечалось трансгрессивное расщепление по сроку колошения. В ходе дальнейшей работы из выделенных трансгрессивных гибридных форм F₂, путем стабилизирующего отбора на провокационном фоне, был получен ряд константных ультраскороспелых линий АФИ 39, АФИ 91, АФИ 68, АФИ 177, опережающих по сроку колошения и родительские скороспелые сорта, и

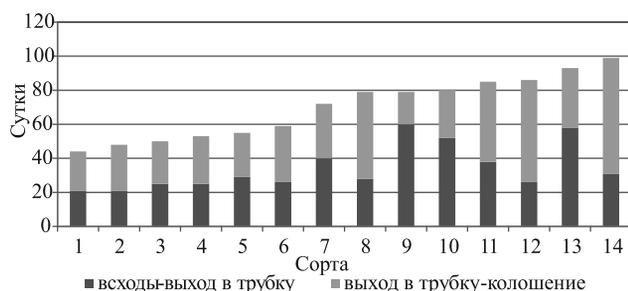


Рис. 2. Структура срока колошения по длительности составляющих его периодов онтогенеза сортов яровой мягкой пшеницы при 12-часовом фотопериоде: 1 – СКФ 2; 2 – Родина; 3 – АФИ-М-1; 4 – Gecora 70; 5 – Sonora 64; 6 – Santa Elena; 7 – Triple Dirk D; 8 – Белорусская 80; 9 – Asakaze komugi; 10 – Triple Dirk E; 11 – Ленинградка; 12 – Ленинградская ранняя; 13 – Triple Dirk B; 14 – Московская 35.

районированные сорта Ленинградка, Ленинградская 6, как при выращивании в регулируемых условиях, так и в условиях естественного фотопериода Северо-Западной зоны РФ [38, 39].

Предлагаемый подход не ограничен вариантом получения ультраскороспелых линий, а позволяет создавать формы с различными сроками колошения, в перспективе – адресно ориентированные сорта, адаптированные к конкретным условиям региона выращивания и современным агротехнологиям.

*Реализация методологии ускоренной трансгрессивной селекции при создании новых форм *Raphanus sativus* L.* Разработанная нами стратегия интродукции дайкона в Северо-Западный регион России была реализована при проведении большей части исследований в регулируемой агроэкосистеме. Особенно это касается изучения влияния светового дня и низких положительных температур на переход растений к цветению. Показано, что при 18-часовом фотопериоде значительная часть восточных редек (дайкон и лоба) не переходит к цветению и способна образовывать товарные корнеплоды, если к этому не добавляется действие пониженных температур и других стрессоров [23]. Это опровергает широко распространенное представление о высокой цветущности большинства сортов дайкона в условиях длинного дня, которая приводит к раннему стеблеванию и отсутствию товарных корнеплодов. Такой результат был получен благодаря моделированию действия в РАЭС только одного из факторов, провоцирующих преждевременное стебление, при поддержании других условий выращивания в зоне оптимума. Значительно меньшее количество образцов восточных редек оказалось слабо чувствительными к действию пониженных температур. При низкотемпературной индукции проклюнувшихся семян большинство исследованных сортов быстро переходило к стеблеванию и образовывало небольшие корнеплоды. В результате проведения комплексных исследований в РАЭС были отобраны сорта, наиболее устойчивые к действию каждого из имеющихся стрессоров в отдельности. Подбор родительских пар по принципу благоприятного взаимодополнения по компонентам устойчивости и продуктивности позволил получить в их гибридном потомстве высокопродуктивные трансгрессивные генотипы с комплексной устойчивостью.

Среди комбинаций скрещивания, подобранных на основании проведенных исследований, наиболее перспективными для получения трансгрессий и дальней-

шей селекции оказались комбинации лобы Красная мелкая с сортами дайкона Акицумари и Химани. При майской посадке в открытый грунт оба родительских сорта и гибриды F_1 зацвели очень рано, практически не образовав товарных корнеплодов, в то время как у гибридов в F_2 отмечали трансгрессивное расщепление как по сроку перехода к цветению, так и по массе корнеплода (рис. 3). В гибридном потомстве была выявлена высокая степень корреляции между сроком перехода растений к цветению и массой корнеплода ($r=0,76$).

Отсутствие гетерозиса в первом поколении в изученных комбинациях скрещивания было, вероятно, связано с эпистатическим действием генов, детерминирующих устойчивость (отсутствие рецессивных гомозигот), по отношению к генам, определяющим форму и массу корнеплода. В ходе дальнейшей работы из выделенных гибридных форм, обладающих значительной массой корнеплода и не зацветающих до конца сентября при весенней посадке в открытый грунт, путем стабилизирующего отбора на провокационном фоне и инбридинга были созданы стабильные высокопродуктивные линии дайкона, устойчивые к комплексу светотемпературных стрессоров. Масса корнеплода у отдельных экземпляров этих линий достигала к концу сентября 2...3 кг при сохранении сочной мякоти и отсутствии стеблевания. Стабилизированную по форме и цвету корнеплода, устойчивую к действующим в регионе стрессорам линию, выделенную в комбинации скрещивания дайкон Акицумари × лоба Красная мелкая, зарегистрировали как сорт дайкона Петербургский [40]. Другая линия в комбинации скрещивания дайкон Химани × лоба Красная мелкая не была зарегистрирована из-за сходства с дайконом Петербургский по устойчивости и продуктивности.

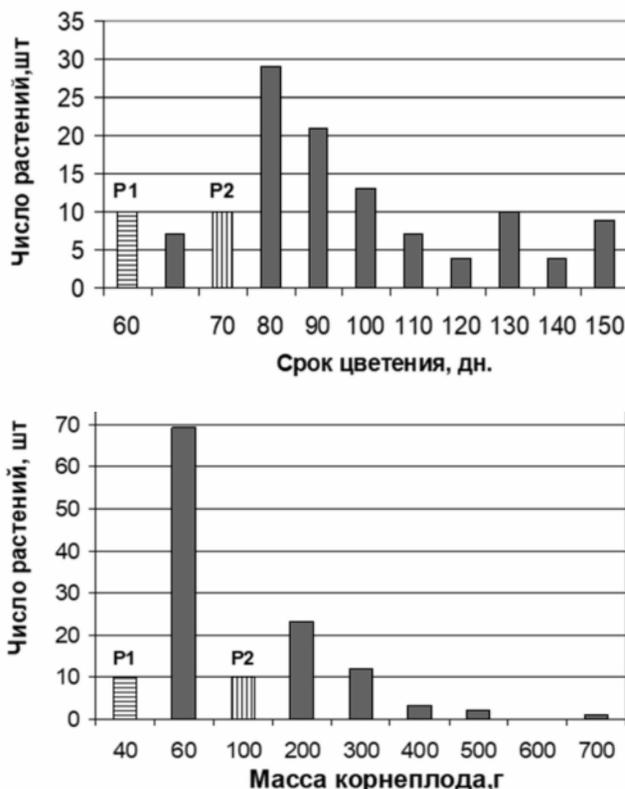


Рис. 3. Расщепление по сроку цветения и массе корнеплода у гибридных растений F_2 в комбинации скрещивания дайкон Химани (P_1) × лоба Красная мелкая (P_2).

Анализ результатов, полученных при селекции восточных редек, свидетельствуют о том, что их устойчивость к изучаемым неблагоприятным факторам (длинный день, низкие положительные температуры в начале вегетации) доминирует над устойчивостью; большие размеры корнеплода доминируют над меньшими; гены, контролирующие реакцию на факторы среды, эпистатичны по отношению к генам, обуславливающим размеры и массу корнеплода. Благодаря использованию разработанной методологии удалось за короткий срок (4...5 лет) создать линии дайкона, адаптированные к комплексу стрессоров, характерных для Северо-Западного региона России, ограничившись изучением небольшого числа комбинаций скрещивания и относительно небольших выборок гибридных популяций.

Еще один пример эффективности использования разработанной селекционной методологии – создание новых сортов редиса, адаптированных для выращивания в светокультуре. Потребность в таких сортах связана с широким распространением технологии сити-фарминга, позволяющей массово производить свежую овощную продукцию в мегаполисах, в сооружениях искусственного климата при искусственном освещении. При селекции сортов для светокультуры основными признаками выступают адаптация к искусственному освещению, малообъемным технологиям промышленного выращивания и повышенным температурам. В результате проведенных исследований было создано несколько новых трансгрессивных линий редиса, превышающих при выращивании в интенсивной светокультуре по темпам роста, товарности и массе корнеплода все изученные сорта. Одна из линий с корнеплодом фиолетового цвета была зарегистрирована в 2021 г. как сорт редиса Петербургский фиолетовый для светокультуры [41]. Он характеризуется комплексом хозяйственно ценных признаков: при урожайности 3,5...4,0 кг/м² за 25 суток вегетации устойчив к стеблеванию в условиях светокультуры, обладает компактной листовой розеткой и малоопушенным листом салатного типа (рис. 4).

Таким образом, разработанная методология ускоренной трансгрессивной селекции позволяет наиболее эффективно использовать феномен трансгрессии для получения новых форм различных культур с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков, что подтверждают результаты селекции пшеницы, дайкона и редиса. Целенаправленное использование методологических возможностей регулируемой агроэко-системы значительно ускоряет селекционный процесс, сокращает объем прорабатываемого материала при прогнозируемом получении трансгрессий по селективируемым признакам. Моделирование действия стрессоров и различных сочетаний экологических условий выращивания в регулируемой агроэко-системе дает возможность



Рис. 4. Сорт редиса Петербургский фиолетовый для светокультуры.

гарантированно создавать новые сорта различных культур, адаптированные к конкретным условиям и технологиям выращивания.

Развитие разработанной методологии трансгрессивной селекции с использованием современных методов молекулярной генетики позволит усовершенствовать предлагаемый подход благодаря возможностям молекулярно-генетического скрининга исходного материала и гибридных популяций, более четкому картированию селекционно значимых количественных признаков с учетом влияния факторов среды, а также осуществлять разработку молекулярно-генетических маркеров для последующей оценки и характеристики объектов селекции.

Литература.

1. De los Reyes B. G. *Genomic and epigenomic bases of transgressive segregation – New breeding paradigm for novel plant phenotypes* // *Plant Science*. 2019. Vol. 288. P. 110213. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016894521930528X>. (дата обращения: 14.09.2021).
2. Глазко В. И., Глазко Г. В. *Толковый словарь терминов по общей и молекулярной биометрии и общей и прикладной генетике*. М.: Академкнига, 2008. Т. 2. 529 с.
3. Ригер П., Михаэлис А. *Генетический и цитогенетический словарь* / Под ред. д-ра биол. наук Я. Л. Глембоцкого. М.: Колос, 1967. 607 с.
4. Вавилов Н. И. *Пути советской селекции* // *Теоретические основы селекции*. М.: Наука, 1987. С. 40–68.
5. Rieseberg L.H., Archer M. A., Wayne R. K. *Transgressive segregation, adaptation and speciation* // *Heredity*. 1999. Vol. 83(4). P. 363–372. doi:10.1038/sj.hdy.6886170.
6. Минькач Т. В., Селыхова О. А. *Селекционно-генетическая оценка межвидовых гибридов сои третьего поколения* // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2012. Т. 94 (8). С. 26–28.
7. Трушко А. А., Халецкий С. П. *Трансгрессия признаков у гибридов овса посевного в селекции на продуктивность* // *Земледелие и селекция в Беларуси*. 2019. № 55. С. 325–332.
8. *Studies on transgressive segregation in wheat (Triticum aestivum Linn.)* / D. Dahat, H. Rajput, B. Chavan, et al. // *Trends in Biosciences*. 2017. Vol. 10 (1). P. 104–107.
9. *Wheat transgressive segregants and their adaptation in the tropical region* / N. Putri, S. Sutjahjo, A. Nur, et al. // *Journal of Breeding & Genetics*. 2020. Vol. 52 (4). P. 506–522.
10. Хаблак С. *Новая теория гетерозиса. Концепция аллельного и неаллельного механизма возникновения гетерозиса* / М.: ЛумРес, 2019. 70 с.
11. Драгавцев В. А. *К выяснению эпигенетической (эколого-генетической) природы трансгрессий признаков продуктивности растений* // *50 лет ВОГИС: успехи и перспективы: сб. тезисов Всерос. конф.* М.: Изд-во Вавиловского общества генетиков и селекционеров, 2016. С. 63–66.
12. *Модель эколого-генетического контроля количественных признаков растений* / В. А. Драгавцев, П. П. Лутун, Н. М. Шкель и др. // *Доклады АН СССР*. 1984. Т. 274 (3). С. 720–723.
13. *Major ecological transitions in wild sunflowers facilitated by hybridization* / L. H. Rieseberg, O. Raymond, D. M. Rosenthal, et al. // *Science*. 2003. Vol. 301 (5637). P. 1211–1216. doi:10.1126/science.1086949.
14. *Inheritance and genetic mapping of the reduced height (Rht18) gene in Wheat* / N. P. Grant, A. Mohan, D. Sandhu, et al. // *Plants*. 2018. Vol. 7(3). P. 58–66. URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/7/3/58/html>. (дата обращения: 14.09.2021).

15. Analysis of genetic control and QTL mapping of essential wheat grain quality traits in a recombinant inbred population / S. Goel, K. Singh, B. Singh, et al. // *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14(3). P. e0200669. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/c0e0/9121e897fff7e46bcebb89f0073601303f87.pdf> (дата обращения: 14.09.2021).
16. Фоменко М. А., Грабовец А. И. Селекция озимой мягкой пшеницы на качество зерна в степной зоне // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 2. С. 78–81.
17. Грабовец А. И., Фоменко М. А. Плюстрасгрессии при селекции озимой пшеницы на морозостойкость и продуктивность // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2019. № 4. С. 3–7. doi:10.31857/S2500-2627201943-7.
18. QTL mapping of grain Zn and Fe concentrations in two hexaploid wheat RIL populations with ample transgressive segregation / L. A. Crespo-Herrera, V. Govindan, J. Stangoulis, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. P.1800. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.01800/full?report=reader>. (дата обращения: 14.09.2021).
19. Использование генетических ресурсов картофеля для повышения эффективности селекции / Е.А. Симаков, В.А. Жарова, А.В. Митюшкин и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2017. Т. 178 (2). С. 113–121. doi:10.30901/2227-8834-2017-2-113-121.
20. Методология прогнозирования трансгрессий по хозяйственно-ценным признакам растений: Методические рекомендации / Г.А. Макарова, Г.В. Мирская, А.А. Кочетов и др. СПб.: Россельхозакадемия, 2009. 48 с.
21. Макарова Г. А., Иванова Т. И. Наследование признаков корнеплода и листа у редиса // *Генетика*. 1983. Т. 10 (2). С. 304–311.
22. Макарова Г. А., Ермаков. Е. И. Прогнозированный трансгрессивный по сроку колошения рекомбиногенез пшеницы // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 1993. № 5. С. 3–5.
23. Кочетов А. А. Генотипическая адаптация восточно-азиатских подвидов *Raphanus sativus* при интродукции в Северо-Западный регион России // *Сельскохозяйственная биология*. 2004. Т. 39 (1). С. 83–91.
24. Worland A. The influence of flowering time genes on environmental adaptability in European wheats // *Euphytica*. 1996. Vol. 89. P. 49–57. doi:10.1007/BF00015718.
25. González F. G., Slafer G. A., Miralles D. J. Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats // *Field Crops Research*. 2003. Vol. 81. P. 17–27. doi:10.1016/S0378-4290(02)00195-8.
26. Slafer G. A., Rawson H. M. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers // *Austral. J. Plant Physiology*. 1994. Vol. 21. P. 393–426. doi:10.1071/PP9940393.
27. Waiting for fine times: genetics of flowering time in wheat / J. W. Snape, K. Butterworth, E. Whitechurch, Worland A. J. // *Euphytica*. 2001. Vol. 119. P. 185–190. doi:10.1007/978-94-017-3674-9_7.
28. Distelfeld A., Li C., Dubcovsky J. Regulation of flowering in temperate cereals // *Current opinion in plant biology*. 2009. Vol. 12 (2). P. 178–184. doi:10.1016/j.pbi.2008.12.010.
29. Kamran A., Iqbal M., Spaner D. Flowering time in wheat (*Triticum aestivum* L.): a key factor for global adaptability // *Euphytica*. 2014. Vol. 197. P. 1–26. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-014-1075-7> (дата обращения: 14.09.2021).
30. Стельмах А.Ф. Роль генетических систем в онтогенетической адаптации мягкой пшеницы // *Экологическая генетика и эволюция*. Кишинев: Штиинца, 1987. С. 146–161.
31. Kosner J., Pankova K. Chromosome substitutions with dominant loci *Vrn-1* and their effect on developmental stages of wheat // *Czech journal of genetics and plant breeding*. 2004. Vol. 40 (2). P. 37–44. doi:10.17221/3698-CJGPB.
32. Емцева М. В., Ефремова Т. Т., Арбузова В. С. Влияние аллелей *Vrn-B1a* и *Vrn-B1c* на продолжительность фаз развития замещенных и изогенных линий мягкой пшеницы // *Генетика*. 2013. Т. 49 (5). С. 632–632. doi:10.7868/S0016675813050056.
33. Стельмах А. Ф., Мартынюк В. Р. Эффекты доминантных генов *Ppd* по особенностям органогенеза у озимой мягкой пшеницы // *Цитология и генетика*. 1998. Т. 32 (6). С. 27–34.
34. Fatim В.И., Стельмах А.Ф., Федорова В.Р. Начало включения и продолжительность экспрессии генов фотопериодической реакции у озимой мягкой пшеницы // *Цитология и генетика*. 2006. Т. 40 (2). С. 12–19.
35. Зырянова А. Ф., Лихенко Н. И., Салина Е. А. Изучение аллельного состава генов *Vrn-1* и *Ppd-1* у ранних-поздних и среднеранних сортов яровой мягкой пшеницы Сибири // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015. Т. 18 (4/1). С. 691–703.
36. Environmental and Genetic Variation for Yield-Related Traits of Durum Wheat as Affected by Development / F. Giunta, P. De Vita, A. M. Mastrangelo, et al. // *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. P. 8. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00008/full> (дата обращения: 14.09.2021).
37. Чуманова Е. В., Ефремова Т. Т., Кручинина Ю. В. Влияние различных доминантных аллелей локусов *VRN* и их комбинаций на продолжительность фаз развития и продуктивность у линий мягкой пшеницы // *Генетика*. 2020. Т. 56 (7). С. 805–818. doi:10.31857/S0016675820070024.
38. Макарова Г. А., Нерушева Г. В. Прогноз длительности периодов онтогенеза у рекомбинантных по сроку колошения линий пшеницы // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 1995. № 2. С. 10–12.
39. Ермаков Е. И., Макарова Г. А., Нерушева Г. В. Программированное получение в регулируемой агроэко-системе трансгрессивных по сроку колошения линий пшеницы: Методические рекомендации. М.: РАСХН, 2002. 32 с.
40. Патент на селекционное достижение 6392 (8953530) РФ дайкон Петербургский / А. А. Кочетов, А. М. Артемьева; заявитель и патентообладатель: ГНУ Агрофизический НИИ. N 8953530; заявл. 27.10.2010; выдан 22.03.2012.
41. Патент на селекционное достижение 11518 РФ, редис *Raphanus sativus* var. *sativus* Петербургский фиолетовый / А. А. Кочетов, Н. Г. Синявина; заявитель и патентообладатель: ФГБНУ Агрофизический НИИ. N 8058521; заявл. 28.11.2019; выдан 25.03.2021.

Поступила в редакцию 30.06.2021
 После доработки 03.09.2021
 Принята к публикации 24.09.2021

ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

П.Н. Мальчиков, доктор сельскохозяйственных наук,
М.Г. Мясникова, кандидат сельскохозяйственных наук

Самарский федеральный исследовательский центр РАН,
Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.М.Тулайкова,
446254, Самарская обл., Безенчукский р-н, пгт. Безенчук, ул. К. Маркса, 41
E-mail: sags-mal@mail.ru

*Исследования проводили с целью идентификации в системе эколого-географических испытаний базовых генотипов по урожайности, определения источников устойчивости к наиболее вредоносным патогенам и получения адаптированно-го исходного материала с высокой концентрацией генов от других видов и эколого-географических групп. В 2011–2020 гг. в системе КАСИБ (казахстанско-сибирская селекция яровой пшеницы) в экопунктах Актобе, Карабалык, Самара, Омск, Барнаул изучали 121 сорт яровой твердой пшеницы из 8-и учреждений России и Казахстана. В условиях эпифитотии 2015, 2016, 2021 гг. исследовали устойчивость селекционных и коллекционных образцов к листовым пятнистостям и стеблевой ржавчине. В Кении изучали 10 генотипов на инфекционном фоне из смеси инокулюма 5 рас стеблевой ржавчины, в том числе Ug99. По величине урожайности исследовали сорта, полученные от межвидовых (*Triticum dicoccum* Desf, *Triticum aestivum* L.) и отдаленных скрещиваний с сортами из Италии и Австралии. В системе КАСИБ по урожайности и её стабильности идентифицировали 15 генотипов, которые рекомендованы в качестве базовых, из них 8 (61,5 %) созданы в Самаре, 5 (30,0 %) в Омске и 2 (8,5 %) в Барнауле. Среди коллекционных и селекционных образцов отобраны источники (41) и доноры (22) устойчивости к фузариозной пятнистости листьев, а также 15 источников устойчивости к стеблевой ржавчине. В Кении идентифицированы 2 сорта иммунных к желтой и сложной популяции стеблевой ржавчины и 6 генотипов умеренно устойчивых к стеблевой ржавчине. Созданы и идентифицированы как продуктивные сорта, содержащие 20,0...75,0 % наследственного материала других видов (8 сортов) и отдаленных скрещиваний (6 сортов).*

INITIAL MATERIAL FOR BREEDING DURUM WHEAT IN THE MIDDLE VOLGA REGION

Malchikov P.N., Myasnikova M.G.

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

*The object of the research is to identify in the system of ecological-geographical tests the basic genotypes in terms of yield, to determine the sources of resistance to the most harmful pathogens and to obtain an adapted initial material with a high concentration of genes from other species and ecological-geographical groups. In 2011–2020. In the KASIB system (Kazakh-Siberian selection of spring wheat) 121 cultivars of spring durum wheat from 8 institutions in Russia and Kazakhstan were studied at the eco-points of Aktobe, Karabalyk, Samara, Omsk, Barnaul. In the epiphytity of 2016, 2017, 2021, breeding and collection samples for resistance to leaf spots and stem rust were studied. In Kenya, 10 genotypes were studied against an infectious background from a mixture of inoculum of 5 stem rust races, including Ug99. In terms of yield, the cultivars obtained from interspecific (*Triticum dicoccum* Desf, *Triticum aestivum* L.) and distant crosses with cultivars from Italy and Australia were studied. In the KASIB system, 15 genotypes were identified by yield and its stability, which are recommended as basic ones. Among them, 8 (61.5 %) were created in Samara, 5 (30.0 %) in Omsk and 2 (8.5 %) in Barnaul. Sources (41) and donors (22) of resistance to fusarium leaf spot and to stem rust - 15 sources were selected from collection and selection samples. Kenya identified 2 cultivars immune to yellow and stem rust and 6 moderately resistant to stem rust. Created and identified as a productive breeding material containing from 20.0 to 75.0 % of the hereditary material of other species - 8 lines and distant crosses - 6 lines.*

Ключевые слова: твердая пшеница, сорт, исходный материал, базовый генотип, устойчивость, пятнистость листьев, стеблевая ржавчина, генетическое разнообразие

Key words: durum wheat, cultivar, initial material, base genotype, resistance, leaf spot, stem rust, genetic diversity

Принципы научного подхода к подбору и изучению исходного материала были разработаны Н.И. Вавиловым [1]. Основные источники генетических ресурсов – центры происхождения культурных растений, местные сорта (ландрасы), сорта, созданные в ходе научной селекции в различных агроэкологических зонах. Проблема отбора в этом разнообразии родительских форм для гибридизации остается наиболее сложной в селекционном процессе [2]. Согласно результатам опроса, проведенного Международной Организацией селекционеров растений, несмотря на то, что от 52 до 88 % коллекционных образцов составляют генетические ресурсы растений, местных и старых сортов,

а также сортов дикорастущих видов, при проведении гибридизации используют в основном коммерческие сорта [2]. Основная причина такой ситуации связана с тем, что во многих регионах современные сорта несут сформировавшиеся в процессе длительной селекции коадаптированные блоки генов, обеспечивающие им широкую адаптивность [2]. По мнению А.А. Жученко [3], в масштабе генома они наиболее устойчивы к рекомбинации и контролируются процессами мейоза и условиями среды. Существование ассоциаций генов (блоков) отчетливо демонстрирует пример из истории селекции яровой твердой пшеницы в Самарском НИ-ИСХ, где их носителями на разных этапах селекции

были сорта Леукурум БГ-40, Безенчукская 182, Памяти Чеховича [4]. Ассоциативную организацию генетических систем, контролирующих количественные признаки, подтверждают идентификация и маркирование QTL методами молекулярной генетики. Это указывает на взаимосвязь между локусом количественного признака и условиями среды, в которых его оценивают, что можно объяснить только эффектами коадаптированных блоков генов [5]. Подобные ассоциации генов служат основой для создания системы сортов со свойствами сортов широкого ареала.

Таким образом, создание и идентификация базовых генотипов, несущих блоки коадаптированных генов, одно из основных направлений формирования исходного материала, повышения эффективности и ускорения селекционного процесса. Базовый генотип идентифицируется на основании массива данных, полученных в процессе фенотипирования в разнообразных условиях среды, что связано с его основным атрибутом – стабильностью формирования исследуемого свойства, в нашем случае урожайности. В связи с этим методика соответствующих экспериментов основана на системе эколого-географических испытаний в широком диапазоне сред (годы, пункты).

Второй обязательный блок исходного материала в рабочей коллекции селекционера – набор образцов из разных эколого-географических групп, включающий генотипы со специфической адаптивностью – устойчивостью к определенным патогенам, полеганию, засолению почвы, имеющих оптимальные параметры вегетационного периода, то есть приспособленных к конкретным лимитирующим факторам среды. Специфическая адаптивность – неотъемлемый атрибут сортов локального значения, размещаемых в крупных регионах по принципу сортовой мозаики, в результате чего каждая микроразнообразие получает адекватный сорт [3]. Лучшие сорта локального значения – генотипы, созданные на основе комплементарных генетических систем широкой и специфической адаптивности. Объединение их свойств может усилить приспособленность создаваемых сортов [3]. Доминирование тех или иных признаков в сортовых популяциях зависит от региональных особенностей среды – частоты и силы проявления специфических лимитирующих факторов и особенностей технологии возделывания культуры.

Третье направление формирования исходного материала в современных условиях определяет повсеместное снижение генетического разнообразия, которое объясняется использованием в качестве базовых генотипов ограниченного числа сортов [6]. Одним из подходов к преодолению негативных последствий этого процесса в селекции твердой пшеницы может быть широкое привлечение ландрасов. Он основан на результатах молекулярно-генетических исследований разнообразия местных сортов твердой пшеницы из региона «плодородного полумесяца» [7]. В селекции твердой пшеницы средневожжского биотипа наиболее радикально эта проблема решается путем введения в геном нового генетического материала от других видов (*Triticum dicoccom* Shuebl., *Triticum aestivum* L., *Triticum timopheevii* Zhuk) и других эколого-географических групп твердой пшеницы, в частности сортов из Италии, Австралии, Казахстана и селекционных центров России.

Цель исследований – идентифицировать в системе эколого-географических испытаний по стабильности формирования урожайности базовые генотипы, опре-

делить источники устойчивости к наиболее вредоносным патогенам и получить адаптированный исходный материал с высокой концентрацией генов других видов и эколого-географических групп твердой пшеницы.

Методика. Идентификацию генотипов широкого ареала по средней урожайности, её стабильности и отзывчивости осуществляли в многолетнем эксперименте (2011–2020 гг.) на материале КАСИБ (казахстанско-сибирская сеть селекции яровой пшеницы). Был изучен 121 сорт из 8-и селекционных центров России и Казахстана. Эксперименты проводили в течение 5 циклов в следующих экопунктах: Актобе, Карабалык, Самара, Омск, Барнаул. Цикл включал 2 года изучения в каждом из перечисленных эколого-географических пунктах. В каждом цикле исследовали от 21 до 28 сортов. Посев проводили в оптимальные сроки, учетная площадь делянки 5,0...10,0 м², повторность – 2...3-кратная, размещение сортов – рендомизированное. В период кушения посевы обрабатывали гербицидами, препараты и дозы которых определяли в зависимости от видового состава сорных растений. Предшественник во всех точках проведения исследований – чистый пар. По многолетним данным метеосреды в экопунктах значительно отличаются, как в целом, так и по динамике основных погодных факторов в период вегетации яровой твердой пшеницы. Среди них самое большое количество осадков в период с апреля по август выпадает в Барнауле и Омске (220 мм) при средней за май–август минимальной температуре 17 °С. Наиболее сухой (139 мм) и жаркий (21,0 °С) экопункт – Актобе. Далее следуют Самара (180 мм и 19,5 °С) и Карабалык (218 мм и 19,8 °С). Изменчивость погодных факторов также зависела от места проведения исследований. Коэффициенты вариации средней температуры в мае–августе составляли от 4,6 % в Самаре до 6,3 % в Карабалыке и Актобе, осадков в апреле–августе – от 19,0 % в Барнауле до более чем 35,0 % в Омске, Актобе и Карабалыке. В целом самые благоприятные и наименее изменчивые условия выращивания яровой твердой пшеницы складывались в Барнауле.

