

Растениеводство, защита и биотехнология растений**Грабовец А.И., Фоменко М.А.**

Некоторые методические аспекты создания и выявления трансгрессивных высокорепродуктивных рекомбинантов озимой пшеницы 3

Блохин В.И., Никифорова И.Ю., Ганиева И.С., Низамов Р.М., Малафеева Ю. В.

Гидротермические показатели межфазных периодов и урожайность сортов ячменя различных групп спелости 8

Мальчиков П. Н., Чахеева Т. В., Мясникова М. Г.

Исходный материал яровой твёрдой пшеницы для селекции сортов устойчивых к патогенам, вызывающим почернение зародыша зерна 13

Юсова О.А., Николаев П.Н.

Новый высокоурожайный сорт ярового ячменя Омский 103 19

Шорохов М. Н., Хилевский В. А., Долженко В. И.

Инсектофунгициды на пшенице озимой в Ростовской области 23

Земледелие и мелиорация**Хусайнов Х. А., Тунтаев А. В., Муртазалиев М. С., Елмурзаева Ф. Д., Абасов М. Ш.**

Содержание азота в почве и урожайность озимой пшеницы при разных приемах основной обработки чернозема типичного с использованием средств биологизации 30

Путилина Л. Н., Косякин П. А., Минакова О. А., Лазутина Н. А.

Эффективность некорневых подкормок в посевах современных гибридов сахарной свёклы при различных обработках почвы 35

Агрочвоведение и агроэкология**Иванов А. И., Иванова Ж. А., Филиппов П. А.**

Трансформация подвергшейся скрытой деградации агродерново-подзолистой почвы при ускоренном воспроизводстве её плодородия 43

Мерзлая Г. Е.

Агроэкологическая эффективность традиционных и новых органических удобрений 49

Завьялова Н.Е., Васбиева М.Т., Шишков Д.Г., Иванова О.В.

Агрохимические показатели, содержание и запасы подвижных и необменных форм калия в профиле пахотной дерново-подзолистой почвы длительного опыта при внесении возрастающих доз NPK 54

Механизация, электрификация, автоматизация и цифровизация**Лачуга Ю.Ф., Ибяттов Р.И., Шогенов Ю.Х., Зиганшин Б.Г., Дмитриев А.В.**

Результаты численного расчета движения зерна в пневмомеханическом шелушителе 60

Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции**Самойлов А.В., Сураева Н.М., Зайцева М.В.**

Оценка побочных эффектов консервированной цветной капусты в модельной растительной тест-системе 66

*Plant Growing, Plant Protection and Biotechnology***Grabovets A.I., Fomenko M.A.**

Some methodological aspects of creating and identifying transgressive recombinants in productivity for winter wheat 3

Blokhin V.I., Nikiforova I.Y., Ganieva I.S., Nizamov R.M., Malafeeva Yu.V.

Hydrothermal indicators of interphase periods and yield of barley varieties of different maturity groups 8

Mal'chikov P. N., Chakheeva T. V., Myasnikova M. G.

Source material of spring durum wheat for breeding varieties resistant to pathogens that cause blackening of the grain germ 13

Yusova O.A., Nikolaev P.N.

New high yield spring barley variet Omsk 103 19

Shorokhov M. N., Khilevsky V. A., Dolzhenko V. I.

Insect-fungicides on winter wheat in Rostov region 23

*Farming and Amelioration***Khusainov Kh.A., Tuntaev A.V., Murtazaliev M.S., Elmurzaeva F.D., Abasov M.Sh.**

Nitrogen content in soil and yield of winter wheat under different basic tillage methods of chernozem typical with use means of biologization 30

Putilina L. N., Kosyakin P. A., Minakova O. A., Lazutina N. A.

Efficiency folk fertilization in crops of modern sugar beet hybrids under various soil treatments 35

*Agricultural Soil Science and Agroecology***Ivanov A. I., Ivanova Zh. A., Filippov P. A.**

Transformation subjected to hidden degradation agrosod-podzolic soil under accelerated fertility reproduction 43

Merzlaya G. E.

Agroecological efficiency of traditional and new organic fertilizers 49

Zavyalova N.E., Vasbieva M.T., Shishkov D.G., Ivanova O.V.

Agrochemical indicators, content and reserves of mobile and non-exchangeable potassium forms in the profile of arable soddy-podzolic soil of long-term experience at introduction of increasing doses of NPK 54

*Mechanization, Electrification, Automation and Digitalization***Lachuga Yu.F., Ibyatov R.I., Shogenov Yu.Kh., Ziganshin B.G., Dmitriev A.V.**

Results of numerical calculation of grain movement in a pneumatic mechanical huller 60

*Storage and Processing of Agricultural Products***Samoylov A.V., Suraeva N.M., Zaytseva M.V.**

Assessment of toxic side effects of canned cauliflower in a model plant test system 66

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.16: 622.11

DOI: 10.31857/S2500262722050015, EDN: KIODXG

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ И ВЫЯВЛЕНИЯ ТРАНСГРЕССИВНЫХ ВЫСОКОРЕПРОДУКТИВНЫХ РЕКОМБИНАНТОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**А.И. Грабовец**, член-корреспондент РАН, **М.А. Фоменко**, доктор сельскохозяйственных наук*Федеральный Ростовский аграрный научный центр,
346735, Ростовская обл., Аксайский район, пос. Рассвет, ул. Институтская, 1
E-mail: grabovets_ai@mail.ru*

Трансгрессивная изменчивость признаков, особенно количественных, детерминированных полимерно, довольно частое явление. Его можно обуславливать и контролировать, что и служит целью приведенных исследований. Для решения такой задачи необходимо путем гибридизации с использованием определенных принципов создать генетическую изменчивость, адекватную волатильности климата. Затем определить характер доминирования изучаемых признаков, в нашем случае массу зерна с растения, 1000 зёрен и длину колоса. Условия вегетации гибридов практически не влияли на его появление. Для дальнейшей работы оставляли гибриды F1 со сверхдоминированием, доминированием, неполным и частичным доминированием рассматриваемых признаков. Изучение отобранных популяций в F2 позволило разделить исследуемый массив на три типа: популяции с превышением родителей (в нашем случае по массе зерна с растения), с промежуточным наследованием признака и по типу лучшего родителя. При сверхдоминировании в F1 трансгрессия в F2-Fn в среднем за годы изучения проявлялась у 80,8 % выделенных в первом поколении комбинаций (пятая часть была модификациями, которые не наследуются), при промежуточном наследовании – у 67 %, по типу лучшего родителя – у 11,1 % (с довольно низкой частотой и степенью). По такой методике после изучения в селекционном и контрольном питомниках были выделены сорта Богема, Гранта, Вольная заря, Константа 22, Мирабель 20 и др.

SOME METHODOLOGICAL ASPECTS OF CREATING AND IDENTIFYING TRANSGRESSIVE RECOMBINANTS IN PRODUCTIVITY FOR WINTER WHEAT**Grabovets A.I., Fomenko M.A.***Federal Rostov Agricultural Research Center
346735, Rostovskaya obl., Aksaiskii raion, pos. Rassvet, ul. Institutskaya, 1
E-mail: grabovets_ai@mail.ru*

Transgressive variability of traits, especially quantitative ones, determined by polymerization, is quite common. It can be conditioned and controlled, which is the purpose of the above studies. To do this, by hybridization, it is necessary to create genetic variability adequate to climate volatility using certain principles. Then determine the nature of the dominance of the studied features, in our case, the mass of grain from the plant, 1000 grains and the length of the ear. The growing conditions of hybrids practically did not affect this process. F1 hybrids with overdominance, dominance, incomplete and partial dominance of these traits were left for further work. The study of the selected populations in F2 allowed us to divide the studied array into three types: populations with the isolated combinations (in the first generation) (the fifth part were modifications that are not inherited), with intermediate inheritance – in 67%, by the type of the best parent – in 11.1% (with a rather low frequency and degree). According to this method, after studying in breeding and control nurseries, varieties of Bohemia, Grant, Free Dawn, Constant 22, Mirabelle 20 and others were identified.