Учеты и наблюдения проводили в соответствии с принятыми методиками полевого эксперимента [8]. Агрономическую стабильность (As), рассчитывали по формуле Сазоновой, Власовой [9]:

$$As = 100 - Cv, \quad (1)$$

где Cv – коэффициент вариации.

Меру превосходства сорта (Pi) определяли по Linand Bins [9]:

$$Pi = \frac{\sum (X_{ij} - M_j)^2}{2n}, \quad (2)$$

где X_{ij} – величина признака i -ого сорта в j -ый год, M_j – максимальное значение признака любого сорта в j -ый год, n – число мест испытаний.

Коэффициент регрессии генотипа на среду как меру отзывчивости сорта вычисляли по формуле [9]:

$$b_i = \frac{\sum X_{ik} d_k}{\sum d_k^2}, \quad (3)$$

где X_{ik} – значение признака в конкретной среде, d_k – значение среды

Устойчивость к патогенам листовых пятнистостей (*Alternaria* spp., *Fusarium* spp.) и стеблевой ржавчины (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*) изучали на экспериментальном поле Самарского НИИСХ в коллекционном и

селекционных питомниках в эпифитотийные годы. Род патогенов определяли по клеточной структуре мицелия, после культивирования инфекционного начала на питательной среде. Полевые учеты (тип иммунности, степень поражения листовыми пятнистостями) проводили в фазы цветения и молочно-восковой спелости. Степень поражения листовыми пятнистостями оценивали по шкале Саари и Прескотта [10]. Тип инфекции стеблевой ржавчины определяли по шкале Стэкмана, Левина [11]. В селекционном питомнике 1 года в условиях эпифитотий 2016 и 2021 гг. были проанализированы потомства гибридных популяций, полученных от скрещивания устойчивых к фузариозной пятнистости сортов с восприимчивыми. Устойчивые сорта, в потомствах которых было обнаружено от 30,0 % устойчивых линий и более отнесены к генетическим донорам устойчивости. Образцы твердой пшеницы, выделившиеся по устойчивости к стеблевой ржавчине в 2016–2017 гг., изучали по программе КАСИБ в Кении на инфекционном фоне стеблевой и желтой ржавчины. Инфекционный фон формировали на основе местной (кенийской) популяции желтой ржавчины и рас стеблевой ржавчины, включая наиболее вирулентную и агрессивную расу Ug99, представляющую опасность для посевов пшеницы в России во всех регионах. Изу-

чали следующие расовые компоненты инфекционного фона: ТTKSK = Ug99, ТTKST = Ug99 + раса, несущая ген вирулентности к Sr24, ТTKSK=Ug99+раса, несущая ген вирулентности к Sr36, ТTKTK=вирулентная к SrTmp, ТTKTT= вирулентная кSr24+ SrTmp.

В 2020 г. изучение нового селекционного материала, созданного на основе отдаленных эколого-географических скрещиваний твердой пшеницы проведено по совместной программе в 3-х селекционных лабораториях – ФИЦ Самарский НЦ РАН (Самарского НИИСХ), ФГБНУ ФАНЦА (Алтайского НИИСХ) и ФНИЦ Биологических систем и агробиотехнологий (Оренбургского НИИСХ) по методике аналогичной, применявшейся в питомниках КАСИБ. По этой же методике в Самаре в 2017–2020 гг. изучали константные селекционные линии от межвидовых скрещиваний.

Результаты и осуждение. В системе экологических сортоиспытаний КАСИБ в 2011–2020 гг. идентифицировано 15 лучших (по три в каждом цикле) генотипов по урожайности, отзывчивости на благоприятные условия среды и стабильности (табл. 1). Предполагается, что значительная часть этих сортов обладает свойствами широкой адаптации, и их можно использовать в качестве базовых генотипов.

В первом цикле (2011–2012 гг.) это были линии

Табл. 1. Урожайность её стабильность и отзывчивость на благоприятные условия лучших линий (КАСИБ, 2011–2020 гг.)

Годы испытания	Сорт	Регион происхождения	Урожайность, т/га	b_i	As	P_i
2011–2012	Стандарт	-	2,32	0,91	36,1	23,0
	653Д-44	Самара	2,64	1,08	42,8	7,6
	688Д-4	Самара	2,61	1,12	37,9	15,4
НСР _{0,05}	Гордеиформе 677	Барнаул	2,55	1,11	35,5	12,4
	-	-	0,16	0,03	5,5	2,3
2013–2014	Стандарт	-	2,54	1,16	44,4	14,2
	Гордеиформе 02-156-1	Омск	2,76	1,17	47,2	5,3
	Гордеиформе 01-121-3	Омск	2,73	1,07	52,7	9,0
НСР _{0,05}	Гордеиформе 04-85-4	Омск	2,68	1,23	38,7	13,5
	-	-	0,16	0,05	4,1	2,7
2015–2016	Стандарт	-	2,60	1,26	60,2	30,1
	Леукурум 1469Д-21	Самара	2,70	1,16	54,8	23,7
	Леукурум 1307Д-51	Самара	2,58	1,01	55,8	23,0
НСР _{0,05}	Гордеиформе 01-115-5	Омск	2,56	1,22	57,7	33,4
	-	-	0,15	0,09	5,7	3,7
2017–2018	Стандарт	-	3,56	1,19	42,2	78,4
	Леукурум 1506	Самара	4,03	1,09	48,3	8,6
	Гордеиформе 1591Д-21	Самара	3,96	1,04	47,6	14,8
НСР _{0,05}	Гордеиформе 05-42-12	Омск	3,63	1,10	39,8	27,4
	-	-	0,25	0,05	5,0	3,9
2019–2020	Стандарт	-	3,12	1,13	14,2	35,5
	Гордеиформе 924	Барнаул	3,21	1,14	25,3	21,3
	Леукурум 1693д-71	Самара	3,20	1,07	32,0	13,9
НСР _{0,05}	Гордеиформе 1591Д-21	Самара	3,10	1,18	21,7	17,2
	-	-	0,21	0,04	6,9	4,5

653Д-44, 688Д-4 (Самара) и Гордеиформе 677 (Барнаул). При урожайности соответственно 2,64 т/га, 2,61 т/га и 2,55 т/га все они достоверно превзошли средний стандарт по величине этого показателя на 0,32 т/га, 0,29 т/га и 0,23 т/га. Кроме того, они отличались лучшей, чем у стандарта отзывчивостью на изменение условий среды: коэффициент регрессии (b_i) у линий был выше, чем у стандарта соответственно на 0,17, 0,21 и 0,02 единицы. Одновременно линия 653Д-44 была достоверно лучшей по параметрам стабильности As – 42,8 и P_i – 7,6. Гордеиформе 677 и 688Д-4 значимо (НСР_{0,05} 2,3) превосходили стандарт по величине параметра P_i на 11,6 и 8,6 единиц соответственно.

Во втором цикле (2013–2014 гг.) лучшими по урожайности были три линии Омского АНЦ – Гордеифоме 02-156-1, Гордеиформе 01-121-3 и Гордеиформе 04-85-4. Из них первые две достоверно превышали стандарт по величине этого показателя (соответственно на 0,22 и 0,19 т/га, а также по стабильности: Гордеиформе 01-121-3 по параметрам As на 8,3 единицы и P_i – на 5,2 единицы, Гордеиформе 01-85-4 только по P_i – на 8,9 единиц.

В третьем цикле (2015–2016 гг.) среди 25 изученных линий по урожайности лучшими были две из Самары – Леукурум 1469Д-21 и Леукурум 1307Д-51 и одна из Омска – Гордеиформе 01-115-5. Однако достоверных различий по величине этого показателя со средним стандартом не установлено. У самарских линий Леукурум 1469Д-21 и Леукурум 1307Д-51 величины параметра P_i были выше, чем у стандарта, на 6,4 и 7,1 единиц (НСР_{0,05} 3,7 единиц). Это означает, что практически одинаковый со стандартом уровень вариабельности урожайности в зависимости от среды, сочетается у них с близкими к лучшему генотипу результатами в условиях каждой экспериментальной среды.

В четвертом цикле (2017–2018 гг.) лучшими по урожайности были селекционные линии из Самары – Леукурум 1506, Гордеиформе 1591Д-21 и из Омска – Гордеиформе 05-42-12. Самарские линии достоверно превосходили стандарт по урожайности (на 0,47 т/га и 0,40 т/га), а также по параметрам стабильности – по As на 6,1 и 5,4 единиц, по P_i – на 69,8 и 63,8 соответственно. Урожайность и As у омской линии Гордеиформе 05-42-12 находились на уровне стандарта. Преимущество отмечено только по величине P_i на 50,0 единиц.

В пятом цикле (2019–2020 гг.) урожайность лучших линий Гордеиформе 1591Д-21, Леукурум 1693Д-71 (Самарский НИИСХ) и Гордеиформе 924 (Алтайский НИИСХ) отличалась от стандарта несущественно. По параметрам стабильности все они значимо превосходили стандарт: по As соответственно на 7,5, 17,8 и 11,1 единиц, по P_i – на 18,3, 21,6 и 14,2 единиц.

Таким образом, за 10 лет изучения современного селекционного материала, принадлежащего 8-и селекционным центрам России и Казахстана, из 121 линии выделено 15 лучших по урожайности генотипов, которые были созданы в трех центрах – Самарском НИИСХ, Омском АНЦ и ФГБНУ ФАНЦА (Алтайский НИИСХ), в том числе 8 линий (61,5 %) в Самаре, 5 (30,0 %) в Омске и 2 (8,5 %) в Барнауле. Можно предположить, что такая ситуация связана с экологическими условиями места проведения селекции. Тем не менее, общие тенденции изменения свойств селекционного материала проявляются во всех трех центрах. Они относятся, помимо прогресса ряда генотипов по урожайности (7 из 15 достоверно превысили стандарты), к параметрам стабильности. Так, параметр P_i (мера превосходства сорта) был достоверно выше, чем у стандарта, у 13 из 15 линий коэффициент агрономической стабильности

(As) – у 4, остальные образцы по этим свойствам не отличались от стандарта. Можно предположить, что на сегодняшний день доминирующее направление в селекции твердой пшеницы – стабильность формирования урожайности. Это вполне объясняется потеплением климата и увеличением стрессовых нагрузок на продукционный процесс культуры. Такой вывод подтверждает анализ коэффициентов регрессии (b_i). Большинство линий (9 из 15) достоверно уступали стандарту по величине этого показателя и только 4 генотипа (653Д-44, 688Д-4, Гордеиформе 677, Гордеиформе 02-156-1) сочетали высокую отзывчивость на среду (по b_i) и значимое преимущество по урожайности над стандартом.

В целом все 15 линий рекомендуется использовать в качестве базовых генотипов в различных направлениях селекции в зависимости от их преимуществ локального значения. В качестве универсальных (пригодных для всех экопунктов) предложены линии 653Д-44, 688Д-4, Гордеиформе 677, Гордеиформе 01-121-3, Леукурум 1307Д-51, Леукурум 1506, Гордеиформе 1591Д-21. Целесообразность использования некоторых из них в этом качестве подтверждают результаты государственного сортоиспытания и включение в государственный реестр сортов, допущенных к хозяйственному использованию по регионам России. Это линии Самарского НИИСХ – 653Д-44 (Безенчукская золотистая), 688Д-4 (Безенчукская 210), Леукурум 1307Д-51 (Безенчукская крепость), Леукурум 1506Д-36 (Безенчукская юбилейная) и Гордеиформе 1591Д-21 (Триада). Высокую эффективность метода широких экологических испытаний для отбора базовых генотипов подтверждает использование сорта Памяти Чеховича (оригинатор Самарский НИИСХ), также идентифицированного в этом качестве в системе экологических испытаний. На его базе созданы сорта Безенчукская золотистая, Безенчукская 210, Безенчукская крепость, Безенчукский подарок (оригинатор Самарский НИИСХ), Кремень (оригинатор Оренбургский НИИСХ), Шукшинка (оригинатор ФГБНУ ФАНЦА).

Несмотря на высокую стабильность продукционных процессов, характерных для базовых генотипов они не идеальны и имеют ряд лимитирующих урожайности свойств. Такие недостатки можно устранить при наличии соответствующих доноров. В связи с этим был проведен поиск и формирование коллекции источников и доноров устойчивости к наиболее вредоносным патогенам твердой пшеницы в Среднем Поволжье, где она значительно сильнее, чем мягкая, поражается листовыми пятнистостями. В последние годы, наряду с патогенами гельминтоспориозных пятнистостей (темно-бурая – *Bipolaris sorokiniana* Sacc., син. *Helminthosporium sativum* P.K. et V., желтой – *Drechlera tritici-repentis*), все чаще наблюдаются эпифитотии фузариозной (*Fusarium sporotrichoides*, *Fusarium graminearum*) и альтернатозной (*Alternaria alternata* (Fr)) листовой пятнистости. Так, в период с 2015 по 2021 гг. их отмечали в 2015, 2016 и 2021 гг. Особенно значительную вредоносность наблюдали при распространении фузариозных пятнистостей листьев. Устойчивые сорта в этих условиях превосходили по урожайности неустойчивые в 3...4 раза, а восприимчивые сорта при степени поражения листьев 90,0...100,0 % урожай практически не формировали. Кроме перечисленных патогенов в 2016, 2017 гг. отмечали поражение растений твердой пшеницы стеблевой ржавчиной (*Puccinia graminis* f.sp. *tritici*), чего ранее в Поволжье не наблюдали.

Результаты изучения коллекционных и селекцион-

Табл. 2. Устойчивость образцов твердой пшеницы на естественном инфекционном фоне к *Alternaria* spp., *Fusarium* spp. и *Puccinia graminis* (Безенчук, 2015–2021 гг.)

Сорт	Оригинатор	Устойчивость к патогенам (R...S, %)*			Донор устойчивости к <i>Fusarium</i> sp.
		<i>Alternaria</i> sp.	<i>Fusarium</i> sp.	<i>Puccinia graminis</i>	
Italy 510	Италия	30,0	25S	R	
Italy 511	Италия	25,0	20MS	R	
Нурено	Австралия	50,0	R	5R	+
Таторои	Австралия	7,5	R	R	+
Тjikuri	Австралия	45	R	5R	+
Line740	Австралия	7,5	R	30	
L5046 (Nax 2)	Австралия	50,0	R	15	+
Line 53188	Австралия	10,0	R	10	
к-131191 T.durum	Самарская область	10,0	R	5R	
к-19352 T.dicoccum	ВИР	5,0	R	15	+
к-29564 T.dicoccum	ВИР	12,0	R	10	+
к-13634 T.dicoccum	ВИР	40,0	R	R	+
к-7353 T.dicoccum	ВИР	5,0	R	10	
к-29556 T.timopheevii	ВИР	0,0	R	R	
к-6530 T.dicoccum	ВИР	12,0	R	17,5	
к-6538 T.dicoccum	ВИР	10,0	R	15	
BS-5 T.aestivum	ВИР	30,0	R	12,5	+
74BS T.aestivum	ВИР	20,0	R	12,5	+
67/BS T.aestivum	ВИР	10,0	R	25,0	
1181к T.dicoccum	ВИР	10,0	R	7,5	
Гордеиформе 98-42-5	СИБНИИСХ	10,0	R	15,0	
rissa//scoop1/T.boeiticum	СИМУТ	5,0	R	50,0	+
Гордеиформе 01-121-3	СИБНИИСХ	30,0	R	40,0	
86с-08	НИИСХ Юго-Востока	25,0	R	12,5	+
1899д-3	Самарский НИИСХ	7,5	R	15,0	+
1899д-9	Самарский НИИСХ	7,5	R	15,0	+
Безенчукская 205	Самарский НИИСХ	10,0	R	5,0R	+
Безенчукская 210	Самарский НИИСХ	5,0	R	15,0	+
Золотая	Самарский НИИСХ	5,0	R	20,0	+
Гордеиформе 878	Алтайский НИИСХ	-	R	5,0R	
1560д-31	Самарский НИИСХ	5,0	R	7,5R	
Триада	Самарский НИИСХ	5,0	R	5R	+
1816д-5	Самарский НИИСХ	5,0	R	R	+
Л1750/682д-7//Л1750/Л1752	Самарский НИИСХ	5,0	R	R	+
Ясенка	Краснодарский НИИСХ	5,0	R	R	+
326д-26	Краснодарский НИИСХ	5,0	R	25	
1560д-35	Самарский НИИСХ	5,0	R	10	
Безенчукский подарок	Altar 84/358с-94//ПЧ	5,0	R	7,5R	+
1922Д-14 (SP3/2)	Без. нива/653д-58	5,0	R	10,0	+
1941д-19	Донская элегия/653д-58	5,0	R	10,0	+
2499д-1	Нах-2/1389да-1//БН	5,0	R	7,5	
2499д-3	Нах-2/1389да-1//БН	5,0	R	7,5	
2119д (146)	688д-7/к-10456/к-10456	5,0	R	7,5	
2121д (148)	688д-7/к-30091//Б210	5,0	R	10,0	

*в год максимального поражения; R – устойчивые генотипы, у которых в фазе колошения на листьях среднего и верхнего яруса отсутствовали пятна или поверхность покрытия не превышает 5,0 %; S – восприимчивые генотипы, повреждение пятнистостями превышало 20,0 % поверхности листьев.

ных образцов в эпифитотийные годы по максимальному проявлению за период изучения (табл. 2) показали, что ценность сформированной коллекции определяет высокая устойчивость всех образцов к пятнистости листьев, вызываемой наиболее вредоносными патогенами из рода *Fusarium* sp. Перспективны для селекции на высокую устойчивость к болезням сорта из Австралии, особенно Tammorei, проявивший в 2015–2021 гг. устойчивость ко всему комплексу патогенов, и L5046 (Nax2) – устойчивый/умеренно устойчивый к стеблевой ржавчине, фузариозной и желтой листовой пятнистостям. Устойчивость L5046 к болезням увеличивает его ценность в качестве донора гена солеустойчивости Nax2 семейства TmHKT. Кроме того, целесообразно широко использовать в гибридизации устойчивые к фузариозной пятнистости листьев образцы *Tr.dicoccum*: к-19352, к-29564, к-13634, к-6538, 1181к, к-7353. Наряду с иммунологической ценностью они по результатам длительного изучения отнесены к группе генотипов устойчивых к перестоя и полеганию.

Изучение ряда выделенных по устойчивости к стеблевой ржавчине сортов и образцов коллекции в условиях Кении показало, что для линии Italy 510 характерна комплексная устойчивость к желтой (20MR) и стеблевой (0/immune) ржавчине (табл. 3). Иммунитет к стеблевой и средняя восприимчивость (MS) к желтой ржавчине отмечена у образца Italy 511. Иммунитет к стеблевой ржавчине в период вегетативного роста и среднюю восприимчивость/устойчивость (M) на стадии восковой спелости проявила селекционная линия 1816Д-5. Аналогичная реакция на стеблевую ржавчину в период вегетативного роста (иммунитет) отмечена у линии краснодарской селекции 133/5, которая слабо поразилась (10R) на заключительном этапе вегетации – в период созревания зерна. Эти селекционные линии

(1816Д-5 и 133/5) были отобраны по адаптивности и устойчивости к стеблевой ржавчине в эпифитотийный в Среднем Поволжье 2016 г. Такую же реакцию (полный иммунитет) на инфицирование патогенами стеблевой ржавчины в период вегетативного роста проявили сорт Безенчукская 205 и образец из коллекции ВИР к-59874. Устойчивость и умеренную устойчивость (R, MR, RMR) к стеблевой ржавчине в этих условиях отмечали у сортов из Австралии – Huperno и Tammorei. Таким образом, генотипы Italy 510 и Italy 511 целесообразно использовать в селекции на устойчивость к желтой и стеблевой ржавчине, 1816Д-5, Huperno, Tammorei, 133/5, к-59874, Безенчукская 205 – на устойчивость к стеблевой ржавчине.

Как было указано ранее опора в селекции на базовые генотипы и коммерческие сорта приводит к сужению генетического разнообразия возделываемых сортов и увеличению вероятности дестабилизации урожая на больших сельскохозяйственных территориях. Результаты изучения в селекционных питомниках константных линий, полученных на основе межвидовых скрещиваний свидетельствуют, что они адаптированы к действию основных абиотических лимитирующих факторов среды в Среднем Поволжье, отличаются устойчивостью к болезням и урожайностью на уровне стандарта сорта Безенчукская 210 (табл. 4).

Линии 2119д-1(904), 2119д-2 (905), содержащие в геноме 75,0 % наследственности от образца к-10456 *Tr. dicoccum* Shuebl. и линия 1443д-1, в геноме которой 50,0 % наследственности от к-1946 *Tr. dicoccum* Shuebl. и 25,0 % наследственности от *Tr. aestivum* L. (сорт Тулайковская 5), используются в Самарском НИИСХ в качестве исходного материала в селекции на устойчивость к листовым пятнистостям и для расширения генетической основы, создаваемых сортов твердой

Табл. 3. Результаты изучения коллекции твердой пшеницы Самарского НИИСХ на инфекционном фоне желтой ржавчины (YR) и стеблевой ржавчины (SR расы – TTKSK, TTKST, TTTSK, TTKTK, TTKTT) в условиях Кении (2018 г.)

Генотип	Происхождение	Даты оценки в течение вегетации									
		19.09.		10.06.		28.08.		10.09.		18.10.	
		YR*	response	SR	response	SR	response	SR	response	SR	response
1816Д-5	Л1750/ 682Д-7// Л1752/ Л1750	40	MS	0	immune	0	immune	0	immune	5	M
Huperno	Australia	40	M	5	R	0	immune	5	R	10	M
Tammorei	Australia	30	M	5	RMR	1	MR	5	RMR	40	MSS
Italy 510	Italy	20	MR	0	immune	0	immune	0	immune	0	immune
Italy 511	Italy	35	MS	0	immune	0	immune	0	immune	0	immune
133/5 Krasnodar	Лилёк/Безенч. 205	35	MS	0	immune	0	immune	0	immune	10	R
к-29564 <i>Tr.dicoccum</i>	Коллекция ВИР	50	MS	30	M	5	MS	30	M	40	MSS
к-7353 <i>Tr.dicoccum</i>	Коллекция ВИР	50	MS	30	M	5	MS	30	M	40	MSS
к-59874 <i>Tr.durum</i>	Коллекция ВИР	40	M	0	immune	0	immune	0	immune	10	MS
Безенчукская 205	Валентина/ Гордеифор. 1434	40	MS	0	immune	0	immune	0	immune	20	M

*YR – желтая ржавчина; SR – стеблевая ржавчина; response – реакция (ответ на внедрение патогена); R – устойчивая реакция с небольшими пятнами (HR); MR – умеренно устойчивая с крошечными пустулами, окруженными хлоротическими или некротическими галло; RMR – устойчивая реакция на инфекции (R и MR); MS – умеренно восприимчивая с пустулами среднего размера с хлоротическими пятнами; M (MR-MS) – промежуточная как MR, так и MS; MSS – умеренно восприимчивая; S – чувствительная с большими свободно прорезывающимися пустулами без хлороза.

Табл. 4. Характеристика константных селекционных линий твёрдой пшеницы, полученных от межвидовых скрещиваний (2017–2020 гг.)

Линия	Генеалогия	Доля других видов в генотипе, %	Урожайность					Поражение патогенами (R...S)	
			2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2017–2020 гг., % к St	<i>Puccinia graminis</i>	листовые пятнистости
2021д-1	Л1753/694д-11	19,8	$\frac{4,20^*}{99,0}$	$\frac{1,21}{110,5}$	$\frac{1,96}{125,0}$	$\frac{3,20}{106,3}$	110,2	R/MR	R
2120д-1(857)	688д-7/к-10456//Б210	26,8	$\frac{5,26}{117,7}$	$\frac{2,00}{111,7}$	$\frac{2,11}{127,6}$	$\frac{2,34}{97,1}$	113,7	MR	R
2118д-1(903)	Безенчукская золотистая/к-10456//688д-2-2	37,5	$\frac{5,72}{115,0}$	$\frac{2,06}{94,2}$	$\frac{1,82}{97,9}$	$\frac{2,32}{92,2}$	99,8	MR	R
2119д-1(904)	688д-7/к-10456//к10456	75,0	$\frac{4,80}{95,0}$	$\frac{2,14}{97,8}$	$\frac{1,74}{93,3}$	$\frac{2,44}{97,1}$	95,8	R/MR	R
2119д-2(905)	688д-7/к-10456//к10456	75,0	$\frac{4,98}{98,6}$	$\frac{2,21}{101,0}$	$\frac{1,89}{94,3}$	$\frac{2,05}{81,7}$	93,9	R/MR	R
2121д-1(906)	688д-7/к-30091//Безенчукская210	26,8	$\frac{4,68}{97,5}$	$\frac{2,03}{92,9}$	$\frac{2,07}{103,4}$	$\frac{2,06}{81,8}$	93,9	MR/MS	R
1443д-1	682д-7/ к-1949	75,0	$\frac{4,32}{103,0}$	$\frac{0,82}{112,4}$	$\frac{1,34}{90,4}$	$\frac{2,50}{100,0}$	101,5	MR	R
1560д-35	646д-37/Марина	25,0	-	$\frac{1,13}{107,4}$	$\frac{1,88}{119,7}$	$\frac{1,97}{104,4}$	110,5	-	R

*в числителе – в т/га, в знаменателе – в % к стандарту

пшеницы. Наиболее продуктивные генотипы 2021д-1 и 2120д-1, содержащие в своем геноме 19,8...26,8 % наследственности от образца к-9938 *Tr. dicoccum* Shuebl., помимо включения в гибридизацию, будут переданы в систему государственного сортоиспытания для оценки перспектив их коммерческого использования. Все линии переданы для изучения в ФГБНУ ФАНЦА и в ФНЦ Биологических систем и агробиотехнологий (Оренбургского НИИСХ).

Аналогичные результаты получены на основе внутривидовых отдаленных эколого-географических скрещиваний образцов *Triticum durum* Desf. (табл. 5).

Все линии, полученные от скрещивания с образцами из Австралии (2287ДТ-1, 2301д-4, 2301д-5, 2499д-1, 2499д-3), в геноме которых содержится от 25,0 до 50,0 % наследственности австралийских сортов в среднем по эксперименту (4 сортоиспытания

в Самаре, Оренбурге и Барнауле) были конкурентоспособны по урожайности со средним стандартом. Ценны в селекционном отношении линии 2499д-1 и 2499д-3, достоверно превысившие по урожайности стандарт в Оренбурге в условиях сильной почвенной засухи в 2020 г. Эти линии (2499д-1 и 2499д-3) могут содержать ген *Naх-2*, обеспечивающий устойчивость к высокой концентрации солей в почвенном растворе и почвенной засухе. Отзывчивость на благоприятные условия среды, сложившиеся в Барнауле в 2020 г. отмечена у линий 2287ДТ-1 и 2241Д-3, при урожайности 4,26 т/га они достоверно (на 0,26 т/га) превысили стандарт. Все выделенные линии (см. табл. 5), отличаются высокой устойчивостью к листовым пятнистостям, 2284ДТ-1, 2241Д-3, 2301Д-5, 2499Д-1 к мучнистой росе. Линия 2499Д-1 имеет отличные реологические свойства теста.

Табл. 5. Урожайность константных селекционных линий, полученных индивидуальным отбором из популяций от отдаленных эколого-географических скрещиваний (Самарский НИИСХ, 2019–2020 гг.; Оренбургский НИИСХ и Алтайский НИИСХ, 2020 г.)