Ключевые слова: селекция, озимая пшеница, наследование признака, изменчивость, трансгрессия, продуктивность

Key words: breeding, winter wheat, trait inheritance, variability, transgression, productivity

На сегодняшний день все ещё остаются распространёнными суждения о случайности проявления трансгрессий и только по ряду признаков [1, 2 и др.], а также о том, что прогнозировать их появление по селекционной ценности в ранних поколениях невозможно [3, 4]. Попытки определения в F2 степени трансгрессии признака мало информативны, а сведения по возможным трансгрессивным рекомбинантам, как правило, завышены [4, 5]. Это вполне естественно в силу проявления генов-модификаторов, которые оказывают усиливающее (или ослабляющее) влияние на экспрессию других генов, но не имеют собственного выражения в фенотипе. Такая ситуация может проявляться, например, в условиях борьбы гибрида за выживание. После F2 у ряда таких генотипов высокая продуктивность не подтверждается [6].

Другие исследователи [7, 8] отмечают, что трансгрессивная селекция имеет богатые возможности. С ее использованием можно создавать новые уровни интенсивности проявления уже существующих призна-

ков и даже новые признаки. Активно разрабатываются принципы целенаправленного использования трансгрессивной изменчивости. Например, П.П. Лукьяненко отмечена большая перспективность комбинаций с гетерозисом по продуктивности в F1 [9]. Тупицын Н.В., Захаров В. Г. [10] утверждают, что для получения трансгрессий по продуктивности нужно отобрать в F1 комбинации с наибольшим уровнем гетерозиса, размножить их и провести индивидуальный отбор трансгрессивных форм. Таким образом, отмечается большая перспективность трансгрессивной селекции, но основные аспекты создания и использования исходного материала до сих пор в достаточной степени ещё не определены.

Цель исследований – разработка метода целенаправленного использования трансгрессивной изменчивости в селекции озимой пшеницы.

Методика. Исследования проводили на базе Федерального Ростовского аграрного научного центра (ФРАНЦ) в 2000–2021 гг. Почва опытного участ-

Табл. 1. Частота выщепления рекомбинантов с плюс-трангрессиями по массе зерна с растения (селекционный питомник, 2000–2021 гг.), %

Год	Поколение проявления трангрессий											
	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14
2000**	2,0	1,1	2,2	3,0	5,0	1,0	–	–	–	–	–	–
2001*	3,0	3,3	6,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2002*	4,4	2,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2003**	0,8	1,3	0,9	0,4	–	–	0,4	–	1,0	–	–	–
2004*	1,3	1,1	1,2	2,6	–	–	2,6	0	0	0	–	–
2005***	1,3	0,3	0,7	0,7	0,3	–	–	–	1,2	–	2,2	–
2006*	0,9	1,3	1,9	1,9	4,5	–	–	–	–	–	1,0	–
2007*	1,1	1,4	1,7	2,0	2,0	1,3	1,5	–	–	–	1,5	–
2008**	2,0	3,2	0,6	2,1	1,2	4,5	1,1	–	–	–	–	–
2009*	2,0	1,4	2,0	0,5	2,7	–	2,0	2,0	–	–	–	0
2010*	3,5	2,7	2,4	2,2	0,5	1,2	2,5	–	–	–	–	0,5
2011*	2,5	2,1	2,9	3,6	6,2	0	–	–	–	9,0	–	–
2012*	0,3	0,4	0,2	0,1	0,7	0,7	0	–	–	–	–	–
2013*	2,6	1,8	1,9	2,2	4,4	4	7,0	–	–	–	–	–
2014*	4,6	3,7	3,1	4,2	2,3	3,3	5,8	4,6	–	–	–	–
2015**	4,5	4,6	3,3	6,3	5,6	5,8	6,1	6,4	8,6	–	–	–
2016**	2,6	1,5	1,9	1,4	0,4	1,1	0,5	0,5	0	1,4	–	–
2017***	2,6	4,0	2,1	2,1	6,4	2,9	3,8	0,3	–	–	–	–
2018***	1,2	2,0	2,5	2,7	1,9	1,9	1,9	–	–	4,3	–	–
2019***	2,5	1,5	3,0	2,7	4,3	3,9	2	5,6	–	–	–	–
2020*	0,9	1,5	1,5	1	1,2	2,4	2	0,5	–	–	–	–
2021***	1,1	1,0	1,1	1,5	1,7	1	2,1	0	1,1	–	–	–
Среднее	2,28	1,94	1,98	2,20	2,72	2,5	2,57	2,24	1,98	4,90	1,56	0,25
									(6 лет)	(3 года)	(3 года)	(2 года)

*засушливый год, **средний по влагообеспеченности, ***благоприятный год; 0 – трангрессий не наблюдали; – – исследования с популяцией не проводили.

ка – чернозём с мощностью гумусового горизонта – 60...70 см. Количество гумуса в пахотном слое находилось в пределах 3,6 % (по ГОСТ 2613-91), гидролизующего азота (по Тюрину и Кононовой) – 67 мг/кг. Содержание общего азота (по Гинзбургу) в пахотном слое почвы составляло 12 мг/кг почвы, подвижных форм фосфора и калия (по ГОСТ 26204-91) – 25 и 320 мг/кг соответственно, сумма поглощенных оснований (по ГОСТ 27281-88) – 68 мг-экв./100 г. Опытный участок расположен в степных условиях с недостаточным и неустойчивым увлажнением по годам. Климат континентальный со спорадически проявляющимися морозами до -30 °С. Размеры производства зерна в этих условиях в основном определяет сумма осадков за апрель – июль. При среднегодовом количестве 199 мм в засушливые годы (2001, 2002, 2004–2007, 2009–2014 и 2020 гг.) она находилась в пределах 73...166 мм, в средние по увлажнению (2000, 2003, 2008, 2015 и 2016 гг.) – 184...224 мм, во влажные (2017–2019, 2021 гг.) – 249...347 мм.

Методы селекции общеприняты – balked population method (балк-метод) и педигри. Для создания генетической изменчивости при гибридизации руководствовались следующими принципами:

тщательный анализ свойств и признаков у намеченных к гибридизации родителей, с учетом максимальной приближенности их к модели будущего сорта;

минимальное количество общих генов, контролируемых селекционируемым признаком, у родительских форм;

максимальная дивергентность исходных форм по интересующим свойствам при гибридизации;

использование сортообразцов со всего мира, а также местного высоко адаптированного генофонда.

Выполняли по 300...350 комбинаций скрещиваний (по 20 колосьев в каждой). В F1 тщательно изучали параметры основных признаков растений, обуславливающих размеры урожай. Определяли характер их наследования [11]. Семена комбинаций, отобранных для дальнейшей работы высевали в F2 (по 4000 растений в каждой). В качестве контроля использовали родительские формы. Селекционный питомник в объеме до 40 тыс. растений закладывали необмолоченными колосьями, что полностью исключает возможность засорения при обмолоте. В селекционном питомнике к трангрессивным относили рекомбинанты с массой зерна с делянки, превышающей величину критерия, рассчитанного по следующей формуле: среднего урожай по селекционному питомнику + НСР + 13 %.

Урожай зерна с делянки в этом питомнике сравнивали со стандартом (лучшим, включенным в Госреестр в данной местности сортом соответствующей культуры, срока созревания и направления использования). Не исключено, что при этом выбраковывали и часть рекомбинантов с низкой степенью трангрессии, не имеющей какого-либо значения, у которых родительские формы часто уступали стандарту по продуктивности.

Далее методы работы с селекционным материалом были общеприняты. Результативность исследований обусловлена большими объемами проработки селекционного материала на начальных этапах. Хотя не исключается и высокая роль повторных отборов среди неконстантных линий в контрольном и конкурсных питомниках.

Табл. 2. Типы наследования (hp) ряда признаков гибридами F1 и доля таких комбинаций от их общего числа

Год ²	Масса зерна с 1 растения						Масса 1000 зерен						Длина колоса					
	СД ¹	ЧД	НД	ПД	-ЧД	Д	СД	ЧД	НД	ПД	-ЧД	Д	СД	ЧД	НД	ПД	-ЧД	Д
2016	54 ³	16	11	1	1	17	50	13	26	4	1	7	43	19	21	7	1	9
2018	29	9	26	4	4	28	47	8	20	1	6	18	42	17	23	3	4	11
2010	44	2	29		1	24	29	38		9	6	18	59	10		22	3	6
2014	21	21	2	2	45	9	33	18	5	8	10	26	–	–	–	–	–	–
2013	60	18		6	0	16	55	36				9	52	21		16	4	7
2019	38	11	6	5	16	24	37	9	8	6	13	27	39	12	9	10	20	10

¹ЧД – частичное доминирование (hp = 0,1...0,5); НД – неполное доминирование (hp = 0,6...0,9); ПД – полное доминирование (hp = 1); СД – сверхдоминирование (hp > 1); -ЧД – доминирование меньшего значения признака (hp = -0,1...-0,9); Д – депрессия признака (hp > -1);
²2016, 2018 – годы благоприятные по увлажнению, 2010, 2014 – средние; 2013, 2019 – засушливые;
³процент от общего числа комбинаций

Результаты и обсуждение. Использование трансгрессивной изменчивости стало основой методических технологий при селекции озимой пшеницы на Дону. У растений гибридной комбинации происходит рекомбинация, в которой также участвуют полимерные гены, детерминирующие развитие большинства хозяйственно-значимых признаков. Этот процесс сильно зависит от внешних условий. В F2 образуется непрерывный вариационный ряд по количественному выражению полимерного признака, величина которого может превышать уровень его выраженности у лучшего родителя (положительная трансгрессия) или быть существенно меньшими, чем у родителя (отрицательная). Этот процесс происходит всегда и о случайности проявления трансгрессий рассуждать нет необходимости. Для убедительности можно привести данные по частоте плюс-трансгрессий по массе зерна с растения за 21 год (табл. 1). По этому и другим изучаемым признакам она проявляется в основном спорадически. Условия влагообеспеченности во время вегетации растений, кроме 2012 г. (болезни), не оказывали влияния на проявление частоты трансгрессий.

В гетерогенных популяциях с длительным формообразованием ее можно выявить в любом поколении. Не исключено, что при сочетании рецессивных генов происходит ослабление значения исследуемого признака, особенно это наблюдали при использовании в качестве родителей трех генных карликов. Каждая комбинация по характеру проявления свойств и признаков индивидуальна. По признаку масса зерна с растение отмечен тренд на некоторое усиление в F7-F12, что, наряду с рекомбинацией, объясняется повторными отборами элитных растений среди не константных линий контрольного и конкурсных питомников.

На первом этапе селекции для определения перспективности комбинации важно выявить наличие у гибрида F1 доминантных генов родителей и их возможное сочетание, что обуславливает усиление проявления изучаемого признака. Для этого у каждого гибрида определяли характер наследования изучаемых признаков (здесь и далее речь будет идти о продуктивности). Выявляли характер наследования массы зерна с растения, массы 1000 зерен и длины колоса по методике В.А. Griffing [12].

В связи с большим массивом данных за 21 год, в таблице представлены для сравнения результаты определения особенностей наследования изучаемых признаков в F1, полученные во влажные годы (2016, 2018), средние по увлажнению (2010, 2014) и засушливые (2013, 2019).

Особых закономерностей наследования массы зерна с растения в зависимости от метеоусловий не выявлено (табл. 2). Все нюансы, вероятно, определяли родительские формы. Доля генотипов со сверхдоминированием в общем числе комбинаций могла быть, как относительно высокой (44...60 %), так и низкой (21...38 %).

Однако в преобладающем числе случаев она существенно превышала количество гибридов с депрессиями (Д) и отрицательным частичным доминированием (-ЧД). По неполному отрицательному доминированию выделился 2014 г. (45 %), что объясняется болезнями, которые существенно повредили растения. Остальные типы наследования (ЧД, НД, ПД) проявлялись спорадически. Комбинации с Д и -ЧД выбраковывали.

По массе 1000 зерен и длине колоса у основной части гибридов наблюдали сверхдоминирование и частичное доминирование. Депрессию и отрицательное частичное доминирование в наследовании этих признаков выявили у незначительного количества комбинаций. Это очень важно, поскольку величины указанных показателей обуславливают массу зерна с растения.

Изучение характера наследования этих признаков продолжали в F2. Для дальнейшего испытания оставляли комбинации с превышением родителей по массе зерна с растения (в среднем с 25 растений), с промежуточным наследованием этого признака и при его наследовании по типу лучшего родителя. После проверки в селекционном питомнике (СП), начиная с F3 выявилось, что при превышении гибридами родителей в F2 трансгрессия этому признаку проявилась в среднем у 80,8 % комбинаций (пятая часть была модификациями или меньшими значениями вариационного ряда значения признака), при промежуточном наследовании – у 67 %, по типу лучшего родителя – у 11,1 % (с довольно низкой частотой и степенью).

Продолжительное формообразование у популяций (до F8) отмечали как при свехдоминировании, так и при не полном доминировании, что объясняется степенью дивергентности генотипов исходных родителей. Оценка трансгрессивных рекомбинантов по урожаю зерна, в сравнении с существующим стандартом в контрольном питомнике (КП) привела к сокращению их числа. Причина заключалась часто в меньшей урожайности исходных родительских форм, в сравнении с стандартом. В конкурсных испытаниях выделяли сорт с максимальной приближенностью к модели сорта по комплексу признаков и свойств.