Сорт, происхождение	Доля в геноме линии экологически удаленных генотипов, %	Урожайность*				Средняя
		Самарский НИИСХ		Оренбург	Барнаул	
		2019 г.	2020 г.	2020 г.	2020 г.	
2287ДТ-1 Саргогои/653д-44	50,0	$\frac{2,49^*}{112,3}$	$\frac{2,59}{90,9}$	$\frac{1,47}{97,5}$	$\frac{4,26}{106,6}$	$\frac{2,70}{101,8}$
2241Д-3 (BS-5/1466д-7//1307д-51)	25,0	$\frac{2,21}{99,5}$	$\frac{2,86}{100,2}$	$\frac{1,69}{111,7}$	$\frac{4,26}{111,6}$	$\frac{2,70}{105,8}$
2301д-4 Linie 5046 (Naх1)/1307д-51	50,0	$\frac{2,13}{96,0}$	$\frac{2,97}{104,1}$	$\frac{1,59}{105,4}$	$\frac{3,82}{95,5}$	$\frac{2,63}{100,3}$
2301д-5 Linie 5046 (Naх1)/1307д-51	50,0	$\frac{2,62}{118,0}$	$\frac{2,67}{93,8}$	$\frac{1,51}{100,0}$	$\frac{4,10}{102,6}$	$\frac{2,73}{103,6}$
2499д-1 Naх-2/Золотая//БН	25,0	$\frac{2,37}{106,8}$	$\frac{2,97}{104,1}$	$\frac{1,90}{125,9}$	$\frac{3,75}{93,8}$	$\frac{2,75}{107,7}$
2499д-3 Naх-2/Золотая//БН	25,0	$\frac{2,02}{91,1}$	$\frac{2,90}{101,9}$	$\frac{1,75}{115,6}$	$\frac{4,03}{100,8}$	$\frac{2,68}{102,4}$
Урожайность стандартов, т/га	-	2,22	2,85	1,51	4,00	$\frac{2,65}{100,0}$
HCP _{0,05}		0,18	0,22	0,14	0,25	

*в числителе – в т/га, в знаменателе – в % к стандарту

Геномы всех линий, полученных как в межвидовых, так и во внутривидовых скрещиваниях имеют значительную долю (25,0...75,0 %) чужеродного, относительно средневожского генетического пула твердой пшеницы, наследственного материала. Учитывая, что по урожайности они не уступают стандартам, можно предположить наличие у этих образцов эффективных генетических систем адаптивности, отличающихся по аллельному составу от сформировавшихся коадаптированных блоков генов.

Созданный селекционный материал предполагает широко использовать в новых циклах гибридизации, некоторые из линий (2021д-1, 2120д-1, 2499д-1, 2499д-3), перспективны для передачи в систему государственного сортоиспытания с последующим коммерческим использованием.

Таким образом, по результатам эколого-географических испытаний в системе КАСИБ (экопункты Актобе, Карабалык, Самара, Омск, Барнаул) в течение 10 лет из 121 сорта и линии, созданных в 8-и учреждениях России и Казахстана отобрано 15 генотипов по величине и стабильности урожайности, которые предложено использовать в качестве базовых в зависимости от их локальных преимуществ. В том числе для всех экопунктов рекомендованы линии 653Д-44, 688Д-4, Леукурум 1307Д-51, Леукурум 1506, Гордеиформе 1591Д-21 (оригинатор Самарский НИИСХ), Гордеиформе 677 (оригинатор Омский АНЦ), Гордеиформе 01-121-3 (оригинатор ФАНЦ Алтайский).

В эпифитотийные годы в экопункте Самара в коллекции и селекционном материале отобраны 41 источник и 22 донора устойчивости к фузариозной пятнистости, а также 15 источников устойчивости к стеблевой ржавчине. На инфекционном фоне в Кении идентифицированы 2 образца (Italy 510 и Italy 511) иммунных к сложной популяции стеблевой ржавчины и местной популяции желтой ржавчины и 6 форм (1816Д-5, Нуретно, Таммогой, 133/5, к-59874 и Безенчукская 205) устойчивых к стеблевой ржавчине с умеренным поражением в фазе восковой спелости зерна.

В результате многолетней селекционной работы на основе межвидовых и отдаленных эколого-географических скрещиваний создан и идентифицирован как продуктивный в условиях Среднего Поволжья селекционный материал, содержащий от 20,0 до 75,0 % наследственного материала других видов (8 линий) и отдаленных скрещиваний (6 линий). Его предполагается использовать в качестве исходного для расширения генетического разнообразия коммерческих сортов.

Литература

1. Вавилов Н.И. Мировые ресурсы сортов хлебных злаков, зерновых бобовых, льна и их использование в селекции. Пшеница. М.: Наука, 1964. 123 с.
2. Мережко А.Ф. Принципы поиска, создания и использования доноров ценных признаков в селекции растений // Идентифицированный генофонд растений и селекция. СПб.: ВИР, 2005. С.189–205.
3. Жученко А.А. Перспективы использования мировых растительных ресурсов в селекции растений // Генетические основы селекции: материалы Всеросс. школы молодых селекционеров им. С. А. Кунакбаева. Уфа: БашНИИСХ, 2008. С. 11–20.
4. Malchikov P.N., Myasnikova M.G. Formation of gene associations that code for general homeostasis and performance components of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) // *Russian Journal of Genetics: Applied research*. 2016. Vol. 6. No. 4. P. 357–366. doi: 10.1134/S2079059716040146.
5. Genomic resources in plant breeding for sustainable agriculture / M. Thudi, R. Palakurthi, J. C. Schnable, et al. // *Journal of Plant Physiology*. 2021. Vol. 257. 153351. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0176161720302418?via%3Dihub> (дата обращения: 22.08.2021). doi: 10.1016/j.jplph.2020.153351
6. Harnessing Diversity in Wheat to Enhance Grain Yield, Climate Resilience, Disease and Insect Pest Resistance and Nutrition Through Conventional and Modern Breeding Approaches / S. Mondal, J.E. Rutkoski, G. Velu, et al. // *Front. Plant Sci*. 2016. Vol. 7. P. 991. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00991/full> (дата обращения: 24.08.2021). doi: 10.3389/fpls.2016.00991.
7. A Whole Genome *DarT* seq and SNP Analysis for Genetic Diversity Assessment in Durum Wheat from Central Fertile Crescent / F.S. Baloch, A. Alsaleh, M.Q. Shahid, et al. // *PLoS ONE*. 2017. Vol. 1. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0167821> (дата обращения: 13.08.2021). doi: 10.1371/journal.pone.0167821.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
9. Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.
10. Saari E.E, Prescott J.M. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases // *PlantDis. Rep*. 1975. Vol. 59.P. 377–380
11. Mc Intosh R.A., Wellings C.R., Park R.F. Wheat rust: an atlas of resistance genes. Australia: CSIRO, 1995. 205 p.

Поступила в редакцию 21.08.2021

После доработки 17.09.2021

Принята к публикации 06.10.2021

РОЛЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ СРЕДСТВ В ОПТИМИЗАЦИИ ФИТОСАНИТАРНОЙ ОБСТАНОВКИ В НАСАЖДЕНИЯХ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

А.С. Зейналов, доктор биологических наук

Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства,
115598, Москва, ул. Загорьевская, 4
E-mail: adzejnalov@yandex.ru

Исследования проводили с целью определения эффективности и роли биопрепаратов и регуляторов роста растений в оптимизации фитосанитарной обстановки в насаждениях земляники садовой. Работу выполняли в 2018–2020 гг. в Московской области в условиях открытого и защищенного грунта, на двух сортах короткого светового дня – Кама и Мармалада. Опыт по изучению биологической эффективности биофунгицидов и элиситоров закладывали в 3-кратной повторности, по 180 растений в повторении. Эффективность препарата Фитоверм, КЭ (2г/л) определяли в открытом грунте в 4-кратной повторности, по 80 растений в повторении, в защищенном грунте – в 10-кратной повторности, по 30 растений в повторении. Объекты исследований – земляничный клещ (*Phytonemus pallidus* (Banks) spp. *fragariae* (Zimm.) Lindquist), паутиновые клещи (*Tetranychus* spp.), белокрылка (*Aleurodes fragariae* Walk.), серая гниль (*Botrytis cinerea* Pers.), бурая пятнистость (*Marssonina potentillae* f. *fragariae* (Desm.) Magn. f. *fragariae* (Lib.) Ohl.), белая пятнистость (*Ramularia tulasnei* Sacc.), активно развивающиеся в период созревания и сбора урожая, когда не допускается применение химических средств защиты растений. В борьбе с болезнями высокую биологическую эффективность (82,2...96,2 %) продемонстрировали биофунгициды (Алирин-Б, СП и Фитоспорин-М, Ж) при совместном использовании с элиситорами, регуляторами роста растений (Циркон, Р и Альбит, ТПС), среди которых выделялась комбинация Алирин-Б, СП + Альбит, ТПС с эффективностью 90,7...96,2 %. При подавлении *Tetranychus* spp. как в открытом, так и в защищенном грунте эффективными были все испытанные нормы внесения препарата Фитоверм, КЭ (2 г/л) – 85,3...98,4 %. В борьбе с *Ph. pallidus* и *A. fragariae* высокую эффективность Фитоверм показал в концентрациях 0,3 % и 0,4 % – соответственно 80,3...82,1 и 85,6...92,7 %.

THE ROLE OF BIOLOGICAL AND ENVIRONMENTALLY SAFE PRODUCTS IN OPTIMIZING THE PHYTOSANITARY ENVIRONMENT IN STRAWBERRY PLANTS

Zeynalov A.S.

Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery,
115598, Moskva, ul. Zagor'evskaya, 4
E-mail: adzejnalov@yandex.ru

The aim of the research was to determine the effectiveness and role of biological products, elicitors, plant growth regulators in optimizing the phytosanitary situation in the plantations of garden strawberries. The studies were carried out in 2018–2020. at the Federal State Budgetary Scientific Organization «Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery» (FSBSIARHCBAN) in open and protected ground, on two varieties of short daylight hours - Kama and Marmalada. The experiment on studying the biological effectiveness of the use of biofungicides and elicitors was laid in 3 replicates, with 180 plants in each replication. The study of the effectiveness of Fitoverm, EC (2g / L) in pest control was carried out in the open field in 4 replicates, with 80 plants in each replication, and in protected ground in 10 replicates, with 30 plants in each replication. The objects of research were strawberry mite (*Phytonemus pallidus* (Banks) spp. *fragariae* (Zimm.) Lindquist), spider mites (*Tetranychus* spp.), whitefly (*Aleurodes fragariae* Walk.), gray rot (*Botrytis cinerea* Pers.), brown spot (*Marssonina potentillae* f. *fragariae* (Desm.) Magn. f. *fragariae* (Lib.) Ohl.), white spot (*Ramularia tulasnei* Sacc.), actively developing during ripening and harvesting, when the use of chemical remedies is not allowed plants. In the fight against diseases, biofungicides (Alirin-B, SP and Fitosporin-M, Zh) demonstrated high biological effectiveness when used together with elicitors, plant growth regulators (Zircon, R and Albit, TPS) - from 82.2% to 96.2 %, where, among other options, the combination of Alirin-B, SP + Albit, TPS differed significantly with an efficiency from 90.7% to 96.2%. When *Tetranychus* spp. both in the open and in the protected ground, all tested application rates of were effective Fitoverm, CE (2 g / l) - from 85.3% to 98.4%. In the fight against *Ph. pallidus* and *A. fragariae*, Fitoverm showed high efficiency at concentrations of 0.3% and 0.4%, respectively, from 80.3% to 82.1% and from 85.6% to 92.7%.

Ключевые слова: вредители, болезни, фитосанитария, биологические средства, *Fragaria x ananassa* Duch

Key words: pests, diseases, phytosanitary, biological agents, *Fragaria x ananassa* Duch

Земляника садовая (*Fragaria x ananassa* Duch.) наиболее популярная во всем мире и широко распространенная ягодная культура, плоды которой обладают превосходными десертными и вкусовыми качествами, богаты витаминным комплексом и антиоксидантами [1, 2, 3]. Эта культура выделяется быстрой окупаемостью затрат даже при 1...2-летней эксплуатации плодоносящих плантаций, рекомендуется для выращивания в полностью контролируемых, дистанционно управляемых условиях, в так называемых вертикальных фермах [4, 5, 6]. Растения земляники повреждаются и поражаются многочисленными вредными организмами (насе-

комыми, клещами, нематодами, грибными и другими патогенами), которые снижают продуктивность растений, а также могут приводить к их гибели [7, 8, 9]. Для защиты насаждений земляники садовой от вредителей и болезней требуется разработка комплексных систем защиты, учитывающих особенности развития культуры и вредных организмов, подбор сортов, качество посадочного материала, соблюдение всех необходимых организационно-агротехнических, профилактических и фитосанитарных мероприятий [10, 11, 12]. Нередко приходится использовать средства защиты. При этом ассортимент инсекто-акарицидов и фунгицидов, разре-

шенных для применения на землянике, сильно ограничен для обеспечения соблюдения гигиенических требований. В период от начала цветения до конца сбора урожая, когда многие опасные вредные организмы (земляничный и паутинные клещи, возбудители гнилей ягод, пятнистостей и др.) интенсивно развиваются и распространяются, применение химических средств практически не допускается. Накопление вредителей и возбудителей болезней, а также слабый контроль за их деятельностью в этот период приводит к ослаблению растений и значительному уменьшению урожая. Предотвратить потери и сохранить экологическую безопасность ягод может включение в систему защиты земляники садовой биопрепаратов и элиситоров [13, 14, 15]. В этом плане могли бы обеспечить надежную защиту посадок культуры от опасных фитофагов и болезней такие препараты, как Фитоспорин и Алирин-Б, активно подавляющие широкий круг патогенов наземных органов и корневой системы разных сельскохозяйственных культур, не имеющие срок ожидания, а также Фитоверм, обладающий активными инсектицидными и акарицидными свойствами, имеющий короткий срок ожидания. Возможность совместного применения с биопрепаратами элиситоров Циркон и Альбит могла бы значительно активизировать механизмы защиты, повысить урожайность и устойчивость растений к вредным организмам.

Цель исследований – определение эффективности и роли биопрепаратов и регуляторов роста растений в оптимизации фитосанитарной обстановки в насаждениях земляники садовой.

Методика. Работу проводили в 2018–2020 гг. в насаждениях земляники садовой Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства» (ФГБНУ ФНЦ Садоводства, Ленинский район, Московская обл. – 55,47° с.ш., 37,7° в.д., 124 м над у. м.) в условиях открытого и защищенного грунта, на двух сортах короткого светового дня – Кама и Мармалада. Учет численности фитофагов, степени поврежденности и пораженности растений земляники садовой вредными организмами осуществляли в соответствии с действующими рекомендациями [16, 17, 18]. При проведении защитных мероприятий руководствовались общепринятыми и оригинальными методиками [7, 19, 20]. Опыт по изучению биологической эффективности применения биофунгицидов и элиситоров закладывали в 3-кратной повторности, со 180 растениями в каждой повторности. Биопрепаратом Фитоспорин-М, Ж проводили три обработки – одну до цветения и две – после цветения; препаратом Циркон – одну обработку в фазе бутонизации; химическим фунгицидом Луна Транквилити, КС (эталон) – две обработки до и сразу после цветения. Эффективность препарата Фитоверм в борьбе с вредителями в открытом грунте изучали в 4-кратной повторности с 80 растениями в каждой (проводили 3 обработки – одну до цветения и две после цветения), в защищенном грунте – в 10-кратной повторности с 30 растениями в каждой (проводили 2 обработки с интервалом в 2 недели). Действующее вещество биофунгицид Фитоспорин – бактерии *Bacillus subtilis*, штамм 26 Д; Алирин-Б – *Bacillus subtilis*, штамм В-10 ВИЗР. Препарат Фитоверм создан на основе авермектина, продуцируемых культурами актиномицета *Streptomyces avermitilis* (аверсектин С, представляющий собой природный комплекс из 8 авермектинов). Действующее

вещество элиситора (регулятор роста растений) Циркон – гидроксикоричная кислота, Альбит – поли-бета-гидроксимасляная кислота + магниевый сернокислый + калий фосфорнокислый двухзамещенный + калий азотнокислый + карбамид. Идентификацию отдельных вредных организмов проводили по общепринятым методикам [7, 21, 22]. Биологическую эффективность (БЭ) защитных мероприятий рассчитывали по формулам Аббота, Хендерсона и Тильтона, статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием многогранового t-критерия Дункана и пакета программы Microsoft Excel [23, 24, 25].

Результаты и обсуждение. В борьбе с такими наиболее вредоносными болезнями, интенсивно развивающимися в период от начала цветения до окончания сбора урожая земляники садовой, как серая гниль (*Botrytis cinerea* Pers.), белая (*Ramularia tulasnei* Sacc.) и бурая (*Marssonina potentillae* f. *fragariae* (Desm.) Magn. f. *fragariae* (Lib.) Ohl.) пятнистости высокую биологическую эффективность продемонстрировало совместное применение биофунгицидов и регуляторов роста растений (табл. 1). Экологическая безопасность таких средств обуславливает возможность их использования в любой критический период (в соответствии с имеющимися особенностями и складывающимися условиями), когда нельзя применять химические препараты для своевременного подавления очагов интенсивного развития и размножения вредных организмов, пресечения эпифитотий.

Практически все комбинации с использованием биологических средств, благодаря возможности применения в оптимальные для подавления болезней сроки, показали эффективность выше, чем эталон – химический фунгицид Луна Транквилити, КС (125 + 375 г/л). Более результативными оказались схемы Фитоспорин-М, Ж + Циркон, Р; Алирин-Б, СП + Циркон, Р; Фитоспорин-М, Ж + Альбит, ТПС; Алирин-Б, СП

Табл. 1. Биологическая эффективность биофунгицидов и элиситоров в борьбе с болезнями земляники садовой (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант	Норма расхода препарата, л, кг/га	Биологическая эффективность подавления болезней в среднем, %		
		сг*	буп*	бп*
Фитоспорин-М, Ж	2	74,1***	78,7 ^{ab}	80,1 ^b
Алирин-Б, СП	0,04	79,5 ^{ab}	84,3 ^{bc}	85,6 ^{bc}
Фитоспорин + Алирин-Б	2 + 0,04	76,8 ^a	79,8 ^{ab}	77,0 ^{ab}
Фитоспорин-М, Ж + Циркон, Р	2 + 0,03	82,2 ^b	88,3 ^{cd}	86,3 ^c
Алирин-Б, СП + Циркон, Р	0,04 + 0,03	85,4 ^{bc}	92,4 ^d	91,1 ^d
Фитоспорин-М, Ж + Альбит, ТПС	2 + 0,04	86,5 ^c	93,7 ^{de}	94,1 ^{de}
Алирин-Б, СП + Альбит, ТПС	0,04 + 0,04	90,7 ^d	94,5 ^{de}	96,2 ^e
Луна Транквилити, КС (стандарт)	0,8	75,8 ^a	73,3 ^a	78,0 ^{ab}
Контроль (без обработки)	-	-	-	-

*сг – серая гниль, буп – бурая пятнистость, бп – белая пятнистость.
 **одинаковые буквы при цифровых значениях означают отсутствие существенных различий между ними при $p \leq 0,05$ (для каждой болезни отдельно).

+ Альбит, ТПС (сочетание биофунгицидов и элиситоров), среди которых выделялся вариант с совместным использованием препаратов Алирин-Б и Альбит (биологическая эффективность от 90,7 % до 96,2 %), существенно превосходивший другие варианты при подавлении всех трех болезней. В контроле развитие серой гнили достигало 28,9 %, бурой пятнистости – 17,8 %, белой пятнистости – 15,1 %.

Земляничный прозрачный клещ (*Phytonemus pallidus* (Banks) spp. *fragariae* (Zimm.) Lindquist) – самый агрессивный вредитель земляники садовой, который встречается во всех регионах возделывания культуры и относится к скрытноживущим, трудноподавляемым фитофагам. Он ежегодно наносит существенный вред насаждениям в течение всей вегетации. Наряду с резким снижением продуктивности, он может приводить к гибели растений, особенно массово при сочетании с комплексом стрессовых биотических и абиотических факторов среды (засуха, жара, поврежденность и пораженность другими вредными организмами, засоренность плантации сорняками). В последние годы возросла вредоносность паутинных клещей (*Tetranychus* spp.), особенно в сухие, теплые (жаркие) периоды, которые из-за глобального потепления становятся нередкостью в средней полосе России. Период вспышки численности этих фитофагов приходится на время созревания и сбора урожая, когда невозможно использовать акарициды химического происхождения. По результатам наших исследований, эффективным средством для подавления развития этих вредителей на землянике может быть биопестицид Фитоверм, имеющий очень короткий (3 дня) срок ожидания, что дает возможность применять этот препарат не только в период созревания урожая, но и в перерывах между сборами, если возникнет критическая ситуация.

Подавление паутинных клещей на землянике садовой препаратом Фитоверм было высокоэффективным во всех вариантах – от 85,3 % до 98,4 % (табл. 2). Против земляничного клеща наибольшую биологическую эффективность отмечали при использовании Фитоверм в концентрации 0,3 % и 0,4 % – соответственно 80,3 % и 85,6 %. Аналогичная картина отмечена при подавлении белокрылки (*Aleurodes fragariae* Walk.), которая в последние годы становится более вредоносной на растениях земляники садовой, что, возможно, также связано с изменениями климата. Эффективность препарата составила соответственно 82,1 % и 92,7 %.

Достаточно высокую биологическую эффективность биопестицид Фитоверм показал в защищенном

Табл. 2. Биологическая эффективность препарата Фитоверм, КЭ (2 г/л) в борьбе с вредителями земляники садовой (среднее за 2019–2020 гг.)

Вариант, концентрация препарата в рабочем растворе	Средняя биологическая эффективность подавления вредителей, %		
	зк*	пк*	бк*
Контроль (без обработки) **	71	27	18
Фитоверм (0,2 %)	69,4 ****	85,3 ^a	71,2 ^a
Фитоверм (0,3 %)	80,3 ^b	93,1 ^b	82,1 ^b
Фитоверм (0,4 %)	85,6 ^c	98,4 ^c	92,7 ^c

*зк – земляничный клещ, пак – паутинный клещ, бк – белокрылка;
 **численность подвижных особей на 1 лист после обработки (абсолютные величины).
 ****при p≤0,05 (для каждого вредителя отдельно).

Табл. 3. Биологическая эффективность обработки земляники садовой препаратом Фитоверм, КЭ (2 г/л) в борьбе с паутинными клещами в условиях защищенного грунта (2020 г.)

Вариант, концентрация препарата в рабочем растворе	Численность клещей до обработки (в среднем на 1 лист)	Биологическая эффективность подавления вредителей, %
Контроль (без обработки)	37	-
Фитоверм (0,2 %)	34	90,2 ^{a*}
Фитоверм (0,3 %)	40	95,5 ^b

* при p≤0,05.

грунте в борьбе с паутинными клещами в концентрации как 0,2 %, так и 0,3 % (соответственно 90,2 % и 95,5 %), несмотря на существенность различия между этими вариантами (табл. 3). Следует иметь в виду, что в теплицах температура воздуха нередко поднимается выше 35...40 °С. Это создает благоприятные условия для развития паутинных клещей, и они могут давать новое поколение через каждый 9...12 дней.

Таким образом, включение в систему защиты земляники садовой от вредных организмов биологических средств и возможность их использования в течение всей вегетации, в том числе перед цветением не только резко снижает пестицидную нагрузку на растения и окружающую среду, но и предоставляет возможность полностью экологизировать систему защиты культуры. Обеспечивается экологическая безопасность ягод земляники садовой, которые употребляются в основном в свежем виде, и рекомендуются для детского и диетического питания.

Возможность использования биопрепаратов в предуборочный период, а также, при необходимости, в перерывах между очередными сборами, предотвращает значительные потери урожая, обеспечивает его высокое качество, особенно во влажные годы, когда гнили массово поражают не только спелые, но и зеленые ягоды. Существенным дополнением к использованию биопрепаратов служит применение регуляторов роста растений, активизирующих фенотипическую системную индуцированную устойчивость растений к патогенам, а также естественные защитные реакции растительных клеток на стресс-факторы. Важное значение имеют профилактические обработки элиситорами как самих растений, так и ягод, учитывая, что для системной индуцированной устойчивости характерно не искореняющее фунгицидное, а фунгистатическое действие, напоминающее горизонтальный тип устойчивости к вредным организмам.

Литература

1. Козлова И.И., Лукьянчук И.В., Жбанова Е.В. Сортимент и технология производства высококачественных ягод земляники садовой // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 2. С. 45–49.
2. Зарипова В.М., Басырова А.З., Шафиков Р.А. Перспективные сорта земляники и жимолости в условиях Башкортостана // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 8. С. 55–58.
3. Марченко Л.А. Земляника садовая: оценка отечественного сортимента и направления селекции // *Аграрный вестник Урала*. 2020. № 12 (203). С. 50–60. doi: 10.32417/1997-4868-2020-203-12-50-60.
4. *The Status and Future of the Strawberry Industry in the United States* / J.B. Samtani, C.R. Rom, H. Friedrich, et

- al. // *Hort Technology*. 2019. Vol. 29 (1). P. 11–24. doi: <https://doi.org/10.21273/horttech04135-18>.
5. Geisseler D., Horwath W.R. 2014. *Strawberry production in California*. 28 Nov. 2018. <http://apps.cdfa.ca.gov/frep/docs/Strawberry_Production_CA.pdf>
 6. Anda J., Shear H. *Potential of Vertical Hydroponic Agriculture in Mexico // Sustainability*. 2017. No. 9 (1). P. 140. URL. http://www.researchgate.net/journal/2071-1050_Sustainability (дата обращения 11.03.2021). doi: 10.3390/su9010140.
 7. Зейналов А.С. *Атлас-справочник основных вредителей и болезней ягодных культур и мер борьбы с ними*. М.: ООО «Агролига», 2016. 240 с.
 8. Патокомплекс почвенных микромицетов, ассоциирующихся с корневыми и прикорневыми гнилями земляники, в некоторых регионах России / С.Е. Головин, А.П. Глинушкин, И.А. Зеркалов и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. № 7. С. 62–70.
 9. Liburd O., Rhodes E. *Management of strawberry insect and mite pests in greenhouse and field crops*. 2019. URL. <https://www.intechopen.com/books/strawberry-pre-and-post-harvest-management-techniques-for-higher-fruit-quality/management-of-straw-berry-insect-and-mite-pests-in-greenhouse-and-field-crops>. doi: 10.5772/intech-open.82069. (дата обращения 06.04.2021).
 10. Зейналов А.С., Чурилина Т.Н. *Критерии эффективности современных методов защиты земляники от основных вредных организмов // Субтропическое и декоративное садоводство*. 2020. Т. 74. С. 148–159. doi: 10.31360/2225-3068-2020-74-148-159.
 11. *The current progress in strawberry breeding in China* / Y. Zhang, G. Wang, J. Dong, et al. // *Acta Horticulturae*. 2017. Vol. 1156. P. 7–12. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1156.2.
 12. *Progress in strawberry breeding at NIAB-EMR, East Malling, UK* / A. B. Whitehouse, D.W. Simpson, A.W. Johnson, et al. // *Acta Horticulturae*. 2017. Vol. 1156. P. 69–74. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1156.9.
 13. Тютерев С.Л. *Индукцированный иммунитет к болезням и перспективы его использования // Защита и карантин растений*. 2005. № 4. С. 21–26.
 14. *Применение бактериальных биопрепаратов серии Фитон при промышленном выращивании садовой земляники* / А.А. Беляев, А.И. Лемяк, А.А. Лемяк и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. Т. 31. № 5. С. 20–23.
 15. *The Strawberry Plant Defense Mechanism: A Molecular Review* / F. Amil-Ruiz, R. Blanco-Portales, J. Muñoz-Blanco, et al. // *Plant and Cell Physiology*. 2011. Vol. 52 (11). P. 1873–1903. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcr136>.
 16. Метлицкий О.З., Холод Н.А., Ундрицова И.А. *Грибные болезни цветов и плодов садовой земляники и меры борьбы с ними (аналитический обзор): депонированная рукопись*. М.: ВНИИТЭИ Агротром, 2000. № 18 ВС. 182 с.
 17. Labanowska B. H., Gajek D. *Szkodniki krzewow jagodowych*. Krakow: Plantpress, 2001. 172 s.
 18. Зейналов А.С., Головин С.Е., Метлицкая К.В. *Ресурсосберегающие экологически обоснованные системы защиты ягодных культур от вредителей и болезней (методические рекомендации)*. М.: ВСТИСП, 2012. 148 с.
 19. Fitzgerald J., Easterbrook M.A. *Phytoseiids for control spider mite, Tetranychus urticae and tarsonemid mite, Phytoneumus pallidus, on strawberry in UK // Bulletin OILB/SROP*. 2003. Vol. 26 (2). P. 107–111.
 20. *Topical application of inducers for disease control. Induced resistance for Plant Defense: A Sustainable Approach to Protection* / P. Reignault, D. Walters, R. Walters, et al. Oxford, Blackwell: Publishing Ltd., 2007. P. 179–200.
 21. *Определитель вредных и полезных насекомых и клещей плодовых и ягодных культур в СССР* / В.С. Великань, А.М. Гегечкори, В.Б. Голуб и др.; Сост. Л. М. Копанева. Л.: Колос, 1984. 288 с.
 22. *Общая и молекулярная фитопатология* / Ю.Т. Дьяков, О.Л. Озерецковская, В.Г. Джавахия и др. М.: Общество фитопатологов, 2001. 302 с.
 23. Литтл Т., Хилз В. *Сельскохозяйственное опытное дело. Планирование и анализ (перевод с англ.)*. М.: Колос, 1981. 319 с.
 24. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта*. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
 25. Püntener W. *Manual for field trials in plant protection / 2-nd. ed. Basile: Documenta Ciba-Geigy*, 1981. 205 p.