Табл. 3. Взаимосвязь особенностей наследования (hp) признаков продуктивности гибридами в F1 с итогом (сортом)

Комбинация	hp в F1*			Изучено семей				Поколение отбора, сорт
	массы зерна с растения	масса 1000 зёрен	длина колоса	СП**		линий в всего / в том числе с трансгрессиями	гено-типы, КСИ***	
				номеров	семей всего / в том числе с трансгрессиями			
Спалах / Донская лира	14,2	20	1,7	260	16/4	4/2	2	F3 Богема
Донская лира / 1649/07 (Ио Тарасовская 97)	0,8	2	0,2	640	54/7	7/1	1	F3, F5 Былина Дона
Тарасовская 29 / Drina // Альбатрос одесский /// Тарасовская 97 //// Тарасовская 29 / БЦ 47 // НРБ 6191-26 //// Кирия / Престиж	3,8	1	0	640	42/14	14/2	2	F5 Вольная зоря
918/04 / 1334/07****	2,4	0,5	1,6	620	49/23	23/7	7	F3, F5, F7 Константа 22
Fortress (Англия) / Тарасовская остистая	1,5	1,3	5,2	820	55/19	19/5	2	F3, F5, F7 Гранта
Дельта //// Тарасовская 29 / Drina// Альбатрос одесский /// Тарасовская 97	0,6	0,7	0,4	280	55/22	22/1	1	F3, F6, F8 Пальмира 18
Айвина / Донэко	0,6	0,5	0,2	450	27/7	7/2	2	F3, F5, F6 Донская Т 20
(Камя х Агра)	6,2	0,5	0,2	220	31/15	15/6	3	F3, F4 Донья
Zg 2953/71 / Зерноградка 11 // Престиж / Арфа	0,6	2	0	280	8/3	3/1	1	F3 Пафос
Вестница / Донэра	1,7	1	-7	620	12/4	4/2	1	F3 Мирабель 20

*показатель степени наследования признака по Griffing. **СП – изучено семей за все время работы с популяцией в селекционном питомнике, ***КСИ – конкурсные испытания, ****918/04 – (821/96 <{Телец // (БЦ 18 / Зирка) } // 998/87 } // Одесская 133 //// 656/96 (Тарасовская 29 / Зирка) // Донщина); 1334/07 – (Станичная //// 782/00 { (Тарасовская 29 / Дрина) // Альбатрос одесский } // Тарасовская 97).

Большой интерес представляет изучение характера взаимосвязи наследования массы зерна с растения, 1000 зёрен и длины колоса в F1 с аналогичными признаками конечного результата селекции – сорта. Сорта были выделены из популяций при наследования по типу СД, НД, ЧД и ПД по сравнимым признакам в F1. У восьми созданных сортов из десяти отмечали сверхдоминирование в F1: по всем признакам – у Богемы и Гранты, по двум – у Вольной зари, Константы 22 и Мирабель 20 и по одному признаку – у Былины Дона, Доньи и Пафоса (табл. 3). Определенную положительную роль сыграл признак масса 1000 зёрен, в меньшей степени – длина колоса, что подтверждают корреляционные взаимосвязи между парами масса 1000 зёрен – урожай зерна ($r = \pm 0,45 \dots 0,64$), длина колоса – урожай зерна ($r = \pm 0,21 \dots 0,32$). Масса 1000 зёрен оказалась большей у Вольной зари и Константы 22, что оптимизировало потенциал продуктивности, и меньшей у Мирабель 20, потенциал продуктивности которого был обусловлен густотой ценоза на уровне 800...900 продуктивных стеблей.

По сортам Пальмира 18 и Донская Т20 наблюдали неполное доминирование в F1 по массе зерна и 1000 зёрен. Длина их колоса находилась на уровне родителей (ЧД).

Таким образом, явление трансгрессивной изменчивости признаков, особенно количественных, детерминируемых полимерно, довольно частое явление. Его можно обуславливать и контролировать. Для этого путём гибридизации нужно по определённым принципам с учетом параметров модели сорта создать генетическую изменчивость, адекватную волатильности климата. Затем определить характер доминирования изучаемых признаков (в нашем рассматриваемом примере масса зерна с растения и 1000 зёрен, длина колоса). Для дальнейшей работы оставляли гибриды

F1 со сверхдоминированием, доминированием, неполным и частичным доминированием этих признаков. Изучение оставленных популяций в F2 позволило разделить весь массив на три типа: популяции с превышением родителей (в нашем случае по массе зерна с растения), с промежуточным наследованием этого признака и по типу лучшего родителя.

Изложенная методика проверена в прикладных исследованиях. У восьми из десяти созданных сортов отмечали сверхдоминирование в F1: у Богемы и Гранты по массе зерна с растения, 1000 зёрен и длине колоса, у Вольной зари, Константы 22 и Мирабель 20 по двум и у Былины Дона, Доньи и Пафоса по одному признаку. По сортам Пальмира 18 и Донская Т20 в F1 наблюдали неполное доминирование.

Литература.

1. Gas G., Patra J.K., Baek K.H. *Insight into MAS: A molecular tool for development of strees resistant anl quality of wheat through gene stacking// Front. Plant sciscies. 2017. Vol. 8. P. 83–101.*
2. *Genetics gains for grain yield in high latitude spring wheat in Western Siberia / A. Morgounov, V. Zukin, I. Belan, et al. //Field crop res. 2013. Vol. 93. P. 425–433. doi: 10.1139/CJPS2012-091.*
3. Кочетов А.А., Мирская Г.В., Синявская Н.Г. *Трансгрессивная селекция: методология ускоренного получения новых форм растений с прогнозируемым комплексом хозяйственно ценных признаков//Российская сельскохозяйственная наука. 2021. №6. С. 29–37. doi: 10.31857/S2500262721060065*
4. Гончаров Н.П. *Научное обеспечение селекции и семеноводства в Сибири в XXI веке в Сибири // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021. Т. 25. №.4. С. 361–366. doi: 10.18699/VJ21.050*

5. О развитии селекционного фактора для адаптивного растениеводства в НИИСХ Юго-Востока / А.И. Прянишников, Р.Г. Сайфуллин, Т.Б. Кулева-това и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. №12. С. 13–15.
6. Grabovets A. I., Fomenko M.A. Plus-Transgression in Winter Wheat Breeding on Frost Resistance and Productivity // *Russian Agricultural Sciencies*. 2019. Vol. 45. № 5. P. 407–411. doi: 10.3103/S1068367449050082
7. Прянишников А.И., Сайфуллин Р.Г., Мазуров В.Н. Адаптивная селекция теория и практика // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2018. № 3. С. 29–32. doi: 10.30850/vrsn/2021/2/8-14
8. Селекция озимой пшеницы в Центральном Черноземье РФ / Г.Г. Голева, Т.Г. Ващенко, Н.Т. Павлюк и др. // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. № 1. С. 45–49. doi: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/1/45-49>
9. Лукьяненко П.П. Методы и результаты селекции озимой пшеницы. Избранные тр. М.: Колос, 1973. С. 254–286.
10. Тупицин Н.В., Захаров В.Г. Технология селекции пшеницы на потенциальную урожайность. Пат. 2131180 Российская Федерация, МПК АО 1Н 1/00; заявитель и патентообладатель Ульяновская ГСХА. № 96109731/13; заявл. 14.05.1996; опубл. 10.06.1999, Бюл. № 45.
11. Griffing D.A. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems // *Austral. J. Biol. Sci.* 1956. No. 2. P. 463–493.

Поступила в редакцию 14.03.2022

После доработки 14.06.2022

Принята к публикации 12.09.2022

ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЕЖФАЗНЫХ ПЕРИОДОВ И УРОЖАЙНОСТЬ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП СПЕЛОСТИ*

В.И. Блохин, И.Ю. Никифорова, И.С. Ганиева, кандидаты сельскохозяйственных наук,
Р.М. Низамов, доктор сельскохозяйственных наук, **Ю. В. Малафеева**

*Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение «Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», 420059, Казань, ул. Оренбургский тракт, 48
E-mail: tatniva@mail.ru*

Исследование проводили с целью: установить зависимость урожайности зерна ярового ячменя от гидротермических показателей межфазных периодов вегетации и выявить реакцию сортов различных групп спелости на складывающиеся климатические условия периода вегетации. Работу выполняли в 2015–2021 гг. в Предкамской зоне Республики Татарстан. Почва опытных участков серая лесная, среднесуглинистая. Анализ пиковых коэффициентов выявил определяющее влияние на величину урожайности зерна ярового ячменя суммы активных температур выше 10°C и гидротермического коэффициента в межфазные периоды «всходы–кущение», «кущение–выход в трубку», «выход в трубку–колошение», «всходы–колошение», а также средней суточной температуры воздуха в период «колошение–полная спелость». Более высокая вариабельность урожайности зерна (40,4...45,1%), меньшая реализация потенциала продуктивности (56,5...60,6%) и стрессоустойчивости (-4,20...-4,96 т/га) позднеспелых сортов обусловлены наибольшей вариабельностью гидротермических показателей межфазных периодов для генотипов этой группы спелости. Более низкая урожайность позднеспелых сортов в 2015, 2019, 2020 и 2021 гг. обусловлена меньшими величинами гидротермического коэффициента межфазного периода «выход в трубку–колошение» (0,79, 0,01, 0,14 и 0,08 соответственно), в сравнении с аналогичными показателями для раннеспелой и среднеспелой групп. В благоприятном по тепло- и влагообеспеченности 2017 г. позднеспелые сорта Тимерхан, Эндан и Лаишевский сформировали высокий урожай зерна (5,15, 5,97 и 5,85 т/га соответственно) в сравнение с раннеспелыми и среднеспелыми сортами. Для стабилизации валовых сборов зерна ярового ячменя в условиях, характеризующихся неустойчивым увлажнением, целесообразно использовать в посевах сорта различных групп спелости.

HYDROTHERMAL INDICATORS OF INTERPHASE PERIODS AND YIELD OF BARLEY VARIETIES OF DIFFERENT MATURITY GROUPS

Blokhin V.I., Nikiforova I.Y., Ganieva I.S., Nizamov R.M., Malafeeva Yu.V.

*Tatar Scientific-Research Institute of Agriculture. Separate structural subdivision of the Federal Research Center «Kazan Scientific Center» of the Russian Academy of Sciences
420059, Kazan, ul. Orenburgskii trakt, 48
E-mail: tatniva@mail.ru*

The study was conducted to establish the dependence of spring barley grain yield on the hydrothermal parameters of the interphase periods of vegetation, to identify the response of varieties of different ripeness groups to the emerging climatic conditions of the growing season. The work was carried out in 2015-2021 in Predkamsky zone of the Republic of Tatarstan. The soil of the experimental plots is gray forest, medium loam. Analysis of travel coefficients revealed a determining influence on the value of spring barley grain yield in the interphase periods „sprouting – bushing”, „tillering – tube formation”, „tube formation – spiking”, „sprouting – spiking” such indicators as the sum of active temperatures above 10°C and hydrothermal coefficient; in «earing – full ripeness» period – average daily air temperature. Higher indices of variability of grain yield (40,4 ... 45,1%), lower indices of realization of productivity potential (56,5 ... 60,6%) and stress resistance (4,20 ... 4,96 t/ha) of late maturing varieties are caused by higher variability of hydrothermal indices of interphase periods for this ripeness group. The lower yield of late-ripening varieties in 2015, 2019, 2020 and 2021 is due to lower values of the hydrothermal coefficient of the interphase period «emergence of the tube – spike» (0.79, 0.01, 0.14 and 0.08 respectively), compared with similar values for the early- and mid-ripening groups. In favorable by heat and moisture availability in 2017, late-ripening varieties Timerhan, Endan and Laishevsky formed a high grain yield (5.15, 5.97 and 5.85 t/ha, respectively) compared with early- and mid-ripening varieties. In order to stabilize the gross yield of spring barley grain in conditions characterized by unstable moisture, it is advisable to use varieties of different ripeness groups in the crops.

Ключевые слова: яровой ячмень (*Hordeum sativum* L.), гидротермические показатели, межфазные периоды, урожайность зерна, группа спелости

Key words: spring barley (*Hordeum sativum* L.), hydrothermal parameters, interphase periods, grain yield, varieties ripeness group.

Абиотические условия оказывают большое влияние на различные факторы, которые в свою очередь определяют размеры урожая и качество сельскохозяйственной продукции [1, 2, 3]. Так, вариабельность урожайности зерна ярового ячменя в Предкамской зоне Республики Татарстан (РТ) на 79,6 % зависит от гидротермических условий периода вегетации [4], которые, по оценкам О.Л. Шайтанова [5] и А.Б. Мустафиной [6], претерпевают существенные

изменения под влиянием глобального потепления климата. По данным авторов сумма осадков в период вегетации на территории РТ имеет тенденцию к снижению. Анализ температурного режима в мае–августе за последние 20 лет выявил тенденцию увеличения количества дней с максимальной температурой воздуха выше 25 °С. Линия тренда ГТК за последние 40 лет сместилась из области слабо засушливых и вошла в область засушливых условий, а доля засушливых

*Работа выполнена по государственному заданию «Эколого-генетические подходы к созданию и сохранению ресурсов растений и животных, расширению их адаптивного потенциала и биоразнообразия, разработка сберегающих агротехнологий с целью повышения устойчивости производства высококачественной продукции, достижения безопасности для здоровья человека и окружающей среды». № регистрации 122011800138-7

лет, по сравнению с прошлым веком, возросла на 10 %.

Реальная урожайность зерна зависит не только от гидротермических условий вегетации – ритма осадков и температуры, но и от соответствия их динамике наиболее ответственных и «критических» периодов формирования элементов продуктивности. Ритм гидротермических условий в Предкамской зоне РТ в период вегетации ярового ячменя характеризуется сильной вариабельностью и не обнаруживает определенной закономерности. Для таких зон растениеводства особое значение в повышении потенциальной продуктивности и экологической устойчивости агроэкосистем играет их конструирование на основе подбора взаимосохраняющих сортов по принципу асинхронности биологических ритмов.

Цель исследований – выявить зависимость урожайности зерна ярового ячменя от гидротермических показателей межфазных периодов вегетации, а также реакцию сортов различных групп спелости на складывающиеся климатические условия периода вегетации.

Методика. Исследования проводили в 2015–2021 гг. на опытных полях Татарского НИИСХ, расположенных в Предкамской зоне Республики Татарстан. Исходным материалом послужили 8 сортов ярового ячменя: раннеспелый (Камашевский), среднеспелые (Орлан, Нур, Раушан, Белгородский 100) и позднеспелые (Тимерхан, Эндан, Лаишевский). Сорта подбирали с таким расчетом, чтобы они различались по продолжительности межфазных периодов, с учетом тех или иных гидротермических условий. Посев сплошной, рядовой. Норма высева 5,5 млн. всхожих семян на 1 га. Учетная площадь делянок 20 м². Повторность 4-х кратная. Предшественник – озимая рожь.

Почва опытных участков серая лесная, среднесуглинистая. Пахотный слой (0...22 см) характеризовался следующими агрохимическими показателями: гумус – 3,35...3,52 % (по ГОСТ 26213-91); азот

щёлочно-гидролизующий – 85,0...94,0 мг/кг (по А.Х. Корнфилду); подвижный фосфор и калий – соответственно 251...287 мг/кг и 149...167 мг/кг (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО; ГОСТ 26207-91); гидролитическая кислотность 3,7...5,9 ммоль/100 г (по методу Каппена в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26212-91); рН^{сол} – 5,7...6,0.