Поступила в редакцию 12.05.2021
 После доработки 07.07.2021
 Принята к публикации 07.09.2021

Агрочоведение и агроэкология

УДК 632.523

DOI: 10.31857/S2500262721060090

**ДЕТЕКТИРОВАНИЕ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО
(*Heracleum sosnowskyi* MANDEN.) НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СЪЕМКИ
С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА*****И.Ю. Савин^{1,2}, академик РАН, Д.П. Андронов², аспирант,
Е.А. Шишконокова¹, кандидат географических наук, Ю.И. Вернюк^{1,2}**¹Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,
119017, Москва, Пыжевский переулок, 7, стр.2²Институт экологии Российского университета дружбы народов,
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6
E-mail: savin_iyu@esoil.ru.

В последние годы как в России, так и за рубежом значительно увеличились площади, занятые борщевиком Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.), что привело к необходимости разработки надежных методов мониторинга его ареалов. С этой целью была проведена оценка возможностей детектирования борщевика Сосновского по данным съемки территории с использованием беспилотного летательного аппарата. Исследования проведены на примере ключевого участка в Тверской области площадью 70 га, где борщевик Сосновского произрастает небольшими массивами на заброшенных участках, соседствующих с распаханными полями. Съемку проводили 30 июня 2021 г. в фазе цветения борщевика с высоты 100 метров с использованием беспилотного летательного аппарата DJI Matrice 200, оснащенного гиростабилизированной камерой Zenmuse X4S, ведущей съемку в видимом спектральном диапазоне. Полученное цветное изображение было разложено на три канала (R, G и B). После этого последовательно провели несколько классификаций с обучением для выделения соцветий и листьев борщевика. После объединения карт соцветий и карт листьев была получена карта распространения борщевика на территории исследований. Ее точность оценивали на основе построения матрицы ошибок классификации, и она составила более 95 %. Следовательно, растения борщевика Сосновского в фазе цветения могут быть успешно автоматизированно детектированы по изображениям, получаемым с беспилотного летательного аппарата с помощью стандартной фотокамеры. При этом, в отличие от спутниковой съемки, алгоритм детектирования для каждой мозаики изображения, полученного с беспилотного летательного аппарата индивидуален. Это предопределяют специфика съемки, тип наземного покрова территории исследований (особенно тип растительного покрова), а также фенофаза борщевика в момент съемки. Использование разработанного алгоритма на других территориях невозможно без его адаптации. Точность детектирования может быть повышена путем подбора оптимального срока съемки или с использованием мультитременных изображений.

**DETECTION OF SOSNOWSKY'S HOGWEED (*Heracleum sosnowskyi* MANDEN.)
BASED ON UAV SURVEY DATA****Savin I.Yu.^{1,2}, Andronov D.P.², Shishkonakova E.A.¹, Vernyuk Yu.I.^{1,2}**¹V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
119017, Moskva, Pyzhevskii pereulok, 7, str.2²Institute of Environmental Engineering, People's Friendship University of Russia (RUDN University),
117198, Moskva, ul. Miklukho-Maklaya, 6
E-mail: savin_iyu@esoil.ru

The areas occupied by Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) have significantly increased in recent years both in Russia and abroad, which has led to the necessity of developing reliable methods of monitoring its habitats. The possibilities of detecting Sosnowsky's hogweed by means of territory survey using an unmanned aerial vehicle have been evaluated. The research was carried out on the example of the key 70 ha area in the Tver region where Sosnowsky's hogweed grows in small massifs on the abandoned plots next to plowable fields. The area was photographed on June 30, 2021, in the growth phase of hogweed from the altitude of 100 meters using unmanned aerial vehicle DJI Matrice 200 equipped with Zenmuse X4S gyrostabilized camera shooting in the visible range. The resulting color image was decomposed into three channels (R, G, and B). After that, several training classifications were performed to distinguish inflorescences and leaves of hogweed. After combining the inflorescence and leaf maps, we obtained a map of hogweed distribution in the study area. Its accuracy was estimated on the basis of the classification error matrix, and it was more than 95%. Consequently, plants of Sosnowsky's hogweed can be successfully detected by automated detection of images taken by an unmanned aerial vehicle with a standard camera during the flowering phase of the plants. It appeared that in contrast to satellite imagery, the detection algorithm for each mosaics of the drone images is individual. This is predetermined by the specifics of imaging, the type of ground cover of the study area (especially the type of vegetation cover), as well as the phenophase of hogweed at the time of imaging. It is impossible to use the developed algorithm on other territories without its adaptation. The detection accuracy can be improved by selecting the optimal time of survey or by using multitemporal images.

Ключевые слова: борщевик Сосновского, беспилотный летательный аппарат, мониторинг растительности, классификация изображений

Key words: Sosnowsky's hogweed, unmanned aerial vehicle, vegetation monitoring, image classification

Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) – эндемик кавказской флоры, который вместе с еще одним кавказским эндемичным борщевиком Мантегацци (*Heracleum mantegazzianum* Somm. et Levier),

распространенным преимущественно в Западной и Центральной Европе, входит в группу «гигантских борщевиков». Растения *H. sosnowskyi* могут достигать 5...6 м в высоту, диаметр главного зонтика – 1,0...1,3 м, диаметр

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российской Федерации (соглашение с Минобрнауки России № 075-15-2020-909 от 16 ноября 2020 г.) и в рамках Программы стратегического академического лидерства РУДН.

розетки листьев – 3 м [1]. Вид относится к монокарпикам, размножается семенами, причём одно растение в зависимости от размеров и места произрастания продуцирует, по данным разных авторов, от 5 000 до 100 000 семян [1, 2, 3]. *H. sosnowskyi* нитрофильный, светлюбивый, холодостойкий вид, что позволяет ему успешно произрастать в северных широтах [4].

Борщевик Сосновского отличается быстрым ростом, большой вегетативной массой, способностью давать 2...3 урожая за год, неприхотливостью. В то же время он предпочитает плодородные достаточно влажные нейтральные рыхлые супесчаные, легко- и среднесуглинистые почвы. В неблагоприятных условиях (на тяжелых глинистых, бедных, кислых, неплодородных почвах) растение имеет значительно меньшие размеры [1, 5, 6].

H. sosnowskyi продуцирует большое количество семян. Значительная масса семени (12...14 мг) обуславливает его опадение в основном вблизи материнского растения, в то же время зафиксировано поселение молодых экземпляров вида в радиусе до 5...6 м от него. Распространение семян успешно происходит в зимних условиях – по снегу, по ровной поверхности заледенелых дорог, в последнем случае дальность перемещения зонтиков может составлять сотни метров [4, 7, 8].

Площади, занятые борщевиком Сосновского (*Heraclenum sosnowskyi* Manden.) в последние годы как в России, так и за рубежом сильно увеличились. Скорость распространения вида такова, что, например, в Талдомском районе Московской области его ареалы за 10 лет расширились в 10 раз [9]. Суммарная площадь, занятая *H. sosnowskyi* в Московской области, оценивается в 16,5 тыс. га, в ее северо-западных районах доля таких земель достигает нескольких процентов от общей площади, а на территории отдельных поселений превышает 4 % [10]. В Ленинградской области растения этого вида ежегодно захватывают до 5 % новых территорий [11]. Сходная ситуация складывается на севере Европейской части России, где в радиусе 100 км вокруг Сыктывкара сообщества, с доминированием *H. sosnowskyi*, в начале 2010 гг. занимали около 150 га [12]. Масштабы инвазии этого вида до сих пор трудно оценить, так как он еще полностью не использовал свой потенциал и границы вторичного ареала окончательно не установились [13]. По данным некоторых авторов, к 2015 г. *H. sosnowskyi* уже занимал от 20 до 40 % сельскохозяйственных угодий Северной Евразии [14]. В Польше инвазиями кавказских борщевиков поражены более 50 % лесных районов [15]. В России крупные инвазии борщевика Сосновского ус-тановлены в 54 субъектах Федерации [16]. Для стран Центральной Европы (Германия, Чехия) проблема инвазии гигантских видов рода *Heraclenum* также актуальна, поскольку там активно расселяется *H. mantegazzianum* [17, 18, 19].

Массовое культивирование *H. sosnowskyi* происходило в 60–70 гг., при-чем наиболее масштабно его внедряли в практику с середины 70-х гг. В СССР посе-вы культуры были сосредоточены, в основном, в северо-западных и центральных областях России, в Прибалтике, Белоруссии и на Украине. В качестве экспериментального вида его завезли на Дальний Восток. Выращивали борщевик Сосновского и в странах Восточной Европы – БНР, ВНР, ГДР, ПНР, ЧССР [9, 14, 20].

Важно отметить, что в этот период на полях проводили регулярное скашивание *H. sosnowskyi*, препятствующее образованию генеративных побегов и последующему расселению на прилегающие участки. Однако с 1980-х гг. использование борщевика в сельскохозяйственных целях было прекращено. Причиной

тому стало присутствие в составе растения эфирных масел, снижающих качество кормов, а также фуруку-маринов, влияющих на репродуктивные функции животных и вызывающих дерматиты на коже людей [9].

Сокращение потребности в кормах в период стагна-ции сельскохозяйственной отрасли, пришедшейся на 90-е гг. и сопровождавшейся массовым выведением зем-ель из сельскохозяйственного оборота, привело к рез-кому и неконтролируемому расселению *H. sosnowskyi*, что к началу 2000-х гг. создало серьезную угрозу при-родным ландшафтам [21]. Впервые одичавший эк-земпляр *H. sosnowskyi* был обнаружен в Московской области в 1948 г., а массовый характер этот процесс приобрел в 1970-е гг. [20]. Борщевик начал расселять-ся вблизи от мест его возделывания, на участках, где каким-то образом повреждалась дернина. Сейчас он обычно встречается около заброшенных ферм, на обо-чинах дорог и в кюветах, на пастбищах, пустырях, лугах, в том числе закустаренных, опушках, в поймах рек и ручьев, оврагах и др., поселяясь на сельскохоз-йственных угодьях, землях лесного фонда и в населен-ных пунктах, например, в парках.

Интродукция *H. sosnowskyi* в естественные и полу-естественные сообщества коренным образом влияет на их облик, нарушает сукцессионные связи, препят-ствует возобновлению роста видов исходных сооб-ществ, что позволяет отнести борщевик Сосновского к растениям трансформерам [21,22]. Под его влиянием происходит деградация дернины, что создает предпо-сылки для развития эрозии почв [5]. С конца 2015 г. *H. sosnowskyi* внесен в список сорных растений Рос-сийской Федерации [23] и входит в ТОП-100 наиболее агрессивных чужеродных видов страны [20].

К сдерживающим распространение *H. sosnowskyi* факторам относят плотный стеблестой и войлок рас-тительности, которые затрудняют попадание семян на поверхность почвы, способность к самоизреживанию, а также загрязнение почвы рядом химических веществ [24]. Так, на ряде участков в Чехии по до конца не вы-ясненным причинам наблюдается сокращение популя-ций борщевика [18].

Распространение борщевика Сосновского носит стихийный характер. Это вызывает потребность в по-вышении оперативности и точности мониторинга его ареалов. В последние годы с такой целью все чаще ис-пользуют данные дистанционного зондирования как со спутников [25, 26, 27], так и с беспилотных летатель-ных аппаратов (БПЛА) [28], но надежные алгоритмы их дешифрирования до сих пор не разработаны.

Цель исследования – оценка возможности детек-тирования борщевика Сосновского по данным съем-ки территории с использованием БПЛА, оснащенного стандартной фотокамерой.

Методика. Работу выполняли на тестовом участке, расположенном на землях Всероссийского института мелиорированных земель (филиал ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева») возле поселка Эммаусс в Тверской области (рис. 1).

Площадь тестового участка 70 га. Большую его часть занимают поля ВНИИМЗ, на которых возделыва-ют достаточно большой набор сельскохозяйственных культур (яровые и озимые рожь, ячмень, пшеница, гор-чица, картофель, овес, многолетние травы). На части территории бывшие пахотные земли заброшены более 10 лет. Рельеф участка в основном выположенный сла-боволнистый с перепадом высот не более 10...15 м. В почвенном покрове господствуют осушенные закры-тым дренажем дерново-подзолистые оглеенные почвы,

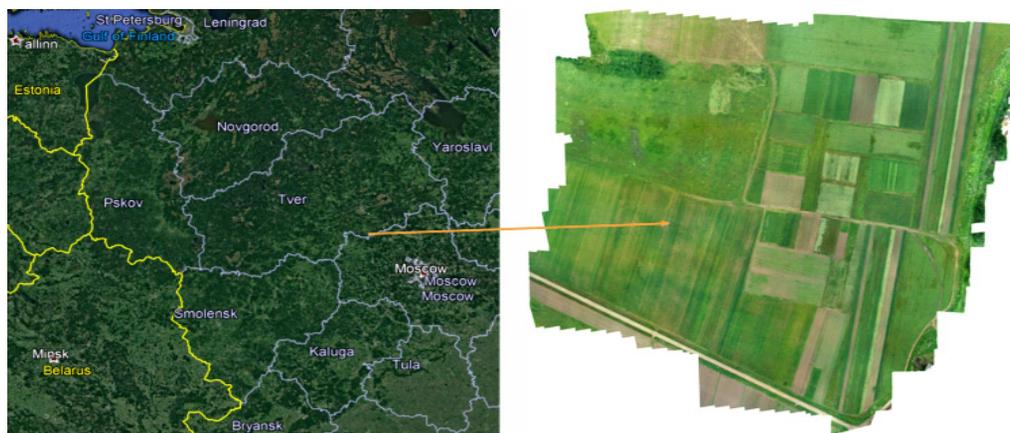


Рис. 1. Территория исследований (справа представлена мозаика изображений, полученных с БПЛА).

развитые на супесях и легких суглинках, подстилаемых в большинстве случаев флювиогляциальными песками, часто с большим количеством валунных и галечниковых включений.

Борщевик Сосновского произрастает небольшими массивами на заброшенных в основном луговых участках, соседствующих с распаханymi полями (рис. 2).

По данным Н.Н. Панасенко [4], в Брянской области борщевик Сосновского начинает развитие весной в конце марта – начале апреля. Это на 7...10 дней опережает начало вегетации других растений, благодаря чему создается значимое конкурентное преимущество. В первую декаду мая заканчивается формирование розетки листьев. Листва *H. sosnowskyi* имеет яркий салатово-зеленый цвет, хорошо выделяющийся на фоне аборигенной растительности [5]. Быстро разрастаясь, борщевик Сосновского формирует густые куртины, которые, затеняя почву, перехватывают до 80 % солнечного света [8]. Это приводит к вытеснению аборигенных видов. В первой декаде июня начинается развитие генеративного побега, к середине этого месяца формируется главный зонтик, а к концу – боковые. Наиболее удачной для дистанционного мониторинга ареалов борщевика Сосновского считается фаза цветения [17]. Рассеивание плодов начинается с середины июля, отмирание листьев – с августа. Отдельные всходы из прошлогодних семян могут появляться в октябре-ноябре.

При проведении исследования использовали БПЛА DJI Matrice 200 с установленной на гиросtabilизируемой подвеске камерой. Квадрокоптер DJI Matrice 200 оснащен мощными двигателями и 43-сантиметровыми



Рис. 2. Борщевик Сосновского на тестовом участке.

пропеллерами, питание осуществляется от двух аккумуляторов с системой обогрева, закрытая конструкция корпуса устойчива к влаге и неблагоприятным метеоусловиям, что позволяет совершать полеты в любую погоду, даже при сильном ветре и отрицательной температуре (от -20 до +45 °С). Полет при стандартных метеоусловиях может осуществляться в рабочем диапазоне 7 км в течение 38 минут с полезной нагрузкой около 2340 г. Максимальная взлетная масса составляет 6140 (https://www.dji.com/ru).

В качестве наземной станции управления использовали пульт с рабочими частотами 2.400...2.483 ГГц и 5.725...5.850 ГГц в паре с планшетником или смартфоном с операционной системой Android. Съемку осуществляли съемной гиросtabilизируемой камерой Zenmuse X4S в видимом спектральном диапазоне (RGB). Основные характеристики камеры: матрица CMOS, 1"; число эффективных пикселей – 20 Мп; объектив F/2.8-11, 8,8 мм (эквивалент формата 35 мм — 24 мм), FOV 84°; форматы фото DNG, JPEG, DNG+JPEG; режимы фотосъемки – единичный снимок, серийная съемка, интервальная съемка. Для предполетной настройки коптеров и камер использовали приложение DJI GO 4, для автоматизированного построения маршрута полета и осуществления аэрофотосъемки – одновременно приложения для iOS и Android DroneDeploy.

Обработку данных аэрофотосъемки проводили с использованием специального программного обеспечения Agisoft Metashape Professional (https://www.geoscan.aero/ru/software/agisoft/metashape_pro) в несколько этапов:

- создание массива снимков, полученных в процессе съемки;

- установление опорных точек для их геометрической трансформации (на этом этапе agisoft metashape оценивает положение и ориентацию камеры, для каждого снимка и устанавливает облако точек, которые используют для трансформации снимков);

- построение полигональной модели;

- создание ортофотоплана на основе облака точек и полигональной модели.

Съемку проводили 30 июня 2021 г. в фазе цветения борщевика с высоты 100 м.

Для детектирования ареалов борщевика полученное цветное изображение было разложено на три канала R, G и B (рис. 3). После этого провели классификацию растительности с обучением (с использованием правила максимального сходства) на два класса: с наличием и без листьев. Далее для пикселей изображе-

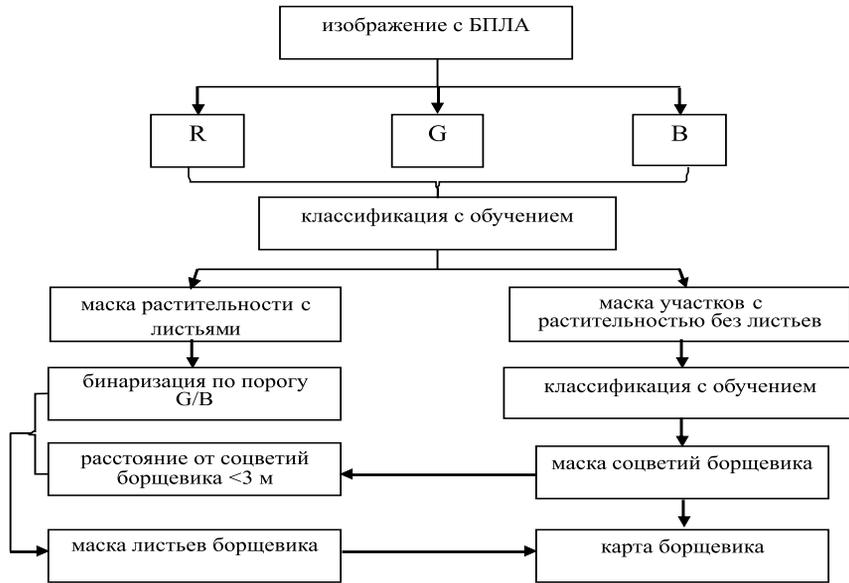


Рис. 3. Последовательность анализа изображений БПЛА.

ния растительности без листьев была проведена еще одна классификация с обучением с выделением класса соцветий борщевика и всех других объектов. Для выделения пикселей с изображением листьев борщевика проводили бинаризацию изображения растительности с использованием экспериментально подобранного порогового значения по изображению, представляющему собой деление изображения в канале G на изображение в канале B. В результате этой операции в один класс попали пиксели с изображением листьев борщевика и часть пикселей с другой, схожей по спектральному облику с ними, растительностью. Для выделения в этом классе пикселей с листьями борщевика было принято правило, что листья борщевика не могут отстоять от стебля растения на расстояние более 3 м. Оно основано на выборочном анализе исходного изображения.

После объединения карт соцветий и карт листьев была получена карта распространения борщевика на территории исследований. Ее точность оценивали путем построения матрицы ошибок классификации. Для этого была создана проверочная выборка пикселей для класса соцветий, класса листьев борщевика и класса других объектов наземного покрова. Ее составил специалист, который не видел построенной карты распространения борщевика.

Пространственное моделирование и анализ изображений проводили с использованием пакета прикладных программ ILWIS 3.3 (<https://www.itc.nl/ilwis/>).

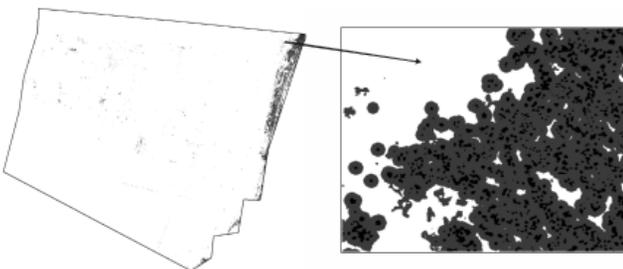


Рис. 4. Распространение борщевика Сосновского на территории исследований, справа показан фрагмент карты в увеличенном виде (серый цвет – листья и стебли борщевика, черный цвет – соцветия).

Матрицу ошибок строили в среде Excel 2020 на основе данных, полученных в ILWIS.

Результаты и обсуждение. Основные ареалы борщевика на обследованной территории приурочены к восточной части тестового участка (рис. 4), которая характеризуется слегка пониженным рельефом и более гидроморфными и неосушенными почвами. Меньшие по площади ареалы приурочены к участкам заброшенной пашни, а также к границам лесных массивов. Отдельные экземпляры встречались у границ пахотных угодий, где размножению растений способствует отсутствие распашки. Необходимо отметить, что самые маленькие растения борщевика, у которых не образовались соцветия, расположенные на удалении от основных ареалов, отдетектировать на основе разработанного подхода было невозможно.

Точность детектирования оказалась вполне удовлетворительной (см. табл.). При детектировании соцветий часть листьев также была определена как соцветия. Это

Матрица ошибок детектирования борщевика Сосновского на территории исследований

		результаты детектирования			сумма	точность производителя	ошибка комиссии
		соцветия	листья	другая растительность			
проверочная выборка	соцветия	479	101	44	624	76,76 %	23,24 %
	листья	28	2080	253	2361	88,10 %	11,90 %
	другая растительность	16	115	1180575	1180706	99,99 %	0,01 %
сумма		523	2296	1180872	1183134	88,28 %	средняя точность производителя
точность пользователя		91,59 %	90,59 %	99,97 %	94,05 %	99,95 %	общая точность
ошибка комиссии		8,41 %	9,41 %	0,03 %			средняя точность пользователя

связано с тем, что практически все соцветия изображаются на фоне листьев. Небольшая часть другой растительности была детектирована как соцветия из-за близости их спектрального облика. Листья борщевика детектированы достаточно надежно (с ошибкой около 10 %). Неточности связаны в основном с пропуском листьев у растений в более ранней, чем у остальных, фазе развития, у которых на момент съемки не было соцветий, а также с погрешностями в детектировании самих соцветий.

В целом, точность определения борщевика в наших исследованиях, оказалась выше, чем у карт, полученных другими способами. Так, по данным Чабан Л.Н. и Митрофанова Е.М. [28] погрешность автоматизированного выделения борщевика на основании результатов съемки с БПЛА на разных участках в Московской области варьировала от 10 до 40 %. Во многих работах точность детектирования вообще не оценивали [29, 30, 31].

Следует отметить, создать полностью автоматизированный алгоритм для детектирования борщевика на территории исследований оказалось невозможным, что достаточно логично. Изображение растительности на данных дистанционного зондирования (спутниковых или получаемых с помощью БПЛА) очень изменчиво во времени [32]. Это априори ведет к изменению оптимальных пороговых значений [33]. В результате использованные в нашем исследовании пороговые значения не будут такими же для снимков, сделанных в другие сроки. Кроме того, характер изображения растительности на снимках, получаемых с БПЛА, определяется условиями съемки (например, высотой) [34]. Также известно, что успешности детектирования какого-либо типа растительности зависит от типа соседних ареалов растительности на территории исследований (от контрастности их изображения по отношению к изображению детектируемой растительности) [35]. Все эти достаточно очевидные факты были подтверждены в ходе нашего эксперимента.

При этом, в отличие от спутниковых снимков, на основе которых часто получают данные в виде относительной площади ареалов борщевика на территории регионов или участков (<https://sovzond.ru/projects/6019/>), мозаики изображений с БПЛА дают информацию практически на уровне отдельных растений.

Недостатки подхода, примененного в исследовании, вполне могут быть устранены путем использования мультитименных изображений, получаемых с БПЛА. Это дает возможность проводить анализ в разные фазы вегетации растений, что повышает вероятность их корректного автоматизированного детектирования. Так, в нашем случае, отдельные растения борщевика, находящиеся на более поздней фазе развития, детектировались надежнее, чем задерживающиеся в развитии. Об этом свидетельствует анализ состояния растений, которые были пропущены при детектировании. Более 90 % из них ко времени съемки еще не сформировали соцветий. При проведении повторного обследования территории в более поздние сроки их также можно было бы определить на основе разработанного подхода.

Многие авторы, использующие спутниковые данные, считают наиболее продуктивными подходы, основанные на интерпретации данных, полученных при съемке как в видимом, так и в ИК диапазонах [9, 30, 36]. Судя по результатам оценки точности наших исследований (см. табл.), использование стандартной камеры видимого диапазона съемки без привлечения данных ИК диапазона оказалось вполне успешным, что значительно упрощает и удешевляет процесс получения необходимых для анализа изображений.

Таким образом, растения борщевика Сосновского могут быть успешно автоматизированно детектированы по изображениям, получаемым с БПЛА с использованием стандартной фотокамеры в фазе цветения растений. В отличие от спутниковой съемки, алгоритм детектирования для каждой мозаики БПЛА индивидуален. Это предопределяется спецификой съемки, типом наземного покрова территории исследований (особенно типом растительного покрова), а также фенофазой борщевика в момент съемки. Несмотря на подобные ограничения, БПЛА позволяют получать информацию о распространении борщевика на уровне отдельных растений без применения специальных видов съемки, чего с использованием спутниковых данных, судя по имеющимся сведениям в научной литературе, добиться невозможно. Точность и надежность детектирования в перспективе могут быть повышены путем привлечения для анализа данных БПЛА, полученных в разные фазы развития растений на территории исследований.

Литература.

1. Каченко К.Г., Краснов А.А. Борщевик Сосновского: экологическая проблема или сельскохозяйственная культура будущего? (Обзор) // *Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН*. 2018. Вып. 20. С. 1–22.
2. Антипина Г.С., Шуйская Е.А. Семенная продуктивность инвазионного вида борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskii* Manden.) в южной Карелии // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2009. № 3(99). с. 23–25.
3. Прохоров В.Н., Мишина М.Ю., Ламан Н.А., Росоленко С.И., Тимофеева И.В. Способ определения жизнеспособности семян борщевика Сосновского. Патент на изобретение ВУ 20369 С1 2016.08.30.
4. Панасенко Н.Н. Некоторые вопросы биологии и экологии борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskii* Manden.) // *Российский журнал биологических инвазий*. 2017. Т.10. №2. С. 95–106.
5. Широкова В.А., Озерова Н.А. Инвазия эндемика кавказа борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskii*) в экосистемы пойм рек европейской равнины // *Грозненский естественнонаучный бюллетень*. 2016. № 4 (4). С. 66–78.
6. Mežaka A., Zvaigzne A., Tripāne E. *Heracleum sosnowskii* Manden. Monitoring in protected areas – a case study in Rēzekne municipality, Latvia // *Acta Biol. Univ. Daugavp.* 2016. Vol. 16 (2). P. 181–189.
7. Кривошеина М.Г., Озерова Н.А., Петросян В.Г. Распространение семян борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskii* Manden.) в зимний период // *Российский журнал биологических инвазий*. 2020. Т.13. № 3. С. 22–31.
8. Nielsen C., Ravn H.P., Nentwig W. and Wade M. (eds.). *The Giant Hog-weed Best Practice Manual. Guidelines for the management and control of an invasive weed in Europe*. Hoersholm, Denmark: Forest & Landscape, 2005. 44 p.
9. Богданов В.Л., Николаев Р.В., Шмелева И.В. Инвазия экологически опасного растения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskii* Manden.) на территории европейской части России // *Региональная экология*. 2011. № 1–2 (31), С. 43–52.
10. Далькз И.В., Захожий И.Г., Чадин И.Ф. Распространение борщевика Сосновского и мероприятия по его ликвидации на территории МО ГО «Сыктывкар» (республика Коми) // *Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН*. 2018. № 3 (205). С. 2–13.
11. Богданов В.Л., Осипов А.Г., Гарманов В.В. *Методика*

- мониторинга засорения земель борщевиком Сосновского по данным дистанционного зондирования // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2020. № 59. С. 69–74.
12. Головки Т.К., Далькэ И.В., Чадин И.Ф. Инвазивный потенциал *Heracleum sosnowskyi Manden.* и контроль за распространением борщевика гигантского в агроклиматической зоне республики Коми (проект ориентированных фундаментальных исследований УрО РАН, 2012 г.) // *ИБ Коми НЦ УрО РАН*. 2013. №4. С. 18–19.
 13. Эколого-географический анализ распространения и встречаемости борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden.*) в связи со степенью аридности территорий и его картирование для европейской территории России / А. Н. Афонин, Н. Н. Лунева, Ю. С. Ли и др. // *Экология*. 2017. № 1. С. 66–69.
 14. Ткаченко К.Г., Краснов А.А. Борщевик Сосновского: экологическая проблема или сельскохозяйственная культура будущего? (Обзор) // *Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН*, 2018. Вып. 20. С. 1–22.
 15. Rzymiski P., Klimaszuk P., Poniedzialek B. Invasive giant hogweeds in Poland: Risk of burns among forestry workers and plant distribution // *Burns*. 2015. Vol. 41. (8), P. 1816–1822.
 16. Чадин И.Ф., Далькэ И.В., Мальшев Р.В. Оценка морозостойкости борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden.*) после удаления снежного покрова в ранневесенний период // *Российский Журнал Биологических Инвазий* 2018. № 4, С. 105–116.
 17. Müllerova J., Pergl J., Pysek P. Remote sensing as a tool for monitoring plant invasions: Testing the effects of data resolution and image classification approach on the detection of a model plant species *Heracleum mantegazzianum* (giant hogweed) // *International Journal of applied Earth Observation and Geoinformation*. 2013. Vol. 25., P. 55–65.
 18. Empirical and virtual investigation of the population dynamics of an alien plant under the constraints of local carrying capacity: *Heracleum mantegazzianum* in Czech Republic / N. Nehrbass, E. Winkler, J. Pergl, et al. // *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*. 2006. Vol.7.(4). P. 253–262.
 19. Thiele J., Otte A. Invasion patterns of *Heracleum mantegazzianum* in Germany on the regional and landscape scales // *Journal for Nature Conservation*. 2008. Vol.16. (2). P. 61–71.
 20. Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / ред. Ю.Ю. Дзебуадзе, В.Г. Петросян, Л.А. Хляп. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2018, 688 с.
 21. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М. ГЕОС, 2009. 494.
 22. Распространение инвазионных видов растений на территории Брянской области: *Heracleum sosnowskyi* / Н.Н. Панасенко, А.В. Харин, И.М. Ивенкова и др. // *Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований*. 2014. № 1 (5). С. 48–50.
 23. О статусе вида борщевик Сосновского *Heracleum sosnowskyi Manden.* на территории РФ / Н.Н. Лунева, Г.Ю. Конечная, Т.Н. Смекалова и др. // *Вестник защиты растений*. 2018. № 3(97). с. 10–15
 24. Кондратьев М.Н., Бударин С.Н., Ларинова Ю.С. Физиолого-экологические механизмы инвазивного проникновения борщевика сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden.*) в неиспользуемые агроэкосистемы // *Известия ТСХА*. 2015. № 2. С. 36–49.
 25. Рыжиков Д. М., Тимофеев А. С. Технология мониторинга борщевика Сосновского с онлайн геопортальной поддержкой // *Дистанционное зондирование Земли — сегодня и завтра: материалы 2-й Международной конф.* 2014. URL: <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=91&thesis=4639> (дата обращения: 17.08.2021)
 26. Рыжиков Д.М. Метод обработки мультиспектральных спутниковых данных для решения задачи контроля зон произрастания борщевика Сосновского // *Информационно-управляющие системы*. 2017. № 92 (6). С. 43–51.
 27. Идентификация зарослей борщевика Сосновского по данным дистанционного зондирования Земли / В.В. Рутман, Г.Я. Кантор, Т.А. Адамович и др. // *Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Киров: Вятский государственный университет; Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2018. С. 81–85.
 28. Чабан Л.Н., Митрофанов Е.М. Перспективы автоматизации выделения борщевика Сосновского по снимкам с БПЛА средствами ГИС // *Приложение к журналу Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. Сборник статей по итогам научно-технической конференции*. 2019. № 10-1. С. 122–127.
 29. Жиглова О. В. Использование геоинформационных технологий при выявлении очагов борщевика Сосновского // *Защита и карантин растений*. 2012. № 5. С. 8–9.
 30. Григорьев А.Н., Рыжиков Д.М. Общая методика и результаты спектрорадиометрического исследования отражательных свойств борщевика Сосновского в диапазоне 320–1100 нм в интересах дистанционного зондирования Земли // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 1. С. 183–192.
 31. Рутман В.В., Кантор Г.Я. Разработка компьютерной программы для идентификации борщевика Сосновского по аэрофотоснимку // *Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Киров: Изд-во «Радуга-пресс». 2016. С. 183–185.
 32. Seasonal Variation in the NDVI-Species Richness Relationship in a Prairie Grassland Experiment (Cedar Creek) / R. Wang, J.A. Gamon, R.A. Mont-gomery, et al. // *Remote Sensing*. 2016. Vol. 8. No. 2. P. 128.
 33. Estimating the Threshold of Detection on Tree Crown Defoliation Using Vegetation Indices from UAS Multispectral Imagery / K. Otsu, M. Pla, A Duane, et al. // *Drones*. 2019. Vol. 3. No. 4. P. 80
 34. Mapping of rill erosion of arable soils based on unmanned aerial vehicles survey / A.N. Kashtanov, Y.I. Vernyuk, I.Y. Savin, et al. // *Eurasian Soil Science*. 2018. Vol. 51. № 4. P. 479–484.
 35. Yichun Xie, Zongyao Sha, Mei Yu. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review // *Journal of Plant Ecology*. 2008. Vol. 1. No. 1. P. 9–23.
 36. Товстик Е.В., Адамович Т.А., Ашихмина Т.Я. Идентификация участков массового роста борщевика Сосновского с помощью спектральных индексов по данным Sentinel-2 // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. №3. С. 34–40.

Поступила в редакцию 31.08.2021
 После доработки 20.09.2021
 Принята к публикации 07.10.2021

Зоотехния и ветеринария

УДК 619:616.775.26

DOI: 10.31857/S2500262721060107

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ, БИОХИМИЧЕСКИЕ И ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ КОРОВ, БОЛЬНЫХ СЕРОЗНОЙ ФОРМОЙ МАСТИТА**Е.В. Нефедова**, кандидат ветеринарных наук,
Н.Н. Шкиль, доктор ветеринарных наук*Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук,
630501, Новосибирская область, Новосибирский район, р.п. Краснообск
E-mail: nicola07@mail.ru*

Мастит в последние годы стал одним из самых распространенных заболеваний коров во всем мире, что существенно сдерживает темпы увеличения производства молока и наносит огромный экономический ущерб, который складывается из преждевременной выбраковки высокопродуктивных животных, молока (во время и после лечения антибактериальными лекарственными средствами), недополучения телят, а также затрат, связанных с диагностикой и терапией. Применение препарата, содержащего наночастицы серебра, арговит позволяет сокращать срок лечения и устранять ущерб от выбраковки молока после проведения лечения. Исследования проводили с целью изучить влияние наночастиц серебра на морфологические, биохимические и иммунологические показатели крови коров больных серозным маститом. Для эксперимента сформировали три группы по 20 голов в каждой: контрольную, состоящую из здоровых особей, и две опытные, включающие коров больных серозной формой мастита. Животным первой опытной группы интрацистернально вводили препарат, содержащий 10 %-ный водный раствор арговита в дозе 10 мл 1 раз в день до исчезновения клинических признаков болезни. Коровам второй опытной группы вводили препарат спектромаст интрацистернально в дозе 10 мл, 2 раз в день в соответствии с инструкцией по его использованию. Использование препарата, содержащего наночастицы серебра, позволяет сократить срок лечения серозного мастита коров в 2 раза. После его применения отмечено повышение уровня лизоцимной активности сыворотки крови с 12,1 % до 17,7 % (на 5,6 %) и бактерицидной активности сыворотки крови с 58,3 % до 62,8 % (на 4,5 %), что указывает на стимулирующее воздействие препарата на неспецифический иммунитет в виде активизации фагоцитоза. Токсических эффектов при проведении лечения коров, больных клинической формой мастита, препаратом, содержащим наночастицы серебра, не наблюдали.

THE EFFECT OF SILVER NANOPARTICLES ON THE MORPHOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND IMMUNOLOGICAL PARAMETERS OF BLOOD OF COWS WITH A CLINICAL FORM OF MASTITIS**Nefedova E.V., Shkil N.N.***Siberian Federal Research Center of Agricultural Biotechnology, Russian Academy of Sciences
630501, Novosibirskaya obl., Novosibirskii r-n, pos. Краснообск
E-mail: nicola07@mail.ru*

In recent years, mastitis has become one of the most common diseases of cows around the world, which significantly slows down the rate of increase in milk production and causes enormous economic damage, which consists of premature culling of high-yielding cows, milk during and after treatment. Antibacterial drugs, shortage of highly productive offspring - calves, as well as the costs associated with diagnosis and treatment. The use of argovit, a preparation containing silver nanoparticles, makes it possible to shorten the treatment period without any damage from milk rejection after the therapy. The study was carried out to study the effect of silver nanoparticles on the morphological, biochemical and immunological parameters of the blood of cows with serous mastitis. For the experiment, three groups of 20 heads each were formed: a control group consisting of healthy individuals, and two experimental groups, including cows with serous mastitis. The animals of the first experimental group were injected intracysternally with a preparation containing a 10% aqueous solution of argovit in a dose of 10 ml once a day until the clinical signs of the disease disappeared. The cows of the second experimental group were injected with Spectromast intracysternally at a dose of 10 ml, 2 times a day in accordance with the instructions for use of the drug. The results of the research have established that the use of a preparation containing silver nanoparticles can reduce the treatment period for serous mastitis in cows by 2 times. After its application, an increase in the level of lysozyme activity of blood serum (LASK) was noted from 12,1% to 17,7 % (by 5,6%) and bactericidal activity of blood serum (BASK) from 58,3% to 62,8% (by 4,5%), which indicates a stimulating effect of the drug on nonspecific immunity in the form of activation of phagocytosis. No toxic effects were observed during the treatment of cows with clinical mastitis with a preparation containing silver nanoparticles.

Ключевые слова: мастит, серебро, молоко, лечение, кровь**Key words:** mastitis, silver, milk, treatment, blood

Мастит крупного рогатого скота – широко распространенное во всем мире заболевание, одна из наиболее значимых патологий животных [1, 2]. Маститы наносят молочному животноводству значительный экономический ущерб, обусловленный в основном преждевременной выбраковкой животных, уменьшением молочной продуктивности, ухудшением технологических свойств молока, а также затратами на диагностику и лечение [3, 4].

В США и Японии заболеваемость животных маститом составляет 30...60 %, при этом экономический убыток достигает соответственно 1028,4 и 79,1 млн долл. США в год [5, 6, 7]. На территории Российской Федерации воспаление молочной железы фиксируют у 20...30 % коров [8, 9].

В последние годы в качестве противомикробных агентов, противоопухолевых средств, средств диагностики, биомаркеров, клеточных меток и систем достав-

ки лекарств для лечения разнообразных заболеваний широко применяют наночастицы серебра [10]. Это обусловлено их низкой токсичностью для лабораторных животных и высокой бактерицидной активностью в отношении условно-патогенной микрофлоры [11, 12, 13].

Кроме того, все более глобальной проблемой при лечении инфекционных заболеваний становится множественная устойчивость микроорганизмов к лекарственным препаратам, в том числе антибиотикам [14]. Таким образом, существует острая необходимость в поиске и разработке альтернативных, экономичных, эффективных лекарственных средств, способных преодолевать устойчивость к противомикробным препаратам [15].

Цель исследований – изучить влияние наночастиц серебра на морфологические, биохимические и иммунологические показатели крови коров больных серозным маститом для обоснования токсикологической безопасности их применения.

Методика. Работу проводили с 2015 по 2020 гг. в Новосибирской области. Для эксперимента сформировали три группы по 20 голов в каждой: контрольную состоящую из здоровых особей, и две опытные, включающие коров больных серозной формой мастита. Животным первой опытной группы вводили препарат, содержащий 10 %-ный водный раствор арговита в дозе 10 мл 1 раз в день до исчезновения клинических признаков болезни, коровам второй опытной группы – препарат спектрамаст в дозе 10 мл, 2 раз в день в соответствии с инструкцией по его использованию. Выбор антимикробного средства был сделан на основании результатов предварительно проведенных бактериологических исследований секрета молочной железы больных животных. Препараты вводили интрацестернально, предварительно вымя обмывали теплой мыльной водой, соски протирали антибактериальными салфетками.

Препарат арговит, представляет собой комплекс высокодисперсных наночастиц кластерного серебра (12...15 мг/мл) размером от 20 до 80 нм, поливинилпирролидона (200 мг/мл) 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 [16].

Действующее вещество препарата спектрамаст – цефтиофура гидрохлорид (125 мг/мл), в качестве вспомогательных соединений в его состав входят микрокристаллический воск (700 мг/мл), олеоил полиоксилглицериды (500 мг/мл), хлопковое масло (до 10 мл).

Диагностику мастита коров проводили согласно «Методическим рекомендациям по диагностике, терапии и профилактике мастита у коров» (2007). При клиническом исследовании животных отмечали болезненность, увеличение в объеме доли вымени. Секрет молочной железы был водянистым со сгустками и хлопьями казеина. Идентифицированный серозный мастит отличался от застойного отека вымени сильной краснотой кожи, повышением местной температуры тела, болезненностью. Консистенция вымени была плотной, каменистой, у отдельных животных отмечали увеличение надвыменных лимфатических узлов, тогда как при отеке вымени пальпация ткани молочной железы дает тестоватую консистенцию.

Материалом для исследования служила кровь животных до и после применения препаратов. Ее брали до кормления из хвостовой вены с соблюдением правил асептики и антисептики в пробирки K3-EDTA и

Табл. 1. Морфологические показатели крови коров, до и после лечения мастита

Показатель	Контроль	Группа I	
		опытная I	опытная II
Гемоглобин, г/л	98,7±1,1	95,7±0,6 96,4±0,9*	98,4±0,7 101,5±0,4*
Эритроциты, 10 ¹² кл/л	6,7±0,13	5,8±0,7 5,7±0,3*	6,3±0,9 5,8±0,2*
Лейкоциты, 10 ⁹ кл/л	7,6±0,12	13,7±0,6 7,8±0,4*	14,1±0,8 11,1±0,6*
Гранулоциты, 10 ⁹ кл/л	2,3±0,3	1,4±0,1 1,3±0,01*	1,5±0,1 1,4±0,1*
Лимфоциты, 10 ⁹ кл/л	1,9±0,1	5,3±0,2 5,2±0,1*	5,6±0,3 5,5±0,1*
Моноциты, %	2,8±0,1	5,9±0,2 5,7±0,4*	6,1±0,4 6,0±0,2*

¹ в числителе до введения препарата, в знаменателе – после введения;
*различия между величинами показателя до и после введения препарата достоверны при p < 0,05.

Serebrum, с активатором свертываемости. Гематологические и биохимические исследования проводили на приборах Mindray BC-2800 Vet (Франция) и Urit 800 vet (Китай). Показатели неспецифической резистентности организма определяли, руководствуясь методическими рекомендациями ИЭВСиДВ Россельхозакадемии по оценке естественной резистентности сельскохозяйственных животных (2003). Результаты исследований обрабатывали методами вариационной и непараметрической статистики.

Результаты и обсуждение. При лечении серозного мастита коров препаратом арговит средний срок терапии составил 3,1±0,3 суток, что в 2 раза меньше, чем в контрольной группе.

Отмечено снижение воспалительных процессов в организме, характеризующееся выраженным понижением лейкоцитов в первой опытной группе с 13,7±0,6 до 7,8±0,4·10⁹ кл/л (на 56,9 %). Во второй опытной группе, где для терапии серозного мастита коров применяли антибактериальный препарат спектрамаст оно было менее значительным – с 14,1±0,8 до 11,1±0,6·10⁹ кл/л (на 22,3 %). Содержание гемоглобина, эритроцитов, гранулоцитов, лимфоцитов и моноцитов в крови животных первой и второй опытных группах до и после лечения мастита коров изменялось не значительно (табл. 1).

До лечения клинического мастита содержание фермента АЛТ в сыворотке крови коров первой и второй опытных групп превышало верхнюю границу нормы на 6,0 и 3,4 % соответственно. После терапии в первой опытной группе отмечали снижение величины этого показателя, относительно уровня до лечения, на 8,4 % (табл. 2). В то время как во второй опытной группе она оставалась выше контрольных значений на 29,1 %, а по сравнению с исходной величиной, рост составил 3,0 %.

Понижение уровня АЛТ в опытной группе свидетельствует о нормализации функционального состояния печени и, следовательно, об отсутствии токсического эффекта лекарственного препарата арговит на ее клетки [17].

После терапии арговитом у коров отмечено достоверное повышение содержания кальция в крови (на 4,3 %), билирубина (на 1,1 %), фосфора (на 5,5 %), альбумина (на 8,5 %) и мочевины (на 14,7 %), по сравнению с величинами этих показателей до лечения.

В первой и второй опытных группах до терапии се-

Табл. 2. Биохимические показатели сыворотки крови коров, до и после лечения мастита

Показатель	Контроль	Группа I	
		опытная I	опытная II
Фосфор, ммоль/л	1,5±0,03	$\frac{1,8±0,1}{1,9±0,1^*}$	$\frac{2,1±0,2}{2,2±0,1^*}$
Кальций, ммоль/л	2,7±0,02	$\frac{2,3±0,3}{2,4±0,1^*}$	$\frac{2,4±0,2}{2,1±0,1^*}$
Белок, г/л	72,3±1,82	$\frac{65,6±0,7}{66,7±0,3^*}$	$\frac{66,5±0,3}{65,1±0,4^*}$
Щ. фосфатаза, Ед/л	61,0±0,1	$\frac{32,4±0,4}{32,7±0,3^*}$	$\frac{33,4±1,1}{31,7±0,4^*}$
Глюкоза, ммоль/л	3,5±0,01	$\frac{2,6±0,1}{2,5±0,2^*}$	$\frac{2,7±0,1}{2,6±0,2^*}$
Билирубин общий, мкмоль/л	7,8±0,3	$\frac{8,8±0,7}{8,9±0,4^*}$	$\frac{8,6±0,2}{8,9±0,5^*}$
АЛТ, Ед/л	28,9±1,1	$\frac{37,1±0,9}{34,2±0,7^*}$	$\frac{36,2±0,3}{37,3±0,6^*}$
АСТ, Ед/л	43,7±1,5	$\frac{59,7±0,4}{58,1±0,1^*}$	$\frac{58,5±0,2}{58,1±0,7^*}$
Мочевина, ммоль/л	6,9±0,3	$\frac{3,4±0,1}{3,9±0,1^*}$	$\frac{4,1±0,2}{4,3±0,1^*}$
Холестерин, ммоль/л	4,0±0,1	$\frac{4,62±0,3}{4,7±0,1^*}$	$\frac{4,4±0,1}{4,3±0,2^*}$
Креатинин, мкмоль/л	93,2±0,5	$\frac{98,7±0,5}{97,5±0,7^*}$	$\frac{97,7±0,1}{96,5±0,3^*}$
Альбумин, г/л	46,1±0,4	$\frac{44,8±0,3}{48,6±0,1^*}$	$\frac{43,1±0,2}{47,8±0,4^*}$
α-глобулины, %	19,4±0,3	$\frac{21,4±0,1}{19,3±0,1^*}$	$\frac{22,3±0,1}{20,4±0,1^*}$
β-глобулины, %	14,9±0,1	$\frac{15,9±0,1}{15,3±0,1^*}$	$\frac{15,6±0,1}{14,9±0,1^*}$
γ-глобулины, %	28,2±0,3	$\frac{17,9±0,1}{16,8±0,07^*}$	$\frac{17,3±0,01}{16,9±0,03^*}$

¹ в числителе до введения препарата, в знаменателе – после введения;
*различия между величинами показателя до и после введения препарата достоверны при p < 0,05.

розного мастита коров отмечали повышение α-глобулинов, по сравнению с контролем, соответственно на 10,3 и 14,9 %, что случается во время воспалительного процесса из-за раздражения кроветворных органов в результате бурной реакции организма на первичную травму, вызванную физическим, механическим, химическим и биологическим влиянием, вследствие выброса из кровеносного русла в пораженные ткани вымени с последующим поступлением в молоко большого числа лейкоцитов.

После лечения мастита в сыворотке крови коров первой опытной группы отмечали повышение уровня ЛАСК, по сравнению с исходным, на 5,6 %, БАСК – на 4,5 %, что указывает на улучшение иммунного статуса животных (табл. 3). Во второй опытной группе до и после терапии мастита коров выявлено снижение уровня ЛАСК, относительно контроля, на 35,8 % и 34,9 % соответственно. Кроме того, по окончании терапии величина БАСК снизилась, по сравнению с уровнем до лечения, на 4,1 %.

После лечения мастита коров в первой опытной группе отмечено повышение уровня ФИ, относительно величины этого показателя до терапии, на 3,8 %, ФА – на 22,7 %, ФЧ – на 33,8 %, во второй – соответственно на 4,4 %, 3,9 % и 3,3 %. Увеличение активности фагоцитоза можно рассматривать как положительный признак, свидетельствующий об эффективности неспецифического звена клеточного иммунитета. В

Табл. 3. Иммунологические показатели крови до и после лечения мастита коров

Показатель	Контроль	Группа I	
		опытная I	опытная II
БАСК, %	62,3±0,3	$\frac{58,3±1,4}{62,8±3,2^*}$	$\frac{56,4±0,3}{54,1±2,1^*}$
ЛАСК, %	20,9±0,1	$\frac{12,1±0,9}{17,7±0,6^*}$	$\frac{13,4±0,7}{13,6±1,1^*}$
ФИ	7,6±0,2	$\frac{5,2±0,1}{5,4±0,3^*}$	$\frac{5,1±0,4}{5,3±0,3^*}$
ФА, %	69,4±0,2	$\frac{68,7±3,2}{84,3±2,1^*}$	$\frac{65,2±1,8}{67,4±3,4^*}$
ФЧ	8,7±0,1	$\frac{7,1±1,4}{9,5±0,3^*}$	$\frac{6,8±1,7}{7,1±1,9^*}$

¹ в числителе до введения препарата, в знаменателе – после введения;
*различия между величинами показателя до и после введения препарата достоверны при p < 0,05.

целом результаты гематологических и биохимических исследований крови коров при лечении мастита препаратом арговит свидетельствуют об отсутствии его отрицательного воздействия на основные физиологические показатели.

Таким образом, на основании результатов исследований разработан способ лечения серозного мастита коров препаратом, содержащим наночастицы серебра, позволяющий сократить срок лечения в 1,9 раз.

После лечения мастита коров арговитом отмечается повышение уровня ЛАСК в сыворотке крови на 5,6 %, БАСК – на 4,5 %, что указывает на стимулирующее воздействие препарата на неспецифический иммунитет.

По результатам анализа морфологических, биохимических и иммунологических показателей крови коров, больных серозной формой мастита, токсические эффекты препарата, содержащего наночастицы серебра, не установлены.

Литература

- Gomes F., Saavedra M.J., Henriques M. Bovine mastitis disease/pathogenicity: evidence of the potential role of microbial biofilms // *Pathog Dis.* 2016. Vol. 74. No. 3. P. 6–7. doi: 10.1093/femspd/ftw006.
- Иващук А.С. Система мероприятий по борьбе с маститами коров. М.: Росагропромиздат, 1991. С. 32–33.
- Богуш А.А., Иванов В.Е. Мероприятие по профилактике, диагностике и лечению мастита у коров // *Ветеринария.* 2009. №1. С. 37.
- Kalińska A., Jaworski S., Wierzbicki M. Silver and copper nanoparticles-an alternative in future mastitis treatment and prevention? // *Int J Mol Sci.* 2019. Vol. 20. No. 7. P. 1672–1673. doi: 10.3390/ijms20071672.
- Васильев В.В. Экономический ущерб от молока при маститах коров // *Ветеринария.* 2008. №1. С. 33–34.
- Кузьмич Р.Г., Макарова Е.С., Борисенко Г.Н. Изучение антимикробной активности образцов наносеребра в отношении основных возбудителей мастита // *Ученые записки УО ВГАВМ.* 2017. Т. 53, №1. С. 81–85.
- Synthesis of selenium and silver nanobiocomposites and their influence on phytopathogenic bacterium *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* / A.I. Perfilova, O.A. Nozhkina, I.A. Graskova, et al. // *Russian Chemical Bulletin, International Edition.* 2018. Vol. 67. No. 1. P. 2–7
- Development of Antimicrobial Nano-Selenium Biocomposite for Protecting Potatoes from Bacterial

- Phytopathogens* / A.I. Perfilova, S.M. Moty'leva, I.V. Klimenkov, et al. // *Nanotechnologies in Russia*. 2017. Vol. 12. No. 9-10. P. 553–558.
9. Adjuvant properties of silver and dimethyl sulfoxide nanoparticles in studying antibacterial activity of antibiotics against *E. coli* / N.N. Shkil, E.V. Nefyodova, N.A. Shkil, et al. // *International journal of agriculture and biological science*. 2020. Vol. 4. P. 119–126. doi: 10.5281/zenodo.4286955.
 10. Эффективность применения препарата, содержащего наночастицы серебра, для терапии субклинического мастита коров / М.А. Леонова, Н.А. Шкиль, В.Ю. Коптев и др. // *Актуальные проблемы и инновации в современной ветеринарной фармакологии и токсикологии*. Витебск. Изд-во УО ВГАВМ, 2015. С. 290–293.
 11. Нефедова Е.В. Адьювантные свойства наночастиц серебра при оценке бактерицидной активности антимикробных препаратов // *Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Белорусии и Болгарии*. Новосибирск: Изд-во СФНЦА РАН, 2019. С. 249–252.
 12. Бурмистров В.А., Бурмистров А.В. Биосеребро – здоровью добро! Новосибирск: Изд-во Дилия, 2014. 140 с.
 13. Красочко П.А., Красочко И.А., Станкуть А.Э. Противовирусные свойства препарата на основе наночастиц серебра // *Ветеринарная медицина*. 2013. № 97. С. 526–528.
 14. Соловьева О., Бирюкова Е., Романовская Е. Опыт использования аппарата «Денас» в лечении крупного рогатого скота // *Ветеринария*. 2010. №12. С. 29–30.
 15. Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках. М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. 528 с.
 16. Серебро в медицине / Е.М. Блажитко, В.А. Бурмистров, А.П. Колесников и др. Новосибирск, Наука-Центр, 2004, 254с.
 17. Биоцидное действие наночастиц серебра / А.М. Кацев, И.Н. Юркова, В.И. Рябушко и др. // *Крымский журнал экспериментальной и клинической медицины*. 2012. № 1-2 (5-6). С. 46–49.
 18. АЛТ печени повышен что это значит // *Здоровье и здоровый образ жизни* URL: <https://vvrpg.ru/alt-pечeni-povyshen-chno-eto-znachit/> (дата обращения: 23.05.2021).
 19. Оценка естественной резистентности сельскохозяйственных животных: метод. рекомендации / сост. П.Н. Смирнов, М.И. Гулюкин, Ю.Н. Федоров и др. Новосибирск: Россельхозакадемия Сиб. отделение, ИЭВСиДВ, ВИЭВ, ФГОУ НРИПК АПК, НГАУ, 2003. 32 с.