В период вегетации отмечали календарные даты основных фенологических фаз развития растений ярового ячменя: «всходы», «кущение», «выход в трубку», «колошение», «полная спелость». Метеорологические данные предоставлены метеостанцией ТатНИИСХ, расположенной на расстоянии 3 км от места проведения исследований в с. Большие Кабаны Лаишевского муниципального района. Для характеристики межфазных периодов вегетации использовали следующие показатели: сумма эффективных температур выше 5°C ($\sum_{эфф.t} > 5^\circ\text{C}$), сумма активных температур выше 10°C ($\sum_{акт.t} > 10^\circ\text{C}$), средняя суточная температура воздуха (с.с.т воздуха), сумма осадков. Индексы гидротермического коэффициента (ГТК) рассчитывали по формуле Г.Т. Селянинова [7]. Но для классификации типов увлажнения периодов вегетации использовали разработанную на их основе шкалу для условий РТ [8].

Обработку экспериментальных данных проводили методами дисперсионного, корреляционного, вариационно-статистического анализа с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.08, РАСХН, 1999). Анализ путей коэффициентов, позволяющий вычленивать прямые и косвенные эффекты влияния гидротермических показателей межфазных периодов на величину урожайности зерна, осуществляли по А.Н. Седловскому с соавторами [9].

Результаты и обсуждение. Анализ литературных источников выявил, что для установления зависимости урожайности яровых зерновых сельскохозяйственных

Табл. 1. Сумма осадков по межфазным периодам вегетации ярового ячменя для 3-х групп спелости, % от среднееголетней нормы

Год	Группа спелости*	Всходы–кущение	Кущение–выход в трубку	Выход в трубку–колошение	Колошение–полная спелость	Всходы–колошение	Всходы–полная спелость
2015	1	15,2	53,0	113,6	196,0	81,8	148,2
	2	15,2	46,8	97,7	202,9	71,7	143,3
	3	12,9	55,6	75,5	206,7	62,1	135,4
2016	1	287,9	145,7	121,2	26,6	151,8	78,7
	2	287,9	128,7	107,5	26,0	136,0	76,0
	3	246,8	158,3	71,4	26,3	117,8	71,4
2017	1	337,9	56,3	157,2	153,8	150,3	152,4
	2	337,9	49,7	218,2	120,2	179,8	147,3
	3	328,6	52,8	293,3	52,2	228,7	139,2
2018	1	181,8	182,1	43,6	56,2	106,3	76,9
	2	272,7	160,8	37,5	58,2	93,8	74,4
	3	155,8	152,8	30,9	61,9	81,2	71,4
2019	1	272,7	198,7	3,8	167,8	102,1	140,4
	2	439,4	111,1	7,5	284,7	92,5	197,3
	3	428,6	83,3	11,6	297,5	83,3	191,9
2020	1	492,4	89,4	117,4	58,4	160,4	100,7
	2	492,4	78,9	100,9	78,9	141,5	107,4
	3	422,1	225,0	10,8	90,6	122,6	106,4
2021	1	0,0	39,7	11,4	27,4	18,7	23,8
	2	0,0	35,1	9,8	32,9	16,5	25,5
	3	0,0	33,3	8,1	52,6	14,3	33,8

*здесь и далее 1 – раннеспелая; 2 – среднеспелая; 3 – позднеспелая.

культур от гидротермических условий периода вегетации одна группа авторов [10, 11] учитывает среднемесячные и среднедекадные показатели температуры воздуха, суммы осадков и др. Другие исследователи [12] рассчитывают гидротермические показатели для межфазных периодов, принимая во внимание ежедневные показатели суммы осадков, температуры воздуха и календарные даты наступления и окончания основных фенологических фаз развития растений.

Источником увлажнения в течение всей вегетации растений служат атмосферные осадки. При этом зачастую, определяющее влияние на формирование продуктивности посевов оказывает не только их количество в течение всей вегетации, но и характер распределения по межфазным периодам.

Анализ распределения суммы выпавших атмосферных осадков по межфазным периодам вегетации сортов ярового ячменя для 3-х групп спелости свидетельствует о крайней его неравномерном, как в пределах вегетации, так и в зависимости от года изучения (табл. 1). Так, в 2015 г. минимальные значения для 3-х групп спелости сортов ячменя были отмечены в межфазный период «всходы–кущение» (12,9, 12,5 и 12,5 % от среднегодовой нормы соответственно), максимальные – в межфазный период «колошение–полная спелость» (196,0, 202,9 и 206,7 %). В 2016 г. максимальные значения (246,8, 287,9 и 287,9 % от среднегодовой нормы соответственно) отмечены в межфазный период «всходы–кущение», минимальные (26,0, 26,3 и 26,6 %) – в межфазный период «колошение–полная спелость». В 2019 г. максимальные значения (272,7, 428,6 и 439,4 % от среднегодовой нормы соответственно) отмечены так же в межфазный период «всходы–кущение», а минимальные (3,8, 47,5 и 11,6 %) – «выход в трубку–колошение». В 2021 г. в межфазный период «всходы–кущение» осадки отсутствовали.

Особое значение для ячменя имеет достаточное увлажнение в межфазный период «выход в трубку–колошение». Если от посева до выхода в трубку ячмень использует 20...29 %, а от колошения до уборки 12...25 % общего расхода влаги из почвы, то от выхода в трубку до колошения – 32...37 % [13]. Следует отметить, что в 2015, 2016, 2018, 2020 и 2021 гг. суммы осадков в межфазный период «выход в трубку–колошение» сортов позднеспелой группы (75,5, 71,4, 30,9, 10,8 и 8,1 % от среднегодовой нормы соответственно) были ниже, чем для сортов раннеспелой и среднеспелой групп.

Оценка условий увлажнения периода вегетации по сумме осадков недостаточна для характеристики водных ресурсов территории. В агрометеорологии для этой цели используют отношение количества осадков к испаряемости (ГТК). Засушливые условия периода вегетации сильно снижают урожайность зерна ярового ячменя, в сравнении с благоприятными [14, 15].

В Предкамской зоне РТ период вегетации ярового ячменя характеризуется ежегодным проявлением засух различной интенсивности, совпадающих с тем или иным межфазным периодом. Экстремальная засуха (ГТК ≤ 0,3) для сортов 3-х групп спелости отмечена в 2015 г. в межфазный период «всходы–кущение», в 2016 г. – «колошение–полная спелость», в 2019 г. – «выход в трубку–колошение»; для позднеспелой группы в 2018 г. – «выход в трубку–колошение»; в 2020 г. – «выход в трубку–колошение» (табл. 2).