Поступила в редакцию 27.07.2021
 После доработки 08.09.2021
 Принята к публикации 27.09.2021

ИММУННЫЙ РЕПЕРТУАР В-КЛЕТОК КРОВИ ОВЕЦ В ПОСТВАКЦИНАЛЬНОМ ИММУННОМ ОТВЕТЕ*

И.Ю. Ездакова, доктор биологических наук, **О.В. Капустина**, доктор ветеринарных наук,
С.В. Вальциферова, кандидат биологических наук, **А.Г. Григорьев**, аспирант

Федеральный 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

Основные специфические функции В-клеток осуществляются с участием мембранных рецепторов. Связывание рецептора с его лигандом активирует каскад реакций, приводящий к образованию клеток памяти и протективных антител. Исследование проводили с целью анализа фенотипического профиля В-клеток крови овец в процессе поствакцинального иммунного ответа на инактивированную вакцину против возбудителей острых кишечных заболеваний животных. Овец романовской породы в возрасте 1,5 лет иммунизировали внутримышечно 2 раза с двухнедельным интервалом. Исследования проводили до вакцинации, на 7-е, 14-е и 21-е сутки иммунного ответа. Фенотип В-клеток определяли методом иммунопероксидазного окрашивания с использованием моноклональных антител к CD-рецепторам. Для оценки уровня IgG использовали реакцию простой радиальной иммунодиффузии. Иммунизация овец инактивированной вакциной вызвала увеличение уровня общей популяции лейкоцитов и субпопуляции В2-клеток ($p < 0,05$). Абсолютное количество лейкоцитов повышалось, по сравнению с исходными значениями, на 7-е и 14-е сутки первичного иммунного ответа и на 7-е сутки вторичного иммунного ответа. Число В2-лимфоцитов с фенотипом $CD5-sIgM^+$ увеличилось с $4,5 \cdot 10^6$ кл/мл до введения вакцины до $9,0 \cdot 10^6$ кл/мл на 7-е сутки первичного иммунного ответа и $11,2 \cdot 10^6$ кл/мл на 14-е сутки. Повышение уровня субпопуляции $CD5-CD19^+sIgM^+CD20^-$ -лимфоцитов отмечали в первые две недели иммунного ответа. Он был в 2,5 раза больше исходного значения. Отсутствие влияния вакцинации на уровень лимфоцитов с фенотипом $CD5^+CD19^+sIgM^+$ (В1-клетки), который не изменялся ни при первичном, ни при вторичном иммунном ответе, свидетельствует о независимости прайминга двух основных субпопуляций В-клеток. Структурные компоненты иммунной системы в процессе иммуногенеза активируются не одновременно, поэтому при оценке эффективности вакцинации особое значение приобретают функциональные взаимосвязи иммунологических показателей. Сильная положительная корреляция между показателями В2-клеток и уровнем общих иммуноглобулинов класса G ($r=0,9$) свидетельствовала о положительном эффекте вакцинации.

IMMUNE REPERTOIRE OF SHEEP BLOOD B-CELLS IN THE POST-VACCINATION IMMUNE RESPONSE

Ezdakova I.Yu., Kapustina O.V., Valsiferova S.V., Grigorev A.G.

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

The main specific functions of B cells are carried out with the help of membrane receptors. Binding of the receptor to its ligand activates a cascade of reactions leading to the formation of memory cells and protective antibodies. The study was conducted to analyze the phenotypic profile of sheep blood B cells in the process of post-vaccination immune response to an inactivated vaccine against pathogens of acute intestinal diseases of animals. Romanov sheep at the age of 1.5 years were immunized twice with a two-week interval. Studies were conducted before vaccination and on the 7th, 14th and 21 days of the immune response. The phenotype of B cells was determined by immunoperoxidase staining using monoclonal antibodies to CD receptors. A simple radial immunodiffusion reaction was used to assess IgG levels. Vaccination of sheep with an inactivated vaccine caused an increase in the level of the general population of leukocytes and a subpopulation of B2 cells ($p < 0.05$). The absolute number of leukocytes increased on the 7th and 14th days of the primary immune response and on the 7th day of the secondary immune response compared to the initial values. The number of B2 lymphocytes with the $CD5-IgM^+$ phenotype increased and amounted to $9.0 \cdot 10^6$ cells/ml on day 7 and $11.2 \cdot 10^6$ cells/ml on day 14 of the primary immune response ($4.5 \cdot 10^6$ cells/ml before the introduction of the vaccine). An increase in the level of the $CD5-CD19^+sIgM^+CD20^-$ lymphocyte subpopulation was noted in the first two weeks of the immune response and was 2.5 times higher than the initial value. Data were obtained on the absence of the effect of vaccination on the level of lymphocytes with the $CD5^+CD19^+sIgM^+$ phenotype (B1 cells), which did not change during either the primary or secondary immune response, which indicates the independence of priming of the two main subpopulations of B cells. The structural components of the immune system in the process of immunogenesis are not activated simultaneously, and when evaluating the effectiveness of vaccination, functional interrelations of immunological indicators are of particular importance. A strong correlation between the indicators of B2 cells and the level of total immunoglobulins of class G ($r=0.9$) indicates a positive effect of vaccination.

Ключевые слова: В-клетки, поствакцинальный иммунный ответ, CD-маркеры, иммунопероксидазное окрашивание

Key words: B cells, post-vaccination immune response, CD markers, immunoperoxidase staining

Изучение активации В-клеток, непосредственно связанное с рецепторным профилем клеточных мембран, в процессе иммунного ответа крайне актуально не только для понимания физиологических основ иммунитета, но и для создания новых, а также испытанных существующих вакцинных препаратов. Экспери-

ментальные данные о мембранно-зависимых реакциях презентации антигенов – необходимая основа для разработки современных технологий изготовления вакцин. Их эффективность напрямую зависит от адекватности процессов пролиферации и дифференцировки субпопуляций В-лимфоцитов, которые можно опреде-

*Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0578-2014-0018).

лять по экспрессии CD-рецепторов. Их уровень может служить определенным маркером этапов формирования поствакцинального иммунного ответа.

Каждому этапу дифференцировки В-лимфоцита соответствует определенный иммунный репертуар CD-маркеров: проВ1-клетке – CD19; про В1 – CD19CD20; преВ1 – CD19CD20mPreBCR; преВ1 – cIgMCD19CD20CD21. Следующий этап – формирование антигенного рецептора В-клеток (BCR), во время которого на мембране появляется мономерная молекула sIgM^{lo}, соответствующая её цитоплазматической форме (cIgM). Зрелым наивным В-лимфоцитам характерен фенотип sIgM^{hi}IgDCD19CD20CD21.

Известны три субпопуляции В-лимфоцитов у рогатого скота – В1а CD5⁺, В1b CD5⁺ и В2, обладающие различными функциональными свойствами. Мембранный рецептор CD5 позволяет различать субпопуляции: CD19⁺ CD5⁺ В1-клетки и CD19⁺ CD5⁻ В2-клетки [1]. В1аCD5⁺-лимфоциты предназначены для быстрого реагирования на наиболее распространенные антигены клеточных стенок бактерий в приборьерных полостях. Естественные антитела, секретируемые В1а-лимфоцитами (IgM и IgA), преимущественно специфичны к тимуснезависимым антигенам. Уровень CD5⁺ В-клеток может повышаться при аутоиммунных заболеваниях. Также известно, что лимфоциты, экспрессирующие молекулу CD5⁺, служат мишенью для вируса лейкоза крупного рогатого скота [2].

Маркерный белок CD19 принадлежит к суперсемейству иммуноглобулинов. Многие из этих белков представляют собой различные полимеры, в которых гомологичные Ig-структуры разных цепей взаимодействуют между собой. Каждую такую структуру кодирует отдельный экзон. Рецептор CD19 В-клеток играет важную роль в трансдукции позитивного сигнала как при Т-зависимом, так и при Т-независимом иммунных ответах. CD19 служит маркерным белком В-клеток с самого раннего этапа их дифференцировки. Еще один маркерный рецептор В-лимфоцитов – молекула CD20, которая экспрессируется, начиная с проВ-клеток, но на плазматических клетках отсутствует. Известна функция CD20 в образовании Ca²⁺-каналов и в регуляции активности В-клеток, в том числе в антителогенезе. Молекула CD20 перемещаясь в липидные рафты, координирует работу рецепторных белков [3]. Для созревания В-клеткам необходимы не только молекулы CD19 и CD20, но и регулятор активации комплемента CD21. На поверхности лимфоцитов он появляется только на стадии пре В-клетки. Активация происходит при связывании CD21 с опсонинами С3bi (инактивированная форма компонента комплемента С3b) на поверхности клетки, что сопровождается фосфорилированием мембранного белка CD19. Одновременно с экспрессией CD21 в цитоплазме преВ-клетки появляется μ -цепь IgM. После завершения геной перестройки В-клетка на своей поверхности экспрессирует полные молекулы иммуноглобулина, которые служат основой В-клеточного рецептора (BCR). Функция BCR заключается в связывании антигена и проведении сигнала внутрь клетки для дальнейшей дифференцировки и пролиферации лимфоцита. Цитоплазматическая часть мембранного sIgM состоит из трех аминокислотных остатков, которых недостаточно для формирования структурных мотивов, поэтому сигнал передается через ассоциированные с ним гликопротеиды Ig α и Ig β , которые подвергаются фосфорилированию. Мембранные мономеры IgM ориентированы Fab-областью по направлению к внешней среде, тогда как Fc-фрагмент находится в

контакте с клеточной поверхностью. S-IgM содержит на С-концах тяжелых цепей домены, образованные гидрофобными аминокислотами, которые удерживают молекулу Ig на наружной поверхности мембраны [4].

Наиболее многочисленную популяцию составляют В2-лимфоциты, которые дифференцируются в плазматические клетки и продуцируют все известные изотипы иммуноглобулинов с огромным разнообразием антигенных детерминант. Под действием антигена В2-лимфоциты начинают интенсивно делиться и на поверхности клеток появляются иммуноглобулины класса IgG, реже – IgA и IgE, вместо IgM и IgD, свойственных наивным В-клеткам, повышается частота мутаций [5]. Это вызывает формирование многочисленных новых вариантов рецепторов субклонов В-лимфоцитов. Если мутации приводят к ослаблению сродства рецептора к антигену и В-клетки не получают поддерживающих сигналов со стороны дендритных клеток, фиксирующих антиген, они подвергаются апоптозу. В случае повышения сродства рецептора к антигену клетки выживают и покидают фолликул, мигрируют в лимфатические узлы, селезенку, а также (особенно при вторичном ответе) в костный мозг, где дифференцируются в плазматические клетки и секретируют антитела. Антителами к различным антигенным детерминантам служат растворимые формы мембранных иммуноглобулинов В-клеток, а именно, гомологи антигенсвязывающих участков sIgM-рецептора В-клеток [6].

На сегодняшний день уже понятно, что в крови присутствует множество фенотипически различных популяций клеток. С использованием методов иммуноцитохимии возможен поиск в периферической крови наиболее характерных маркерных фенотипов клеток для определенного этапа иммуногенеза, что, с нашей точки зрения, целесообразно использовать для оценки эффективности вакцин. Но, несмотря на развитие современных технологий и методологий, как показывает ситуация с пандемией коронавируса, многие проблемы все еще остаются нерешенными. Поэтому детальное изучение клеточных реакций организма на различные типы патогенов имеет первостепенное значение для развития инфекционной иммунологии.

Цель исследований – определение фенотипического профиля В-клеток в периферической крови овец в процессе поствакцинального иммунного ответа на ассоциированную инактивированную вакцину.

Методика. Исследования проводили до введения вакцины, затем на 7-е, 14-е и 21-е сутки поствакцинального иммунного ответа. Ассоциированную, инактивированную вакцину против колибактериоза, сальмонеллеза, клебсиеллеза и протейной инфекции (Вакцина ОКЗ, ООО «Агровет») вводили здоровым овцам романовской породы в возрасте 1,5 лет (5 гол.) двукратно согласно инструкции производителя. Животных содержали в соответствии с ГОСТ 33215-2014. Лимфоциты крови выделяли методом центрифугирования в градиенте плотности Histopaque-1077 при 3000 об/мин. в течение 45 мин. Концентрацию мононуклеарных клеток в суспензии доводили до 1,0...0,5x10⁶ кл/мл. Количество В-клеток в крови определяли методом непрямого иммунопероксидазного окрашивания (ИПО) [7]. Для удаления экзогенных иммуноглобулинов 100 мкл взвеси мононуклеарных клеток крови обрабатывали 1 %-ным раствором лимонной кислоты в течение 1 мин., центрифугировали 5-кратно в фосфатном буфере (pH 7,2) при 1100 об/мин. по 5 мин. Взвесь клеток фиксировали этанолом на предметном стекле. Блокаду пероксидазы проводили 0,3 %-ным раствором переки-

си водорода в течение 10 мин. В качестве блокирующего раствора использовали 1 % ВСА (рН 7,2...7,4). Инкубировали 60 мин. при комнатной температуре и тщательно отмывали клетки. Затем к фиксированным клеткам добавляли моноклональные антитела к sIgM рогатого скота и к CD5,19,20,21-маркерам В-клеток человека (ООО «Сорбент»). Инкубировали в течение 60 мин. при комнатной температуре во влажной камере. В качестве вторичных антител использовали пероксидазный конъюгат IgG козы к Ig мыши. Для визуализации пероксидазы использовали набор для окрашивания с 3-амино-9-этилкарбазолом (АЕС Staining Kit «Sigma»). АЕС-позитивные клетки идентифицировали по красно-коричневому окрашиванию при просмотре препаратов под микроскопом (x1000). Общие иммуноглобулины класса G в сыворотке крови овец определяли методом простой радиальной иммунодиффузии.

Результаты и обсуждение. Эффективность иммунного ответа на вакцину напрямую зависит от химических реакций, происходящих с участием поверхностных рецепторов лимфоцита. Один из главных механизмов поствакцинального иммунного ответа – антителогенез, этапы которого можно определить по CD-профилю В-клеток.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что количество лейкоцитов достоверно повышается, по сравнению с фоновыми значениями, на 7-е и 14-е сутки первичного иммунного ответа и снижается на 7-е сутки вторичного иммунного ответа (см. табл.).

На 7-е сутки после введения инактивированных микробных клеток вакцинных штаммов *E.coli* 09:K99; *E.coli* 0138:K88; *S.dublin*; *S.enteritidis*; *S.typhimurium*; *Kl.pneumoniae*; *Pr. vulgaris*; *Pr. mirabilis*, в крови вакцинированных животных преобладали В-клетки с фенотипом CD19⁺sIgM⁺. Повышение количества CD5⁺CD19⁺sIgM⁺CD20⁺-лимфоцитов отмечали с 7-х суток и к 14-м суткам иммуногенеза их число было в 2,5 раза больше, чем до введения вакцины. Число лимфоцитов с фенотипом CD5⁺CD19⁺sIgM⁺(В1-клетки) в процессе поствакцинального иммунного ответа не изменялось.

Экспрессия CD21 характерна для незрелых и наивных В-клеток и снижается после клеточной активации.

CD-репертуар В-лимфоцитов крови овец в процессе иммунного ответа (M±m)

Показатель	Исходное значение	Сутки поствакцинального иммунного ответа		
		7-е	14-е	21-е
Лейкоциты тыс/мкл	7,0±1,2	16,8±3,6*	20,0±4,3*	10,0±1,5
CD5 ⁺ : % ¹	39,0±8,4	12,0±9,0	14,0±6,7	32,5±3,1
10 ⁶ /мл	2,73±0,5	2,4±1,3	2,8±1,0	3,2±2,1
CD19 ⁺ : %	48,4±11,3	51,6±16,4	33,7±8,9	55,0±15,0
10 ⁶ /мл	3,4±1,0	8,8±4,9*	6,6±2,9*	5,5±0,5
CD20 ⁺ : %	52,5±7,7	34,0±8,9	47,5±12,5	50,0±9,0
10 ⁶ /мл	3,7±1,3	5,8±1,8	9,6±1,8*	5,0±1,3
CD21 ⁺ : %	60,0±3,2	нет данных	37,4±2,0	40,0±6,4
10 ⁶ /мл	4,2±0,7		7,4±1,9	4,0±0,5
sIgM ⁺ : %	64,0±5,1	53,4±12,1	56,3±9,4	60,0±3,7
10 ⁶ /мл	4,5±0,9	9,0±3,9*	11,2±3,2*	6,0±1,0

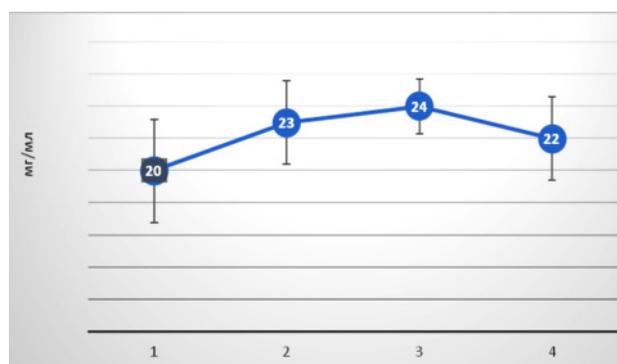
¹% – от лимфоцитов крови овец; 10⁶/мл – абсолютное количество клеток в 10⁶/мл;
*различия с исходным значением достоверны при p < 0,05.

ции. Так, на 7-е сутки вторичного иммунного ответа относительное количество CD21⁺ В-лимфоцитов уменьшилось в 1,5 раза.

В первые сутки поствакцинального иммунного ответа число CD5⁺CD19⁺sIgM⁺-клеток, которые затем посредством мутаций генов иммуноглобулинов и переключения изотипа трансформируются в плазматические клетки и В-клетки памяти, имеющие решающее значение для долгосрочного защитного эффекта вакцин, возросло с 1,8•10⁶ до 6,6•10⁶ кл/мл (p < 0,05). Дифференцировка В-лимфоцитов в клетки, секретирующие IgG-антитела, сопровождается интенсивным мутагенезом, в основном, в темных зонах зародышевых центров на стадии центробластов [8]. Реакция в зародышевом центре селезенки продолжается около 20 суток до появления клонов с более высоким сродством к антигену, чем у исходных клеток. Морфологически клетки памяти не отличаются от наивных В-лимфоцитов, но CD-репертуар меняется.

Известно, что В-клетки памяти отличаются низким и высоким сродством к антигену. Недостаточная аффинность BCR к антигену обеспечивает в первые сутки иммунного ответа поддержание полиреактивности В-клеток памяти, определяющей более широкий спектр взаимодействий с различными патогенами [9]. Попадание определённого антигена в организм вызывает образование клеток памяти не только к этому антигену, но и к другим патогенам. Субпопуляция В-клеток памяти с фенотипом CD19⁺sIgM⁺ аналогично наивным В-лимфоцитам может распознавать множество антигенов, но с более быстрым ответом на них. Повышение уровня В-клеток с фенотипом CD5⁺CD19⁺sIgM⁺CD20⁺CD21⁻ на 14-е сутки после вакцинации в 2,5 раза (p < 0,05) может косвенно свидетельствовать о присутствии в крови В-клеток памяти с низким сродством. Следует отметить, что в течение исследуемого периода поствакцинального иммунного ответа плотность экспрессии рецепторов на клеточной мембране В-лимфоцитов была низкой (CD^{lo}).

При изучении гуморального иммунитета выявлена тенденция к увеличению концентрации полиспецифических иммуноглобулинов класса G в сыворотке крови вакцинированных овец с 20,0 мг/мл (исходное значение) до 23,0 мг/мл на 7-е сутки и 24,0 мг/мл на 14-е сутки иммунного ответа (см. рисунок). Переключение лимфоцитов с продукции IgM на синтез иммуноглобулинов других изотипов происходит в результате комбинации повторяющихся участков переключения и делеции промежуточных S_H-генов.



Уровень IgG в сыворотке крови овец в процессе иммунного ответа: 1 – до вакцинации, 2 – 7-е; 3 – 14-е; 4 – 21-е сутки поствакцинального иммунного ответа.

Повышение уровня общих сывороточных IgG в процессе поствакцинального иммунного ответа коррелирует с нарастанием числа CD19⁺ ($r=0,8$), CD20⁺ ($r=0,89$), sIgM⁺-клеток ($r=0,95$). Такие ассоциации указывают на включение субпопуляции В2-лимфоцитов в процесс дифференцировки с образованием плазматических клеток, синтезирующих специфические антитела класса G. В свою очередь, низкие коэффициенты корреляции ($r=-0,1$) между показателями CD5⁺-клеток и содержанием IgG подтверждают независимость прайминга субпопуляций В-клеток.

Таким образом, современные данные о роли различных В-клеточных субпопуляций в поствакцинальном иммунном ответе свидетельствуют об актуальности этого направления исследований. Понимание того, как различные патогены индуцируют иммунорезистентные и модулируют их эффекты, имеет важное значение для разработки вакцинных препаратов. Фенотипическое разнообразие В-лимфоцитов дает возможность исследовать механизмы их пролиферации и дифференцировки для поиска маркерных показателей эффективного иммунного ответа. В результате проведенных исследований была установлена функциональная связь между показателями В2-клеток и уровнем общих иммуноглобулинов класса G. В процессе первичного и вторичного поствакцинального иммунного ответа показано повышение экспрессии В-клеточных рецепторов CD19, CD20 и sIgM на фоне их низкой плотности на клеточной мембране. Число В1-клеток после вакцинации не изменялось и было сравнимо с исходным значением. Следует отметить, что показатели полиспецифических IgG и CD-репертуара праймированных В-клеток в процессе первичного иммунного ответа были выше, чем те же параметры после введения бустерной дозы вакцины. В целом результаты исследований свидетельствуют о положительном влиянии вакцинации на антителогенез и согласуются с современными знаниями механизмов формирования иммунного ответа.

Литература.

1. *Naive B cells with high-avidity germline-encoded antigen receptors produce persistent IgM(+) and transient IgG(+) memory B cells* / K.A. Pape, R.W. Maul, T. Dileepan, et al. // *Immunity*. 2018. Vol. 48. No. 6. P. 1135–1143. doi: 10.1016/j.immuni.2018.04.019.
2. *Характеристика В1-клеток в процессе экспериментального лейкомогенеза* / И.Ю. Ездакова, О.В. Капустина, М.И. Гулюкин и др. // *Вопросы вирусологии*. 2020. №1. С. 35–40. doi: 10.36233/0507-4088-2020-65-1-35-40.
3. *Mesin L, Ersching J, Victora GD. Germinal Center B Cell Dynamics. Immunity*. 2016. Vol. 45. P. 471–482. doi: 10.1016/j.immuni.2016.09.001.
4. *Ездакова И.Ю. Рецепторы иммунного узнавания у животных*. М.: Компания Спутник+, 2008. 88 с.
5. *Human blood IgM “memory” B cells are circulating splenic marginal zone B cells harboring a prediversified immunoglobulin repertoire* / Weller S., Braun M.C., Tan B.K., et al. // *Blood*. 2004. Vol. 104. P. 3647–3654. doi: 10.1182/blood-2004-01-0346.
6. *Human immunoglobulin M memory B cells controlling Streptococcus pneumoniae infections are generated in the spleen* / Kruetzmann S., Rosado M.M., Weber H., et al. // *J Exp Med*. 2003. Vol. 197. P. 939–945. https://doi.org/10.1084/jem.20022020.
7. *Ездакова И.Ю., Капустина О.В. Определение В-клеток в крови крупного рогатого скота методом иммунопероксидазного окрашивания* // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2018. №3. С. 40–43.
8. *Сидорова Е. В. Что нам известно сегодня о В-клетках* // *Успехи совр. биол.* 2006. №3. С.227–241.
9. *Long-lived plasma cells in human bone marrow can be either CD19(+) or CD19(-)* / S.F. Brynjolfsson, M. Mohaddes, J. Karrholm, et al. // *Blood Adv*. 2017. Vol. 1. P. 835–838. doi: 10.1182/bloodadvances.2017004481.

Поступила в редакцию 07.09.2021

После доработки 30.09.2021

Принята к публикации 08.10.2021

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация

УДК 631.361.43

DOI: 10.31857/S2500262721060120

МЕТОД РАСЧЕТА ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНА В ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОМ ШЕЛУШИТЕЛЕ

Ю.Ф. Лачуга¹, академик РАН, **Р.И. Ибятгов²**, доктор технических наук,
Ю.Х. Шогенов¹, член-корреспондент РАН, **Б.Г. Зиганшин²**,
 доктор технических наук, **А.В. Дмитриев²**, кандидат технических наук

¹Российская академия наук,
 119991, Москва, Ленинский проспект, 32а
²Казанский государственный аграрный университет,
 420015, Казань, ул. К. Маркса, 65
 E-mail: zigan66@mail.ru

Рассматривается движение зерна в рабочем пространстве пневмомеханического шелушителя, образованном вращающимся лопастным диском и реверсивной декой, которая вращается вокруг лопастного диска в обратном направлении. Эффективность шелушения при работе указанного устройства определяют скорость зерновки и направление ее движения при ударе о деку. Из-за вращения лопастного диска и деки в разных направлениях в рабочем пространстве создаются зоны с противоположным движением воздушного потока. Возникают большие градиенты, которые необходимо учитывать через дифференциальные характеристики при расчете траектории полета зерновки. Исследования проводили с целью разработки математической модели движения зерновки, учитывающей изменчивость влияния вращающегося воздушного потока. Обсуждены существующие подходы моделирования многофазных сред, приведены их недостатки. Поэтому для достижения поставленной цели использовали комбинацию рассмотренных подходов, при которой векторное уравнение движения дисперсной частицы в лагранжевой системе координат решается с учетом скорости и дифференциальных характеристик сплошной среды в эйлеровой системе координат. В дифференциальном уравнении движения зерновки, записанном в лагранжевых координатах, вектор ее скорости заменяется относительной скоростью, которая в свою очередь определяют две скалярные величины – модуль относительной скорости и его направление. Для расчета введенных скалярных величин построены дифференциальные уравнения, в составе которых присутствуют скорости и дифференциальные характеристики воздушного потока в эйлеровой системе координат. При увеличении угла между радиус-вектором и направлением вектора скорости зерновки в момент срыва модуль относительной скорости уменьшается, а угол направления относительной скорости возрастает.

METHOD FOR CALCULATING THE TRAJECTORY OF GRAIN MOVEMENT IN PNEUMOMECHANICAL PEELING MACHINE

Lachuga Yu.F.¹, Ibyatov R.I.², Shogenov Yu.Kh.¹, Ziganshin B.G.², Dmitriev A.V.²

¹Russian Academy of Sciences,
 119991, Moscow, Leninsky prosp., 32a
²Kazan State Agrarian University,
 420015, Kazan, ul. K. Marxa, 65
 E-mail: zigan66@mail.ru

The paper considers the movement of grain in the working space of a pneumomechanical husker formed by a rotating blade disk and a reversible deck that rotates around the blade disk in the opposite direction. The efficiency of peeling in the case of operation of the described pneumomechanical husker is determined by the value of the grain speed and its direction of movement when hitting the deck. Due to the rotation of the blade disk and the deck in different directions, zones with opposite directions of air flow are created in the working space. Large gradients arise, which must be taken into account through its differential characteristics when calculating the grain flight path. The research was carried out in order to develop a mathematical model of grain movement that takes into account the variability of the influence of the rotating air flow. The existing approaches to modeling multiphase media are discussed, their disadvantages are presented. With this in mind, to achieve this goal, a combination of the above-mentioned approaches to modeling is used, when the vector equation of motion of a dispersed particle in a Lagrangian coordinate system is solved taking into account the velocities and differential characteristics of a continuous medium in an Eulerian coordinate system. In the differential equation of grain motion written in Lagrangian coordinates, the grain velocity vector is replaced by the relative velocity, which in turn is determined by two scalar quantities—the module of the relative velocity and its direction. To calculate the introduced scalar quantities, differential equations are constructed, which contain the velocities and differential characteristics of the air flow in the Eulerian coordinate system. The results of the numerical solution of the constructed differential equations are presented. The changes in the relative velocity modulus and its direction are shown for different values of the grain break angle from the edge of the disk.

Ключевые слова: пневмомеханический шелушитель, траектория зерна, интенсивный воздушный поток, лагранжевая система координат, эйлеровая система координат

Key words: pneumomechanical husker, grain trajectory, intensive air flow, Lagrangian coordinate system, Eulerian coordinate system

Рабочий орган машин для пневмомеханического шелушения зерна – лопастной диск (ротор), который вращается внутри закрытой сверху цилиндрической рабочей поверхности (деки). На него подается зерновой материал, разгоняемый и выбрасываемый в направлении деки, при ударе о которую происходит шелушение [1]. Результаты теоретических исследова-

ний взаимодействия зерновки с рабочими поверхностями такой машины [2, 3, 4] показали сложный характер ее движения после отрыва от лопастного диска и недостаточную изученность этого процесса.

Свободный полет зерновки после срыва с ротора можно считать горизонтальным из-за достаточно большой скорости и малого расстояния между лопастным

диском и декой, которая вращается вокруг лопастного диска в противоположную сторону. Следовательно, математическую модель ее движения можно строить в двухмерной постановке. При этом следует учитывать, что движение воздушного потока между вращающимися ротором и декой осесимметрично и стационарно.

На сегодняшний день для описания моделей суспензий жидкостей или газов с твердыми или жидкими частицами существуют разные подходы [5, 6, 7]. Согласно одному из них основой для решения множества практических задач служит феноменологическая теория многофазных, многоскоростных взаимопроникающих континуумов [8, 9, 10]. Многофазная среда представляется некоторым идеализированным математическим пространством, в каждой точке которого одновременно находятся частицы всех компонентов. Для каждой из них в каждой точке определяется плотность, скорость и другие параметры, относящиеся к той или иной составляющей смеси. Математическое моделирование такой среды основано на уравнениях типа Навье-Стокса, которые записывают для конкретной геометрической области течения и решают с учетом соответствующих граничных условий. Однако использование для каждой из фаз полной системы уравнений сохранения, записанных в эйлеровой системе координат, вызывает большие затруднения при реализации решения.

Другой подход к моделированию многофазных сред предусматривает использование уравнений динамики материальной точки, записанных в лагранжевой системе координат [11, 12]. Влияние сплошной среды учитывают через коэффициент сопротивления частицы в неоднородной среде, который определяют экспериментальным путем с учетом ее формы, вязкости потока и др. [13, 14, 15]. Однако траектория частицы, как правило, не совпадает с траекторией средней скорости основного потока. Это связано с тем, что локальные компоненты тензора напряжений сплошного потока, влияющие на траекторию частицы, неоднородны. Кроме того, в условиях больших градиентов воздушного потока не учитываются его дифференциальные характеристики, которые также оказывают сильное воздействие на траектории движения частицы. В этом состоит недостаток второго подхода.

Цель исследований – разработка математической модели движения зерна в рабочем пространстве пневмомеханического шелушителя с учетом изменчивости влияния параметров вращающегося воздушного потока.

Методика. При проведении исследований использовали комбинацию упомянутых подходов к моделированию многофазных сред, при которой векторное уравнение движения дисперсной частицы в лагранжевой системе координат решается с учетом скоростей и дифференциальных характеристик сплошной среды в эйлеровой системе координат.

Движение зерна в рабочем пространстве шелушителя после отрыва от лопастного диска можно описать с помощью дифференциального уравнения записанного в лагранжевых координатах [2, 3, 4]:

$$\frac{d\bar{U}_3}{dt} = -k(\bar{U}_3 - \bar{U}_a)^2, \quad (1)$$

где \bar{U}_3, \bar{U}_a – вектора скоростей зерна и воздушного потока, м/с;

$k = 3c_\mu \rho_a / 4d\rho_3$ – коэффициент парусности зерновки, 1/м (где c_μ – коэффициент сопротивления воздуш-

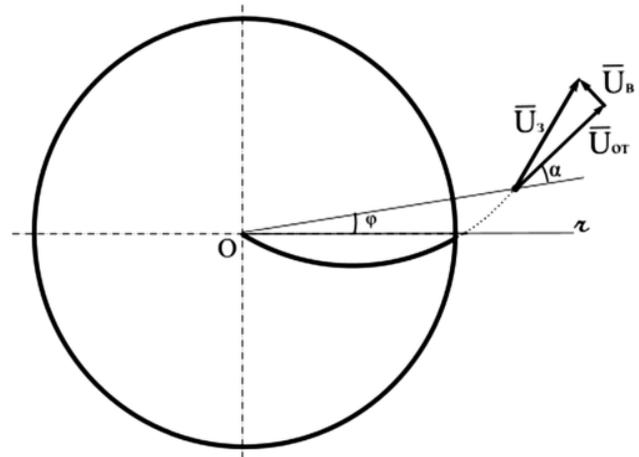


Рис. 1. К расчету траектории движения зерна ($\bar{U}_3, \bar{U}_a, \bar{U}_{om}$ – вектора скоростей зерновки, воздушного потока и относительной скорости, м/с; α – угол наклона относительной скорости, рад; (r, φ) – полярные координаты).

ному потоку, зависящий от формы зерна и свойств его поверхности; ρ_a – плотность воздуха, кг/м³; ρ_3 – плотность зерновки, кг/м³; d – эквивалентный диаметр зерновки, м).

Рассмотрим вектор относительной скорости $\bar{U}_{om} = \bar{U}_3 - \bar{U}_a$, который определяется с использованием модуля относительной скорости $u = |\bar{U}_{om}|$ и его направления. Направления относительной скорости зададим углом α , равным значению угла поворота от радиальной оси системы координат Or до вектора относительной скорости зерна (рис. 1). В качестве положительного направления угла поворота возьмем, как это принято в тригонометрии, направление против часовой стрелки. При этом диапазон изменения угла α в интервале $(0, \pi/2]$ будет соответствовать полету зерновки по направлению вращения ротора, в интервале $[-\pi/2, 0)$ – по направлению вращения деки. При $\alpha=0$ зерновка меняет направление своей окружной скорости. Поскольку ротор и дека вращаются в противоположных направлениях, между ними существует поверхность, где тангенциальная скорость воздушного потока равна нулю. На этой поверхности направление окружной скорости зерновки остается положительным, поскольку изменение ее знака происходит под действием обратного потока сплошной фазы.

Относительную скорость представим в виде вектора:

$$\bar{U}_{om} = (u \cos \alpha, u \sin \alpha) = u \bar{e} \quad (2)$$

где $\bar{e} = (e_r, e_z) = \cos \alpha \cdot i + \sin \alpha \cdot j$ – единичный вектор относительной скорости (i и j – орты цилиндрической системы координат (r, φ)).

С учетом введенного обозначения уравнение (1) примет вид:

$$\frac{d\bar{U}_3}{dt} = -ku^2 \bar{e}. \quad (3)$$

Поскольку $\bar{U}_3 = \bar{U}_a + \bar{U}_{om}$, левую часть этого уравнения с учетом (2) можно представить через относительную скорость и вектора скорости воздушного потока:

$$\frac{d\bar{U}_3}{dt} = \frac{d\bar{U}_a}{dt} + u \frac{d\bar{e}}{dt} + \frac{du}{dt} \bar{e}.$$

Тогда уравнение (3) примет вид:

$$\left(\frac{du}{dt} + ku^2\right)\bar{e} + u\frac{d\bar{e}}{dt} = -\frac{d\bar{U}_s}{dt}. \quad (4)$$

Распишем правую часть уравнения (4). Для полной производной воздушного потока имеем [9]:

$$\frac{d\bar{U}_s}{dt} = \frac{\partial\bar{U}_s}{\partial t} + \left(\frac{\partial\bar{x}}{\partial t} \cdot \bar{\nabla}\right)\bar{U}_s, \quad (5)$$

где $\bar{\nabla}$ – векторный дифференциальный оператор Гамильтона, компоненты которого частные производные по координатам

Слагаемое $\left(\frac{\partial\bar{x}}{\partial t} \cdot \bar{\nabla}\right)\bar{U}_s$ – производная вектора \bar{U}_s по направлению вектора $\frac{\partial\bar{x}}{\partial t}$. Первое слагаемое правой

части (5) характеризует локальное изменение скорости во времени из-за нестационарности поля скорости. Второе слагаемое называется конвективным членом, так как оно появляется только при движении сплошной среды. Так как слагаемое (5) – составная часть или осколок уравнения движения (3), который описывает конвекцию сплошной среды на траектории движения зерновки, можно представить $\frac{\partial\bar{x}}{\partial t} = \bar{U}_s$. Тогда, с учетом зависимости $\bar{U}_s = \bar{U}_s + \bar{U}_{om}$, соотношение (5) для стационарного случая запишется так:

$$\frac{d\bar{U}_s}{dt} = (\bar{U}_s \cdot \bar{\nabla})\bar{U}_s + (\bar{U}_{om} \cdot \bar{\nabla})\bar{U}_s.$$

В итоге, уравнение (4) примет вид:

$$\left(\frac{du}{dt} + ku^2\right)\bar{e} + u\frac{d\bar{e}}{dt} = -(\bar{U}_s \cdot \bar{\nabla})\bar{U}_s - (\bar{U}_{om} \cdot \bar{\nabla})\bar{U}_s. \quad (6)$$

Распишем правую часть уравнения (6) в цилиндрической системе координат $(r; \varphi)$. Для этого в начале выразим его через векторные функции. Воспользуемся известными формулами векторного анализа [16]:

$$\text{grad}(\bar{a} \cdot \bar{b}) = (\bar{a} \cdot \bar{\nabla})\bar{b} + (\bar{b} \cdot \bar{\nabla})\bar{a} + \bar{a} \times \text{rot}\bar{b} + \bar{b} \times \text{rot}\bar{a}$$

$$\text{rot}(\bar{a} \times \bar{b}) = -(\bar{a} \cdot \bar{\nabla})\bar{b} + (\bar{b} \cdot \bar{\nabla})\bar{a} + \bar{a} \text{div}\bar{b} - \bar{b} \text{div}\bar{a}$$

Сумма этих уравнений дает:

$$\frac{(\bar{b} \cdot \bar{\nabla})\bar{a} + (\bar{a} \cdot \bar{\nabla})\bar{b}}{\bar{a} - \bar{a} \text{div}\bar{b} + \bar{b} \text{div}\bar{a}} = [\text{grad}(\bar{a} \cdot \bar{b}) + \text{rot}(\bar{a} \times \bar{b}) - \bar{a} \times \text{rot}\bar{b} - \bar{b} \times \text{rot}\bar{a}] / 2 \quad (7)$$

Отсюда, при $\bar{a} = \bar{b} = \bar{U}_s$, после ряда достаточно громоздких преобразований получим [5, 9]:

$$(\bar{U}_s \cdot \bar{\nabla})\bar{U}_s = P_r \cdot \bar{i} + P_\varphi \cdot \bar{j}, \quad (8)$$

где $P_r = V_s \frac{\partial V_s}{\partial r} + \frac{W_s}{r} \frac{\partial V_s}{\partial \varphi} - \frac{W_s^2}{r}$,

$$P_\varphi = V_s \frac{\partial W_s}{\partial r} + \frac{W_s}{r} \frac{\partial W_s}{\partial \varphi} + \frac{V_s W_s}{r}.$$

Здесь через V_s, W_s обозначены компоненты вектора скорости воздушного потока, направленные по осям r и φ .

Если принять $\bar{a} = \bar{U}_s, \bar{b} = \bar{U}_{om}$, то зависимость (8) можно привести к виду

$$(\bar{U}_{om} \cdot \bar{\nabla})\bar{U}_s = E_r \cdot \bar{i} + E_\varphi \cdot \bar{j},$$

где $E_r = u \left[\cos \alpha \frac{\partial V_s}{\partial r} + \frac{\sin \alpha}{r} \frac{\partial V_s}{\partial \varphi} - \sin \alpha \frac{W_s}{r} \right]$,

$$E_\varphi = u \left[\cos \alpha \frac{\partial W_s}{\partial r} + \frac{\sin \alpha}{r} \frac{\partial W_s}{\partial \varphi} + \sin \alpha \frac{V_s}{r} \right].$$

С учетом полученных соотношений векторное уравнение (6) запишем по координатам r и φ . Так как

$$\frac{d\bar{e}}{dt} = (-\sin \alpha \cdot \bar{i} + \cos \alpha \cdot \bar{j}) \frac{d\alpha}{dt},$$

уравнение (6) примет вид:

$$\begin{aligned} & \left[\left(\frac{du}{dt} + ku^2 \right) \cos \alpha - u \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt} \right] \cdot \bar{i} + \\ & + \left[\left(\frac{du}{dt} + ku^2 \right) \sin \alpha + u \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt} \right] \cdot \bar{j} = \\ & = -(P_r + E_r) \cdot \bar{i} - (P_\varphi + E_\varphi) \cdot \bar{j}. \end{aligned}$$

Отсюда:

$$\left(\frac{du}{dt} + ku^2 \right) \cos \alpha - u \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt} = -P_r - E_r, \quad (9)$$

$$\left(\frac{du}{dt} + ku^2 \right) \sin \alpha + u \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt} = -P_\varphi - E_\varphi. \quad (10)$$

Рассмотрим сумму уравнений (8) и (9), умноженных соответственно на $\cos \alpha$ и $\sin \alpha$. После несложных преобразований получим обыкновенное дифференциальное уравнение для модуля относительной скорости:

$$\frac{du}{dt} = -ku^2 - (P_r + E_r) \cos \alpha - (P_\varphi + E_\varphi) \sin \alpha. \quad (11)$$

Теперь из уравнения (9), умноженного на $\cos \alpha$, вычтем уравнение (8), умноженное на $\sin \alpha$. В результате дальнейших преобразований получим обыкновенное дифференциальное уравнение относительно угла α :

$$\frac{d\alpha}{dt} = (P_r + E_r) \frac{\sin \alpha}{u} - (P_\varphi + E_\varphi) \frac{\cos \alpha}{u}. \quad (12)$$

Таким образом, для определения модуля относительной скорости зерновки и ее направления получена система двух скалярных уравнений (11)-(12), которые могут быть решены численно. Для этого с учетом скоростей зерновки и воздушного потока у кромки диска были выбраны следующие начальные условия:

$$u(0) = \sqrt{|\bar{U}_s|^2 + |\bar{U}_s|^2 - 2|\bar{U}_s||\bar{U}_s| \sin \beta},$$

$$\alpha(0) = \beta - \arcsin \left(\frac{|\bar{U}_s|}{u(0)} \cos \beta \right).$$

Через β обозначен угол между радиус-вектором и направлением вектора скорости зерновки в момент срыва. Характеристики воздушного потока задавали по результатам ранее проведенных исследований [4].

Результаты и обсуждение. Анализ влияния направления вектора скорости зерна в момент ее срыва с кромки диска на модуль относительной скорости u и угол ее наклона α свидетельствует, что при увеличении

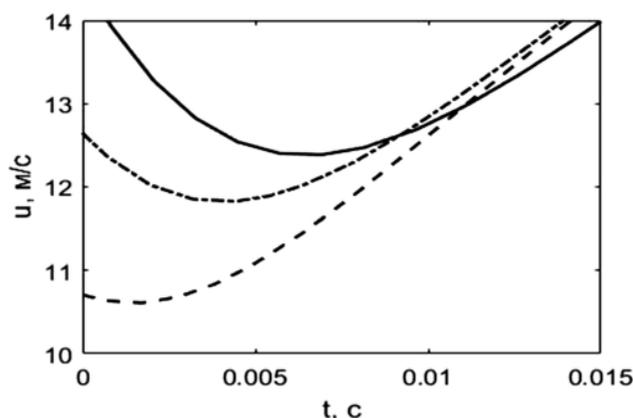


Рис. 2. Изменение модуля относительной скорости зерновки при различных значениях угла срыва: сплошная линия – $\beta = 20^\circ$, штрихпунктирная линия – $\beta = 30^\circ$, пунктирная линия – $\beta = 40^\circ$.

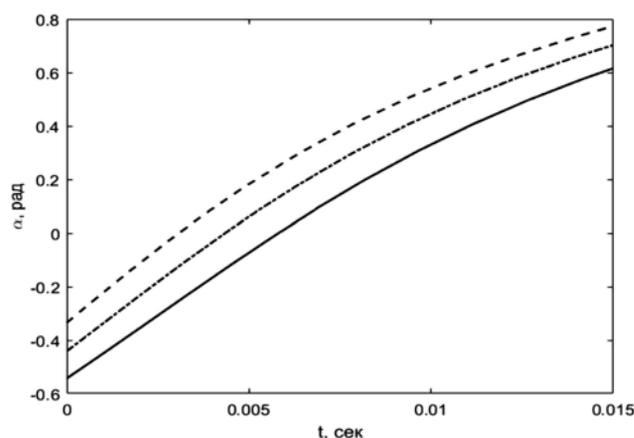


Рис. 3. Изменение угла наклона относительной скорости зерновки при различных значениях угла срыва: сплошная линия – $\beta = 20^\circ$, штрихпунктирная линия – $\beta = 30^\circ$, разрывная линия – $\beta = 40^\circ$.

угла β модуль относительной скорости уменьшается (рис. 2), поскольку направления векторов \vec{U}_3 и \vec{V}_3 становятся более согласованными. При увеличении угла срыва β угол направления относительной скорости α тоже возрастает (рис. 3). Такое изменение естественно, поскольку угол наклона вектора \vec{U}_{om} отсчитывается от радиальной оси системы координат Ox .

При известных значениях u , α и характеристик воздушного потока, траектория зерновки может быть рассчитана с использованием следующих уравнений:

$$\frac{dr}{dt} = V_0 + u \cdot \cos \alpha + (W_0 + u \cdot \sin \alpha) \frac{\sin \varphi}{\cos^2 \varphi},$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{W_0 + u \cdot \sin \alpha}{r}.$$

Таким образом, получены обыкновенные дифференциальные уравнения для расчета траектории движения зерновки в лагранжевой системе координат. Построенная математическая модель позволяет учитывать компоненты скоростей воздушного потока, описываемых в эйлеровой системе координат, а также его дифференциальные характеристики.

Литература.

1. Нуруллин Э.Г. Пневмомеханические шелушители зерна (теория, конструкция, расчет). Казань: Казан. ун-т, 2011. 308 с.
2. Simulation of the Grain Trajectory along Working Bodies of the Pneumatic Mechanical Dehuller / Y.F. Lachuga, R.I. Ibyatov, B.G. Ziganshin, et al. // Russian Agricultural Sciences. 2020. Vol. 46. P. 534–538.
3. Mathematical modeling of the grain trajectory in the workspace of the sheller with rotating decks / R. Ibyatov, A. Dmitriev, B. Ziganshin, et al. // International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources». 2020. Vol. 17. 00093. URL: https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/full_html/2020/01/bioconf_fies2020_00093/bioconf_fies2020_00093.html (дата обращения: 08.06.2021). doi: 10.1051/bioconf/20201700093.
4. Ибятов Р.И., Дмитриев А.В., Лотфуллин Р.Ш. Исследование движения зерна в рабочем пространстве пневмомеханического шелушителя // Техника и оборудование для села. 2018. №2. С. 18–21.
5. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. М.: Энергоиздат, 1981. 472 с.
6. Струминский В.В. К кинетической теории газов и дисперсных сред // Прикладная математика и механика. 1986. Т. 50, № 6. С. 911–917.
7. Нгуен В. Д. К обобщенной диффузионной теории смесей // Успехи механики. 1988. Т. 11. № 1/2. С. 55–79.
8. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987. Ч.1. 464 с.
9. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. М.: Наука, 1978. 336 с.
10. Шугрин С.М. Двухскоростная гидродинамика и термодинамика // Прикладная механика и техническая физика. 1994. № 4. С. 41–59.
11. Упрощенная модель движения капли в газовом потоке / А.М. Бренер, Н.П. Болгов, М.Т. Казиев и др. // Теоретические основы химических технологий. 1987. Т. 21. № 1. С. 126–130.
12. Холпанов Л.П., Ибятов Р.И. Математическое моделирование динамики дисперсной фазы // Теоретические основы химических технологий. 2005. Т. 39. № 2. С. 206–215.
13. Ibyatov R.I., Kholpanov L.P., Murtazin T.Sh. Mathematical simulation of a twisted flow in a cylindrical-conical hydrocyclone // Heat Transfer Research. 2010. Vol. 41. № 1. С. 41–57.
14. Некрасов А.К., Некрасова Е.И., Холпанов Л.П. Математическое моделирование динамики дисперсной фазы при неизотермической свободной конвекции гетерогенной среды в вертикальном цилиндрическом реакторе // Теоретические основы химической технологии. 2008. Т. 42. № 2. С. 152–160.
15. Холпанов Л.П., Некрасов А.К. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена в реакторе плазматрона при высокотемпературной обработке дисперсных материалов // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. № 17. С. 78–86.
16. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления. М.: Наука, 1965. 427 с.

Поступила в редакцию 04.09.2021
После доработки 25.09.2021
Принята к публикации 08.10.2021

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ САДОВ ИНТЕНСИВНОГО И СУПЕРИНТЕНСИВНОГО ТИПА

А.А. Завражнов¹, кандидат технических наук, А.И. Завражнов², академик РАН,
Б.С. Мишин², кандидат технических наук

¹Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина,
393774, Мичуринск, Тамбовская обл., ул. Мичурина, 30
E-mail: noc-inteh@yandex

²Мичуринский государственный аграрный университет,
393760, Мичуринск, Тамбовская обл., ул. Интернациональная, 101
E-mail: aiz@mgau.ru

Основная задача современного садоводства – повышение урожайности и степени интенсивности промышленных садов. Под степенью интенсивности сада сегодня понимают число деревьев на единицу площади. Однако до сих пор не определен инструментарий, позволяющий количественно оценивать показатели интенсивности промышленных садов различного типа. Для решения этой задачи предлагается использовать математические зависимости, аппроксимированные сигмовидными логистическими функциями. По результатам математического моделирования с их использованием при анализе урожайности и продуктивности промышленных яблоневых садов в средней полосе России определено, что с увеличением плотности посадки с 1481 дер./га (4,5 × 1,5 м) до 9524 дер./га (1,5 × 0,7 м) предельная урожайность и показатели интенсивности возрастают практически в 2 раза при одновременном снижении времени вхождения в режим максимальной урожайности. При этом на режимах максимального роста и угасания промышленных яблоневых садов происходит изменение урожайности с 25,45 т/га (схема посадки 4,5 × 1,5 м) до 44,56 т/га (схема посадки 1,5 × 0,7 м) при максимумах соответственно 35,25 т/га и 70,00 т/га. Полученные с использованием сигмовидных логистических функций значения урожайности и коэффициенты, определяющие степень интенсивности и продуктивности промышленных садов, можно применять при проектировании новых и прогнозировании динамики развития уже существующих промышленных садов. Установлена количественная зависимость между интенсивностью промышленных садов и продуктивностью деревьев.

MATHEMATICAL MODELLING OF PRODUCTIVITY AND DEVELOPMENT DYNAMICS OF INDUSTRIAL GARDENS OF INTENSIVE AND SUPER-INTENSIVE TYPE

Zavrzhnov A.A.¹, Zavrzhnov A.I.², Mishin B.S.²

¹Michurin Federal Scientific Center,
393774, Tambovskaya obl., Michurinsk, ul. Michurina, 30
E-mail: noc-inteh@yandex

²Michurinsk State Agrarian University
393760, Tambovskaya obl., Michurinsk, ul. Internatsional'naya, 101
E-mail: aiz@mgau.ru

The main task of modern horticulture is to increase the yield and intensity of industrial gardens. The degree of intensity of the garden today is understood as the number of trees per unit area. However, the suite of tools for quantifying the intensity indicators of industrial gardens of various types has not yet been determined. To solve this problem, it is proposed to use mathematical dependences approximated by sigmoid logistic functions. They were used for mathematical modelling in the analysis of the yield and productivity of industrial apple orchards in central Russia. As a result, it was found that with an increase in planting density from 1481 trees/ha (4.5 × 1.5 m) to 9524 trees/ha (1.5 × 0.7 m), the maximum yield and intensity indicators increase almost 2 times while reducing the time to enter the maximum yield mode. At the same time, in the modes of maximum growth and extinction of industrial apple orchards, an increase in yield occurs from 25.45 t/ha with a maximum value of this indicator of 35.25 t/ha to 44.56 t/ha with a maximum of 70.00 t/ha. The yield values and coefficients that determine the degree of intensity and productivity obtained using sigmoid logistic functions can be used when designing new gardens and predicting the development dynamics of existing industrial gardens. The quantitative relationship between the intensity and productivity of industrial gardens is determined by the values of the absolute exponents of the degrees of the equations of their logistic trends. It is equal to $0.32 + 0.68 = 1$.

Ключевые слова: интенсивный и суперинтенсивный промышленный сад, урожайность, степень интенсивности, математическая модель, сигмовидные логистические функции

Key words: intensive and super-intensive industrial garden; yield; intensity degree; mathematical model; sigmoid logistic functions

На сегодняшний день одно из основных направлений развития промышленного садоводства в мире – закладка и эксплуатация садов интенсивного и суперинтенсивного типа. В современном понимании степень интенсивности сада определяет количество деревьев на единицу площади. Так, по классификации «Правил предоставления и распределения субсидий на поддержку отдельных подотраслей растениеводства», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации №1295 от 12.12.2012, к интенсивному типу промышленных садов относятся насаждения с плотностью посадки более 800 деревьев на 1 га, к суперинтенсивному – более 2500 деревьев на 1 га. Ос-

новная цель уплотнения посадки плодовых насаждений – увеличение их урожайности и ускорение начала товарного (коммерческого) плодоношения [1, 2, 3].

В связи с этим, возникает необходимость достоверной оценки урожайности и динамики развития интенсивных и суперинтенсивных садов на протяжении их жизненного цикла.

Цель исследования – обоснование и разработка математической модели динамики развития промышленных садов различного типа для достоверной оценки урожайности на протяжении их жизненного цикла.

Методика. Обоснование математической модели проводили на примере оценки урожайности промышлен-

Табл. 1. Матрица урожайности промышленных яблоневых садов интенсивного и суперинтенсивного типа, т/га*

Год	Тип яблоневого промышленного сада			
	интенсивный		суперинтенсивный	
	плотность, дер./га (схема посадки, м)			
	1481 (4,5×1,5)	2500 (4,0×1,0)	3333 (3,0×1,0)	9524 (1,5×0,7)
подвои				
	54-118, 62-396	62-396, P60	ПБ (B9), M9	ПБ (B9), M9
1	0	1,1	3,3	5
2	0,8	5,5	10	15
3	3,3	10,2	15	25
4	5,1	15	25	40
5	10,1	19,2	30	50
6	14,6	25,1	40	60
7	20,8	35,7	50	70
8	24,2	39,2	55	70
9	29,8	45,2	55	70
10	33	45,6	55	70
11	35,1	44,2	54	68
12	35,7	45	53	68
13	35,2	45,9	54	65
14	35,8	45,4	50	45
15	35	42	43	30
16	34,5	40	39,5	20
17	34,2	34,9	25	15
18	29,4	25,3	19,7	5
19	25	20,8	10,3	0
20	20	15,3	5	0
21	15,5	9,9	0	0
22	15,2	4,8	0	0
23	9,8	0	0	0
24	9,5	0	0	0
25	5,2	0	0	0

*в составлении матрицы урожайности принимали участие Ю.В. Трунов и А.В. Савельев

ленных яблоневых садов интенсивного и суперинтенсивного типа с различной плотностью посадки для средней полосы России. Оценку и прогноз урожайности осуществляли на основании анализа статистических данных [4, 5, 6]. Основными ограничениями и допущениями были отсутствие периодичности урожайности и однотипные технологии возделывания для всех насаждений.

Аппроксимация графиков урожайности, построенных по результатам ее прогноза (табл. 1), полиномами 3 степени (с использованием пакетов программ EXCEL, MATLAB и MATHCAD) позволила получить регрессионные модели (табл. 2) урожайности промышленных яблоневых садов интенсивного и суперинтенсивного типа.

Адекватность регрессионных моделей оценивали с использованием коэффициентов детерминации R^2 , значения которых для рассматриваемых типов садов были равны 0,99 (см. табл. 2), что определяет практически функциональную связь между переменными регрессионных моделей.

Визуальная оценка аппроксимированных функций и их высокая адекватность позволяют отнести эти ре-

Табл. 2. Регрессионные модели урожайности промышленных яблоневых садов интенсивного и суперинтенсивного типа для средней полосы России

обозначение	Тип сада		Регрессионная модель	Оценка адекватности модели
	плотность, дер./га (схема, м)			
①	1481 (4,5×1,5)		$y = -0,06 x^3 + 1,22 x^2 - 2,91 x + 1,76$	$R^2 = 0,99$
②	2500 (4,0×1,0)		$y = -0,08 x^3 + 1,33 x^2 - 0,84 x + 1,61$	$R^2 = 0,99$
③	3333 (3,0×1,0)		$y = -0,15 x^3 + 2,13 x^2 - 1,03 x + 3,24$	$R^2 = 0,99$
④	9524 (1,5 ×0,7)		$y = -0,23 x^3 + 2,67 x^2 - 1,79 x + 4,13$	$R^2 = 0,99$

грессионные модели к семейству, так называемых, сигмовидных функций – математических функций, применяемых для исследования динамически развивающихся сложных систем и процессов на протяжении их жизненного цикла.

Жизненный цикл промышленного сада (как и всех динамически развивающихся сложных систем и процессов) можно условно разделить на три стадии: роста (развития); стабильности; снижения (угасания). Причем кривые, отражающие стадии роста (развития) и снижения (угасания) имеют S-образную форму, что позволяет отнести их к так называемым логистическим функциям, которые определяют законы развития сложных систем (процессов) и служат частным случаем сигмовидных функций.

Большой вклад в исследование законов такого рода внес Пьер-Франсуа Ферхюльст [7]. В отличие от подхода П.Г. Шитта, который разделял весь жизненный цикл плодового дерева на девять возрастных периодов, отличающихся соотношением роста вегетативных частей, плодоношения и усыхания [7], в основу модели жизненного цикла промышленного сада, согласно логистическому подходу Ферхюльста, положена урожайность, а весь жизненный цикл разделен на 7 периодов (рис. 1). При этом стадии роста и угасания в жизненных циклах сложных систем и процессов можно условно разделить на следующие периоды:

- 1 и 7 – периоды медленного роста или угасания, в основном имеющие экспоненциальный характер;
- 2 и 6 – периоды интенсивного роста или угасания,



Рис. 1. Теоретические графики сигмовидной функции и ее производной на участках роста и угасания промышленного сада: $f(x)$ и $f'(x)$ – сигмовидные функции и их производные, K_1 и K_2 – максимальные абсолютные значения угловых коэффициентов наклона сигмовидных функций $f(x)$, $У$ – урожайность в течении 7 периодов жизненного цикла сада, L – максимальная урожайность для определенного типа сада.

отражающие их кривые имеют почти линейный характер;

3 и 5 – периоды замедляющегося роста или начала угасания, отображаются кривым, имеющими гиперболический характер и стремящимися на стадии роста к определенному уровню насыщения (сатурации) L , который определяет максимально возможную урожайность для конкретного типа сада, а на стадии угасания – к нулевое ее величине.