В условиях Предкамской зоны РТ наибольшая вариабельность характерна для таких гидротермических показателей, как «сумма осадков» и «ГТК». Наиболее сильное их варьирование отмечено в межфазные периоды позднеспелой группы: «всходы–кущение» – 78,5 и 95,9 % соответственно, «кущение–выход в трубку» – 65,3 и 77,9 %, «колошение–полная спелость» – 89,4

Табл. 2. Характер увлажнения межфазных периодов вегетации ярового ячменя 3-х групп спелости на основе индексов ГТК (по классификации, разработанной О.Л. Шайтановым для условий РТ*)

Год	Группа спелости	Всходы–кущение	Кущение–выход в трубку	Выход в трубку–колошение	Колошение–полная спелость	Всходы–колошение	Всходы–полная спелость
2015	1	0,07	0,45	1,32	1,47	0,69	1,18
	2	0,05	0,62	1,07	1,50	0,64	1,15
	3	0,07	0,48	0,79	1,50	0,55	1,07
2016	1	1,31	1,11	1,39	0,22	1,27	0,65
	2	0,73	2,04	1,23	0,21	1,16	0,63
	3	0,67	1,75	1,26	0,20	1,13	0,60
2017	1	2,53	0,59	1,69	1,21	1,52	1,32
	2	2,53	0,73	2,40	0,88	2,02	1,28
	3	2,88	0,53	3,43	0,39	2,46	1,23
2018	1	0,71	1,67	0,44	0,47	0,86	0,64
	2	0,71	1,81	0,36	0,45	0,79	0,59
	3	0,71	1,81	0,29	0,48	0,70	0,59
2019	1	1,08	1,44	0,04	1,35	0,76	1,09
	2	1,41	1,03	0,07	2,27	0,68	1,52
	3	0,41	0,96	0,01	2,36	0,65	1,51
2020	1	2,62	1,96	1,08	0,44	1,60	0,85
	2	2,34	1,99	0,95	0,57	1,44	0,89
	3	1,70	2,96	0,14	0,64	1,26	0,89
2021	1	0,0	0,26	0,12	0,23	0,14	0,19
	2	0,0	0,24	0,10	0,28	0,13	0,21
	3	0,0	0,25	0,08	0,44	0,14	0,19

*0,5 и менее – сухой; 0,6...0,7 – сильно засушливый; 0,8...0,9 – засушливый; 1,0...1,2 – слабо засушливый; 1,3...1,5 – влажный; 1,6 и более – избыточно влажный.

Табл. 3. Зависимость урожайности зерна от гидротермических показателей межфазных периодов (r – коэффициент корреляции)

Гидротермический показатель	Всходы–кущение	Кушение–выход в трубку	Выход в трубку–колошение	Колошение–полная спелость	Всходы–колошение	Всходы–полная спелость
$\Sigma_{эфф.t} > 5^{\circ}\text{C}$	-0,33	-0,36	-0,06	-0,06	-0,38*	-0,48**
$\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$	-0,37	-0,36	0,04	0,35	-0,40*	-0,29
с.с.т воздуха, °C	-0,76**	-0,16	-0,48*	-0,76**	-0,60**	-0,88**
сумма осадков, мм	0,66**	0,04	0,62**	0,26	0,80**	0,66**
ГТК	0,76**	0,05	0,61**	0,22	0,77**	0,71**
Анализ путевых коэффициентов						
Высокий прямой вклад	$\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ ГТК	$\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ ГТК	$\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ ГТК	с.с.т воздуха	$\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ ГТК	$\Sigma_{эфф.t} > 5^{\circ}\text{C}$ $\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ с.с.т воздуха ГТК
Высокий косвенный вклад	$\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ ГТК	$\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ ГТК	$\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ ГТК	–	$\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ ГТК	ГТК

* достоверно на уровне p=0,05; ** достоверно на уровне p=0,01.

и 91,2 %, «всходы–колошение» – 65,9 и 72,2 %. Максимальные в рамках исследований коэффициенты вариации суммы осадков и ГТК (142,0 и 138,9 % соответственно) отмечены для растений этой группы спелости в межфазный период «выход в трубку–колошение», на который приходятся и более высокими коэффициенты вариации для $\Sigma_{эфф.t} > 5^{\circ}\text{C}$ и $\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ (23,2 и 21,0 % соответственно).

По результатам корреляционного анализа данных установлена существенная на 1 % и 5 %-ном уровнях значимости связь урожайности зерна с разными гидротермическими показателями в различные межфазные периоды. В период «всходы–колошение» это среднесуточная температура воздуха (r = -0,76; p=0,01) и сумма осадков (r = 0,66) и ГТК (r = 0,76); «выход в трубку–колошение» – сумма осадков (r = 0,62) и ГТК (r = 0,61); «колошение–полная спелость» – среднесуточная температура воздуха (r = -0,76); «всходы–колошение» – среднесуточная температура воздуха (r = -0,60), сумма осадков (r = 0,80) и ГТК (r = 0,77); «всходы–полная спелость» – среднесуточная температура воздуха (r = -0,88), сумма осадков (r = 0,66) и ГТК (r = 0,71). В межфазный период «кущение–выход в трубку» значимая связь урожайности зерна с гидротермическими показателями не установлена (табл. 3).

Анализ путевых коэффициентов выявил определяющее влияние в Предкамской зоне РТ на величину урожайности зерна ярового ячменя в межфазные периоды «всходы–кущение», «кущение–выход в трубку»,

«выход в трубку–колошение», «всходы–колошение» таких показателей, как $\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ и ГТК, в период «колошение–полная спелость» – с.с.т воздуха.

Результаты наших исследований подтверждают установленные ранее [16, 17] закономерности влияния гидротермических условий межфазных периодов на величину урожайности зерна ярового ячменя, в частности значимую зависимость урожайности зерна от средней суточной температуры воздуха в межфазного периода «колошение–полная спелость» и суммы активных температур выше 10 °C в период «всходы–полная спелость».

Другие исследователи [18] при сравнительной оценке уравнений множественной регрессии, отражающих зависимость урожайности зерна ячменя от величин ГТК периодов вегетации, пришли к заключению, что в максимальной степени (по величине коэффициента детерминации – R²) она характерна для гидротермических условий межфазного периода «выход в трубку–колошение».

Более высокая вариабельность урожайности зерна (40,4...45,1 %), более низкая реализация потенциальной продуктивности (56,5...60,6 %) и стрессоустойчивости (-4,20...-4,96 т/га) позднеспелых сортов Тимерхан, Эндан, Лаишевский в наших исследованиях (табл. 4) обусловлены повышенными коэффициентами вариации суммы осадков (142,0 %), ГТК (138,9 %), $\Sigma_{эфф.t} > 5^{\circ}\text{C}$ (23,2 %) и $\Sigma_{акт.t} > 10^{\circ}\text{C}$ (21,0 %) межфазного периода «выход в трубку–колошение». Более низкая урожай-

Табл. 4. Урожайность зерна, реализации потенциальной продуктивности и стрессоустойчивости сортов ярового ячменя

Сорт	Группа спелости	Сбор зерна, т/га								CV, %*	РПП, %	ПСС, т/га
		2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	среднее			
Камашевский	раннеспелая	3,25	3,42	4,09	3,07	4,66	3,55	1,23	3,32	32,3	71,2	-3,43
Орлан	среднеспелая	3,55	3,45	4,70	3,32	4,47	3,65	1,37	3,50	30,8	74,5	-3,33
Нур	среднеспелая	2,74	2,89	4,31	2,71	4,21	3,30	1,21	3,05	34,4	70,8	-3,10
Белгородский 100	среднеспелая	2,72	3,12	5,09	2,61	4,66	4,15	1,12	3,35	41,0	72,0	-3,97
Раушан	среднеспелая	2,72	2,74	3,82	2,93	4,10	3,37	1,15	2,98	32,4	72,6	-2,95
Тимерхан	позднеспелая	2,47	2,53	5,15	2,52	3,89	2,83	0,95	2,91	45,1	56,5	-4,20
Эндан	позднеспелая	3,13	3,85	5,97	3,97	4,23	3,04	1,14	3,62	40,4	60,6	-4,83
Лаишевский	позднеспелая	3,02	3,44	5,85	3,31	3,85	2,82	0,89	3,31	44,3	56,6	-4,96
среднее		2,95	3,18	4,88	3,06	4,26	3,34	1,13	3,25			
HCP _{0,05}		0,23	0,24	0,22	0,20	0,20	0,21	0,22				

*CV – коэффициент вариации; РПП – реализация потенциальной продуктивности; ПСС – показатель стрессоустойчивости

ность позднеспелых сортов в 2015, 2019, 2020 и 2021 гг. связана с меньшими величинами ГТК межфазного периода «выход в трубку–колошение» (0,79, 0,01, 0,14 и 0,08 соответственно), в сравнении с аналогичными показателями для раннеспелой и среднеспелой группами.