Оценить динамику развития промышленных садов и степень их интенсивности можно путем сравнения величин углового коэффициента K (определяющего крутизну наклона функции $f(x)$ на участке основного роста) и насыщения L (предельная максимальная урожайность для определенного типа сада). Для промышленных садов с различными схемами и плотностью посадки более высокие значения K и L характеризуют ускоренное вхождение в период коммерческого плодоношения и повышенную урожайность.

Математические выражения S-образных участков логистических функций и их производных будут иметь следующий вид (<https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/activation-functions/>): для стадии роста

$$f(x) = \frac{L}{1 + e^{-b(x-c)}}, \quad f'(x) = \frac{Lbe^{b(x-c)}}{(1 + e^{b(x-c)})^2} \quad (1)$$

для стадии угасания

$$f(x) = \frac{L}{1 + e^{b(x-c)}}, \quad f'(x) = \frac{Lbe^{-b(x-c)}}{(1 + e^{-b(x-c)})^2} \quad (2)$$

где L – предел, к которому стремятся функции; b – коэффициент крутизны кривых; c – коэффициент, от которого зависит плавность кривых в начале и конце.

Например, для стадии роста (1) промышленного сада: L – предельно максимальная урожайность для определенного типа сада; b – скорость (быстрота, резкость) перехода от режима медленного роста (развития) к режиму стабильного развития и выхода на максимальную урожайность; c – продолжительность вхождения в режим максимальной урожайности (чем выше величина этого коэффициента, тем дольше сад находится в режиме перехода на максимальную урожайность).

Результаты и обсуждение. Статистическая обработка данных матрицы урожайности (см. табл. 1) и их аппроксимация формулами 1 и 2 позволили определить численные значения коэффициентов этих формул (табл. 3), а затем построить математические модели урожайности и динамики развития яблоневых промышленных садов различного типа. Значения коэффициентов детерминации (R^2) для всех формул находились на уровне 0,98...0,99, что указывает на высокую адекватность математических моделей.

Анализ графиков указанных функций $f(x)$ и их производных $f'(x)$ свидетельствует, что на режимах максимального роста и угасания (наибольшие абсолютные значения коэффициента K) урожайность U увеличивается с 25,45 т/га при максимальной урожайности L 35,25 т/га до 44,56 т/га при максимальной урожайности L 70,00 т/га (рис. 2).

Абсолютные значения производных функций равны

Табл. 3. Математические модели урожайности и динамики развития промышленных яблоневых садов интенсивного и суперинтенсивного типа для средней полосы России

Стадия роста	Стадия угасания
Интенсивный сад на подвоях 54-118, 62-396; 1481 дер./га (4,5 × 1,5 м)	
$f(x) = \frac{35.25}{1 + e^{-0.75(x-7)}}$	$f(x) = \frac{35.25}{1 + e^{0.5(x-22)}}$
$f'(x) = \frac{26.625e^{-0.75x+5.25}}{(1 + e^{-0.75x+5.25})^2}$	$f'(x) = \frac{18.25e^{0.5x-11}}{(1 + e^{0.5x-11})^2}$
Интенсивный сад на подвоях 62-396, P60; 2500 дер./га (4 × 1 м)	
$f(x) = \frac{45}{1 + e^{-0.75(x-5.25)}}$	$f(x) = \frac{45}{1 + e^{0.55(x-19)}}$
$f'(x) = \frac{34.125e^{-0.75x+4.3125}}{(1 + e^{-0.75x+4.3125})^2}$	$f'(x) = \frac{25.25e^{0.5x-9.5}}{(1 + e^{0.5x-9.5})^2}$
Суперинтенсивный сад на подвоях ПБ (B9), M9; 3333 дер./га (3 × 1 м)	
$f(x) = \frac{55}{1 + e^{-0.75(x-5)}}$	$f(x) = \frac{55}{1 + e^{(x-18)}}$
$f'(x) = \frac{41,25e^{-0.75x+3,75}}{(1 + e^{-0.75x+3,75})^2}$	$f'(x) = \frac{54e^{x-18}}{(1 + e^{x-18})^2}$
Суперинтенсивный сад на подвоях ПБ (B9), M9; 9524 дер./га (1,5 × 0,7 м)	
$f(x) = \frac{70}{1 + e^{-0.75(x-4,25)}}$	$f(x) = \frac{70}{1 + e^{(x-16)}}$
$f'(x) = \frac{52,5e^{-0.75x+3,1875}}{(1 + e^{-0.75x+3,1875})^2}$	$f'(x) = \frac{70e^{x-16}}{(1 + e^{x-16})^2}$

угловым коэффициентам K , которые, в свою очередь, определяют степень интенсивности промышленных садов, а также характеризуют скорость их вхождения в период коммерческого плодоношения и уровень урожайности. Результаты анализа формул (см. табл. 3) и графиков (см. рис. 2) свидетельствуют, что для промышленных яблоневых садов с увеличением плотности их посадки с 1481 дер./га (4,5 × 1,5 м) до 9524 дер./га (1,5 × 0,7 м) величины L (предельная урожайность) и K (угловой коэффициент интенсивности) возрастают практически в 2 раза (табл. 4) при одновременном снижении времени вхождения в режим максимальной урожайности (коэффициент c).

Известно, что увеличение степени интенсивности промышленных садов путем уплотнения посадки плодовых деревьев сопровождается снижением их продуктивности [8]. Однако количественно эта зависимость до сих пор не подтверждена.

Для решения этой задачи разработан подход, предусматривающий представление суммарной урожайности (общий сбор за период коммерческого плодоношения – более 10 т/га) и средней продуктивности плодовых деревьев за коммерческий период в относительных единицах. При этом относительная суммарная урожайность S_y определяется из выражения:

Табл. 4. Количественные показатели урожайности и степени интенсивности промышленных яблоневых садов интенсивного и суперинтенсивного типа

Тип сада	Стадия роста					Стадия угасания			
	<i>L</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>K</i>	<i>У</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>K</i>	<i>У</i>
①	35,25	0,75	7,00	6,65	25,45	0,5	22	-4,46	22,71
②	45,00	0,75	5,25	8,53	33,01	0,5	19	-6,18	33,43
③	55,00	0,75	5,00	10,31	37,66	1	18	-12,47	47,56
④	70,00	0,75	4,25	13,12	44,56	1	16	-16,17	51,17

$$S_y = \frac{Y_i}{Y_{\max}}, \quad (3)$$

где Y_{\max} – наивысшая суммарная урожайность сада определенного типа (для нашего случая – это промышленный сад с плотностью посадки 9524 дер./га – Y_{9524}), т/га; Y_i – урожайность сада анализируемого типа, т/га.

Относительная средняя продуктивность S_{II} рассчитывается по формуле:

$$S_{II} = \frac{P_i}{P_{\max}}, \quad (4)$$

где P_{\max} – наивысшая средняя продуктивность определенного типа сада (для нашего случая – это промышленный сад с плотностью посадки 1481 дер./га – P_{1481}), кг/дер.; P_i – средняя продуктивность сада анализируемого типа, кг/дер.

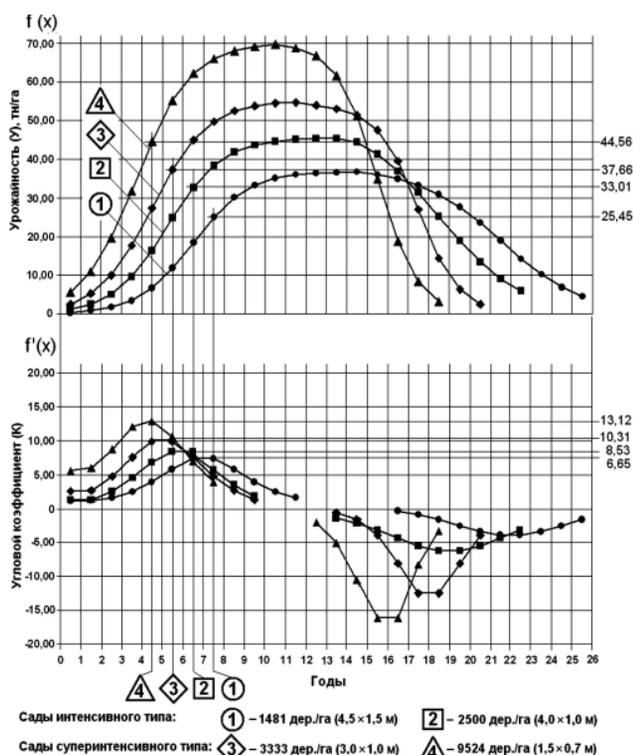


Рис. 2. Графики функций и их производных, характеризующих урожайность и степень интенсивности промышленных яблоневых садов.

Табл. 5. Матрица относительной суммарной урожайности и относительной средней продуктивности промышленных яблоневых садов различного типа в период коммерческого плодоношения

Тип сада	Средняя суммарная урожайность (Y_i) в период коммерческого плодоношения, т/га	Относительная суммарная урожайность (S_y)	Средняя продуктивность (P_i) в период коммерческого плодоношения, кг/дер.	Относительная продуктивность (S_{II})
①	26,8	0,55	18,1	1,00
②	33,0	0,68	13,2	0,73
③	38,0	0,78	11,4	0,63
④	48,8	1,00	5,1	0,28

Анализ абсолютных значений средней суммарной урожайности Y_i и средней продуктивности P_i , рассчитанных на основе матрицы урожайности (см. табл. 1), а также относительной суммарной урожайности S_y и относительной средней продуктивности S_{II} , установленных по формулам (3) и (4), подтверждает, что повышение урожайности промышленных садов путем увеличения плотности посадки сопровождается снижением продуктивности плодовых деревьев (табл. 5).

Построенные на основании проведенных расчетов логистические тренды (рис. 3) характеризуются следующими степенными зависимостями:

$$Y = 0,0564 X^{0,32} (R^2 = 0,97), \quad (5)$$

$$Y = 155,36 X^{-0,68} (R^2 = 0,99) \quad (6)$$

где X – плотность посадки, дер./га.

Причем эта связь весьма тесная, так как сумма абсолютных значений показателей степеней (0,32 и 0,68) в зависимостях (5) и (6) равна 1.

Таким образом, результате проведенного исследования получены математические модели, адекватно описывающие урожайность, динамику развития и сте-

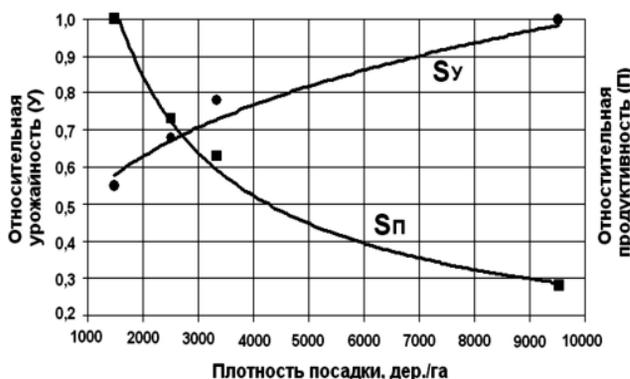


Рис. 3. Логистические тренды относительной суммарной урожайности (S_y) и относительной средней продуктивности (S_{II}) в зависимости от плотности посадки.

пень интенсивности промышленных яблоневых садов различного типа на протяжении их жизненного цикла для средней полосы России.

Математические модели представлены сигмовидными логистическими функциями, которые определяют стадии логистического роста и снижения урожайности в процессе развития («взрождения») сада

Полученные зависимости позволяют количественно оценивать степень интенсивности промышленных садов с различной плотностью посадки с последующим использованием расчетных значений при проектировании промышленных садов и прогнозировании динамики развития уже существующих.

Литература

1. Трунов Ю.В., Завражнов А.А., Еремеев Д.Н. Повышение эффективности российского садоводства на основе использования интенсивных типов садов и машинных технологий их возделывания // *Достижения науки и техники АПК*, 2013. №4. С. 41-43.
2. *Плодоводство: учебное пособие* / Ю.В. Трунов, Е.Г. Самощенко, Т.Н. Дорошенко и др. Мичуринск: ООО «Квадро», 2019. 416 с.
3. Куликов И.М., Минаков И.А. Развитие садоводства в России: тенденции, проблемы, перспективы // *Аграрная наука Евро-Северо-Восток*. 2017. №1(56). С. 9–15.
4. Минаков И.А., Куликов И.М. Проблемы и перспективы развития садоводства России // *Садоводство и виноградарство*. 2018. №6. С. 40–46.
5. Завражнов А.А., Завражнов А.И., Ланцев В.Ю. Передовые производственные технологии в решении проблем механизации трудоемких процессов в промышленном садоводстве // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. Т. 31. №8. С. 58–62.
6. Трунов Ю.В. Проблемы развития садоводства России как управляемой развивающейся системы // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2015. № 42. С. 297–299.
7. Вайсштейн Э. В. Логистическое уравнение. URL: <https://mathworld.wolfram.com/LogisticEquation.html> (дата обращения)
8. Babushkin V.A., Zavrzhnov A.I., Zavrzhnov A.A. Technology and machinery for intensive Russia horticulture // *Ecology, Environment and Conservation*. 2015. Vol. 21. Suppl. Issue August. P. 11–12.

Поступила в редакцию 06.07.2021

После доработки 18.08.2021

Принята к публикации 24.09.2021

Перечень статей, опубликованных в 2021 году

<i>№ 1</i>	
<i>Растениеводство</i>	
Грабовец А.И., Крохмаль А.В. Модель сорта озимого тритикале на Дону 3	виноградников под влиянием изменений региональных метеорологических параметров 38
Гультяева Е.И., Тюнин В.А., Шрейдер Е.Р., Кушниренко И.Ю., Шайдаук Е.Л., Коваленко Н.М., Бондаренко Н.П., Колесова М.А. Селекция яровой мягкой пшеницы на устойчивость к листовостебельным болезням на Южном Урале 8	<i>Животноводство</i>
Путилина Л.Н., Грибанова Н.П., Лазутина Н.А. Комплексная оценка и отбор отечественного селекционного материала сахарной свёклы по продуктивности и технологическому качеству 13	Вертипрахов В.Г. Торможение экзокринной функции поджелудочной железы при яйцекладке у кур-несушек 42
Виноградов Д.В., Мажайский Ю.А., Новикова А.В., Лупова Е.И. Продуктивность сортов льна масличного в зависимости от сроков посева в Нечерноземной зоне России 17	Боголюбова Н.В., Романов В.Н., Багиров В.А. Метаболический профиль коров при коррекции питания в конце сухостойного периода и начале лактации 47
<i>Методология</i>	<i>Ветеринария</i>
Утенков Г.Л., Рапопорт Э.О., Власенко А.Н. Синтез агротехнологий для управления продуктивностью агроценозов в Сибири 21	Волкова Г.С., Куксова Е.В., Сербя Е.М. Профилактика микотоксикозов у цыплят-бройлеров при использовании в рационе кормов, контаминированных микотоксинами 51
<i>Защита растений</i>	Мифтахутдинов А.В., Сайфульмулюков Э.Р., Ноговицина Е.А. Эффективность применения стресспротекторной кормовой добавки в бройлерном птицеводстве 55
Комарова А.С., Человечкова В. В. Динамика разложения ацетамиприда в ягодах и соке винограда 26	Исаев Ю.Г., Сотников А.Н., Гулюкин М.И., Степанова Т.В. Современные подходы в диагностике и борьбе с варроозом пчёл 59
<i>Агрехимия. Почвоведение</i>	<i>Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции</i>
Бойко В. С., Тимохин А. Ю., Якименко В. Н. Изменение фосфатного состояния почв лесостепи Западной Сибири при систематическом применении удобрений 29	Кандроков Р.Х., Юдина Т.А., Рубан Н.В., Катин С.А. Влияние соотношения зерновой смеси пшеницы и тритикале на технологические свойства пшенично-тритикалевой муки 63
Чеботарев Н. Т., Броварова О. В., Конкин П. И. Влияние систематического применения органических и минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур кормового севооборота на Европейском Севере 34	<i>Механизация</i>
Черников Е.А., Попова В.П., Ярошенко О.В., Мarmorштейн А.А. Трансформация засоленных почв	Лачуга Ю.Ф., Ковалев М.М., Перов Г.А., Галкин А.В. Методика определения закономерности растяжения группы стеблей растительных материалов 67
	Куценогий П.К., Каличкин В.К., Пакуль А.Л., Куценогий С.П. Машинное обучение в качестве инструмента прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур 72
<i>№ 2</i>	
<i>Земледелие и мелиорация</i>	
Рабинович Г.Ю., Зинковская Т.С., Анциферова О.Н. Биомелиорация на осушаемых землях 3	Селекция гибридов озимой ржи на основе ЦМС типа Пампа 14
Кружилин И.П., Никольская О.А. Обоснование водного режима почвы и регламента капельного полива саженцев черешни 9	Щенникова И.Н., Зайцева И.Ю., Носкова Е.Н. Современные подходы к моделированию сортов ячменя для Волго-Вятского региона 20
<i>Растениеводство, защита и биотехнология растений</i>	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
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.	Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Сравнительная
	73

оценка различных методов определения содержания сырой клейковины в зерне пшеницы	30	Лачуга Ю.Ф., Кирсанов В.В. Анализ цикличности развития техники и технологий в различных технологических укладах на примере молочного животноводства	54
Курьянович А.А., Кинчарова М.Н., Титова И.А. Протравливание семян маша (<i>Vigna radiata</i> L. (R) Wilczek) как элемент агротехнологии при интродукции культуры в среднем Поволжье	35	Сыроватка В.И., Жданова Н.В., Обухов А.Д. Исследование кинетики движения ингредиентов лечебных кормов в шаровом смесителе	59
Брескина Г.М., Чюян Н.А. Роль биопрепаратов и азотных удобрений в формировании продуктивности гречихи в условиях Курской области	39	<i>Зоотехния и ветеринария</i>	
<i>Агрочоведение и агроэкология</i>			
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	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
Бахмет О.Н., Солодовников А.Н., Дубина-Чехович Е.В. Влияние аэротехногенного загрязнения на химический состав снежного покрова агроландшафта	49	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
<i>Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация</i>		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

№ 3

<i>Земледелие и мелиорация</i>			
Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Гемонов А.В. Гидрологическая роль лесных насаждений малого водосборного бассейна	3	Илюшко М.В., Ромашова М.В. Влияние интенсивности и качества освещения на регенерационную способность каллуса риса <i>Oryza sativa</i> L., полученного в андрогенезе <i>in vitro</i>	41
Салугин А.Н., Кулик А.В., Узолин А.И. Стохастическое моделирование влияния защитных лесных насаждений. Распределение Коши	7	<i>Агрочоведение и агроэкология</i>	
<i>Растениеводство, защита и биотехнология растений</i>			
Баталова Г.А., Шевченко С.Н., Жуйкова О.А., Бишарев А.А., Тулякова М.В. Селекция овса пленчатого в условиях нестабильности агроклиматических ресурсов	11	Панов А.В., Ратников А.Н., Свириденко Д.Г., Исамов Н.Н., Цыгвинцев П.Н. Реабилитация сельскохозяйственных земель при масштабном радиоактивном загрязнении (к 35-летию аварии на Чернобыльской АЭС)	46
Юсова О.А., Николаев П.Н., Кузьмич М.А., Кузьмич Л.С. Новые перспективные источники ячменя пивоваренного направления	16	Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ковалев М.С. Параметры углекислотного и водного обмена древесных растений как инструмент оптимизации структуры зеленых насаждений урбоэкосистем	51
Пасынков А.В., Завалин А.А., Пасынкова Е.Н., Андреев В.Л. Сравнительная оценка различных методов прогноза содержания белка в зерне пшеницы	22	<i>Зоотехния и ветеринария</i>	
Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М. Структура микроорганизмов зерна озимой ржи в условиях Кировской области	28	Левина Г.Н., Зелепукина М.В., Саблина М.С. Продуктивные качества коров ярославской породы и её помесей с голштинской	57
Колесников Л.Е., Успенская М.В., Кременевская М.И., Орлова А.Г., Зуев Е.В., Колесникова Ю.Р. Повышение урожайности зерновых культур и снижение вредоносности возбудителей болезней при использовании акрилового гидрогеля и белкового стимулятора роста	33	Челнокова М.И. Воздействие дифференцированной температуры инкубации на рост куриных эмбрионов кросса Хайсекс коричневый и развитие их висцеральных органов	62
		Крупин Е.О. Оценка теплового стресса на основе анализа параметров внешней среды и микроклимата животноводческих помещений	68
		Калаева Е.А., Алхамед М., Калаев В.Н., Черницкий А.Е. Прогностическое значение гематологических и биохимических показателей матери и новорожденного при оценке риска бронхопневмонии у телят в неонатальном периоде	72

№ 4

Земледелие и мелиорация

Чуян О.Г., Караулова Л.Н., Митрохина О.А., Золотухин А.Н. Реализация природно-ресурсного потенциала агроландшафтов Центрального Черноземья

3

Межевова А.С. Влияние осадков сточных вод и приемов основной обработки почвы на динамику запасов влаги, продуктивность и качество семян сафлора красильного

9

Дубенок Н.Н., Гемонов А.В., Лебедев А.В. Научно-обоснованный режим орошения саженцев сливы при капельном поливе в условиях дерново-подзолистых почв

13

Растениеводство, защита и биотехнология растений

Крохмаль А.В., Грабовец А.И., Гординская Е.А. Особенности трансгрессивной изменчивости и формообразования при селекции тритикале на продуктивность

17

Жуйкова О.А., Шешегова Т.К., Баталова Г.А. Биоресурсы овса для использования в селекции на фитоиммунитет к грибным болезням в Кировской области

23

Ермолаева Т.Я., Нуждина Н.Н., Говердов Д.В., Злобина Л.Н., Крупнова О.В., Осыка И.А., Кулеватова Т.Б. Адаптивность сортов озимой ржи по реологическим свойствам суспензии шрота

27

Ким И.В., Волков Д.И., Клыков А.Г. Особенности формирования продуктивности сортов картофеля в условиях муссонного климата

33

Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Воробьева А.В. Особенности водного режима зеленых черенков облепихи

38

Волкова Г.В., Гладкова Е.В., Мирошниченко О.О. Влияние сортосмешанных посевов пшеницы на снижение пораженности стеблевой ржавчиной (возбудитель *Puccinia graminis* Pers. f.sp. *tritici* Eriks. et Henn.)

43

Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Гулина С.Н., Сулова О.В. Влияние электронного излучения на радиорезистентность фитопатогенной микрофлоры огурца

47

Агрочововедение и агроэкология

Шабаев В.П. Отзывчивость растений на применение азотфиксирующей бактерии в различных почвенных условиях

51

Зоотехния и ветеринария

Филиппова О.Б., Фролов А.И., Красникова Е.С. Влияние кормового фитобиотика на течение вакцинального стресс-синдрома у телят

55

Мифтахутдинов А.В., Журавель Н.А., Пономаренко В.В. Оценка влияния антистрессовых фармакологических средств на серологический статус при профилактике теносеновита кур

60

Шабунин С.В., Сашнина Л.Ю., Шахов А.Г., Владимирова Ю.Ю., Ермакова Т.И., Тараканова К.В. Состояние клеточного иммунитета у поросят при репродуктивно-респираторном синдроме свиней

65

Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции

Самойлов А.В., Сураева Н.М., Зайцева М.В., Петров А.Н. Оценка последствий токсических эффектов пищевых консервантов методом биотестирования

71

№ 5

Земледелие и мелиорация

Скорыходов В. Ю., Зоров А.А. Особенности влияния парового поля на формирование агроценоза и продуктивность яровой пшеницы в полевых севооборотах региона с неустойчивым увлажнением

3

Растениеводство, защита и биотехнология растений

Розова М.А., Зиборов А.И., Егиазарян Е.Е. Связь температурных показателей периода вегетации с основными агрономически значимыми характеристиками сортов яровой твердой пшеницы на Алтае

9

Волкова Г.В., Данилова А.В., Яхник Я.В., Гладкова Е.В., Таранчева О.В. Иммунологическая оценка устойчивости сортов озимого ячменя к листовым заболеваниям на юге России

16

Косолапова Т.В., Тулинов А.Г. Оценка параметров адаптивности ежи сборной в условиях Республики Коми

22

Салыкова В.С., Штиль Л.В. Самоплодность и урожайность отборных форм смородины золотистой

27

Долганова З.В., Клементьева Л.А., Синогейкина Г.Э., Мухина О.А., Антропова Н.В., Ларина О.В., Куранда Ю.В. Изучение и использование генетических ресурсов декоративных растений в условиях лесостепи Алтайского края

32

Шорохов М.Н., Долженко О.В., Долженко В.И. Инсектициды для борьбы с тлями-переносчиками вирусов на картофеле

37

Агрочововедение и агроэкология

Сулейманов А.Р., Назырова Ф.И., Гарипов Т.Т., Сулейманов Р.Р., Адельмурзина И.Ф.,

Габбасова И.М. Влияние водной и ветровой эрозии на буферные свойства почв степных районов Республики Башкортостан	41	Юлдашбаев Ю.А., Абдулмуслимов А.М., Сазонова И.А. Аминокислотный состав мяса баранчиков дагестанской горной породы и их помесей	63
Шабаев В.П., Остроумов В.Е. Рост и минеральное питание яровой пшеницы при внесении ростстимулирующей ризосферной бактерии в условиях загрязнения почвы никелем	46	Слепцова Т.В., Васильева В.Т., Абрамов А.Ф. Оценка качества мяса голяна озерного <i>Phoxinus phoxinus</i> (Pallas) бассейна реки Лена	67
<i>Зоотехния и ветеринария</i>			
Бальников А.А., Гридюшко И.Ф., Казутова Ю.С., Михайлова М.Е., Романишко Е.Л. Оценка животных пород йоркшир и ландрас в зависимости от линейной принадлежности и панели генов-маркеров <i>PRKAG3</i> , <i>MC4R</i> и <i>MYO1</i>	51	<i>Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции</i>	
Хамируев Т.Н. Использование иммуногенетики при оценке баранов-производителей по качеству потомства	58	Егорова М.И., Пузанова Л.Н., Смирнова Л.Ю., Леонтьева Е.В. Взаимосвязь выхода сахара с составом несахаров сахарной свеклы в условиях Республики Татарстан	71

№ 6

<i>Земледелие и мелиорация</i>			
Завалин А.А., Алёшин М.А. Вынос урожая, баланс в почве и эффективность использования азота зерновыми культурами в смешанных и одновидовых агроценозах	3	материал для селекции твердой пшеницы в Среднем Поволжье	38
Усенко В.И., Гаркуша А.А., Литвинцева Т.А., Щербакова А.А., Кобзева И.А. Изменение запасов влаги в выщелоченном черноземе в невегетационный период в зависимости от предшественника и основной обработки	9	Зейналов А.С. Роль биологических и экологически безопасных средств в оптимизации фитосанитарной обстановки в насаждениях земляники садовой	46
Куницин Н.А., Минакова О.А. Последствие удобрений, применяемых в севообороте с сахарной свеклой, на плодородие чернозема выщелоченного, урожайность и качество зерновых культур в Центральном Черноземье	14	<i>Агрочововедение и агроэкология</i>	
Хусайнов Х.А., Тунтаев А.В., Муртазалиев М.С., Елмурзаева Ф.Д., Абасов М.Ш. Влияние способов обработки и средств биологизации на агрофизические свойства чернозема типичного тяжелосуглинистого среднетощего низкогумусного, подстилаемого галечником	19	Савин И.Ю., Андронов Д.П., Шишконокова Е.А., Вернюк Ю.И. Детектирование борщевика Сосновского (<i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden.) на основе данных съемки с беспилотного летательного аппарата	50
<i>Зоотехния и ветеринария</i>			
Косолапов В.М., Чернявских В.И., Маринич М.Н. Формирование элементов семенной продуктивности у сортообразцов овсяницы красной: селекционный подход	24	Нефедова Е.В., Шкиль Н.Н. Влияние наночастиц серебра на морфологические, биохимические и иммунологические показатели крови коров, больных серозной формой мастита	56
Кочетов А.А., Мирская Г.В., Синявина Н.Г., Егорова К.В. Трансгрессивная селекция: методология ускоренного получения новых форм растений с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков	29	Ездакова И.Ю., Капустина О.В., Вальциферова С.В., Григорьев А.Г. Иммунный репертуар В-клеток крови овец в поствакцинальном иммунном ответе	60
Мальчиков П.Н., Мясникова М.Г. Исходный		<i>Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация</i>	
		Лачуга Ю.Ф., Ибятв Р.И., Шогенов Ю.Х., Зиганшин Б.Г., Дмитриев А.В. Метод расчета траектории движения зерна в пневмомеханическом шелушителе	64
		Завражнов А.А., Завражнов А.И., Мишин Б.С. Математическое моделирование урожайности и динамики развития промышленных садов интенсивного и суперинтенсивного типа	68
		<i>Перечень статей, опубликованных в 2021 году</i>	
			73