Потенциально позднеспелые сорта продуктивнее скороспелых, что обусловлено биологически их более продолжительной ассимиляционной деятельностью и способностью формировать большее число листьев, вторичных корней и колосков в колосе. Однако эти потенциальные возможности реализуются только в благоприятных условиях всего периода вегетации. Так, позднеспелые сорта Тимерхан, Эндан и Лаишевский сформировали высокий урожай зерна (5,15, 5,97 и 5,85 т/га соответственно) в благоприятном по влаго- и теплообеспеченности 2017 г.

Таким образом, определяющее влияние на урожайность зерна в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан оказывают суммы активных температур выше 10 °С и величины ГТК межфазных периодов «всходы–кущение», «кущение–выход в трубку», «выход в трубку–колошение», «всходы–колошение», а также средняя суточная температура воздуха в период «колошение–полная спелость».

Более высокая вариабельность урожайности зерна (40,4...45,1 %), меньшие показатели реализации потенциала продуктивности (56,5...60,6 %) и стрессоустойчивости (-4,20...-4,96 т/га) позднеспелых сортов обусловлены наибольшей вариабельностью гидротермических условий в межфазные периоды генотипов этой группы спелости.

Литература.

1. Суворова Г.Н., Гурьев Г.П., Иконников А.В. Влияние метеоусловий года и инокуляции ризобиями на формирование урожайности чечевицы и показатели ее структуры // *Земледелие*. 2021. № 4. С. 3-6.
2. Богдан П.М., Коновалова И.В., Клыков А.Г. Влияние абиотических факторов на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Приморского края // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. Т. 35. № 1. С. 16-20.
3. Зейналов А.С.О., Орел Д.С. Изменение видового состава, биоэкологии и вредоносности основных фитофагов яблони в центральном районе Нечерноземной зоны России под влиянием климатических факторов // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 16. № 1 (61). С. 15-21.
4. Оценка адаптивного потенциала сортов и линий ярового ячменя селекции Татарского НИИСХ / В.И. Блохин, И.Ю. Никифорова, И.С. Ганиева и др. // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021. № 4 (40) С. 82-92. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-82-92.
5. Оценка влияния глобального потепления на климат Татарстана / О.Л. Шайтанов, Р.М. Низамов, Е.И. Захарова и др. // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021. № 4 (40). С. 102-112. doi: 10.24412/2309-348X-2021-4-102-112.
6. Мустафина А.Б. Основные особенности влияния погодных условий на урожайность зерновых культур в Республике Татарстан // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2019. №2 (372). С. 144-153.
7. Селянинов Г.Т. Методы сельскохозяйственной характеристики климата // *Мировой агроклиматический справочник*. Л.-М.: изд-во «Гидрометеиздат». 1937. 428 с.
8. Шайтанов О.Л., Тагиров М.Ш. Основные тенденции изменения климата в Татарстане в XXI веке. Казань: «Фолиант». 2018. 35 с.
9. Седловский А.Н., Мартынов С.П., Мамонов Л.К. Генетико-статистические подходы к теории селекции самоопыляющихся культур. Алма-Ата: изд-во «НАУКА» Казахской ССР, 1982. С. 129-134.
10. Кинчаров А.И., Таранов Г.Ю., Дёмина Е.А. Специфическая реакция сортов мягкой пшеницы на погодные условия // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 9(162). С. 61-68. doi: 10.36718/1849-4036-2020-9-61-68.
11. Зезин Н.Н., Постников П.А. Формирование и налив зерна с урожаем яровой пшеницы в различных метеоусловиях // *Зерновое хозяйство России*. 2021. № 1(73). С. 57-62. doi: 10.31367/2079-8725-2021-73-1-57-62.
12. Гребенчиков В.Ю., Верхотуров В.В., Копылова В.С. Влияние гидротермических условий на продуктивность и технологические качества двурядного ячменя в условиях Иркутской области // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. №4(44). С. 85-90. doi: 10.18286/1816-4501-2018-4-85-90.
13. Борисоник З.Б. Ячмень яровой. М.: изд-во «Колос», 1974. С. 80-81.
14. Evaluation of morpho-physiological traits under drought tress conditions in barley (*Hordeum vulgare* L.) / Istanbuli T., Baum M., Touchan H., et al. // *Photosynthetica*. 2020. Vol. 58. No. 4. P. 1059-1067. doi: 10.32615/ps.2020.041.
15. Assessing the Potential of Cereal Production Systems to Adapt to Contrasting Weather Conditions in the Mediterranean Region / *Abi Saab M. Th., Sellami M.H., Giorio P., et al. // Agronomy*. 2019. Vol. 9. No. 7. 21 pp. doi:10.3990/agronomy9070393.
16. Влияние агроклиматических условий на урожай зерна ярового ячменя в условиях Среднего Поволжья / А.А. Бишарев, С.Н. Шевченко, Е.В. Мадьякин и др. // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2018. Т. 20. № 2(4). С. 667-670.
17. Филенко Г.А., Васильченко С.А., Донцов Д.П. Продуктивность сорта ярового ячменя Леон в зависимости от метеоусловий в Южной зоне Ростовской области // *Зерновое хозяйство России* 2017. № 1(49). С. 43-49.
18. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Урожайность зерна ячменя и ее зависимость от минерального питания и гидротермических условий в период вегетации // *Агрохимический вестник*. 2019. № 2. С. 33-38. doi: 10.24411/0235-2516-2019-10024.

Поступила в редакцию 19.04.2022

После доработки 31.07.2022

Принята к публикации 01.09.2022

ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ ЯРОВОЙ ТВЁРДОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ СЕЛЕКЦИИ СОРТОВ УСТОЙЧИВЫХ К ПАТОГЕНАМ, ВЫЗЫВАЮЩИМ ПОЧЕРНЕНИЕ ЗАРОДЫША ЗЕРНА

П. Н. Мальчиков, Т. В. Чахеева, М. Г. Мясникова

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

Исследования проводили с целью определения вклада генотипа и среды в формирование зерна с чёрным зародышем и идентификации сортов устойчивых к патогенам этого заболевания. Работу выполняли в условиях Самарской области. В 2015–2021 гг. были изучены 13 сортов и селекционных линий конкурсного сортоиспытания (КСИ): Харьковская 46, Безенчукская 139, Безенчукская 182, Безенчукская степная, Памяти Чеховича, Марина, Безенчукская 205, Безенчукская 209, Безенчукская нива, Безенчукская 210, Безенчукская золотистая, 1307д-51, 1389да-1. Дополнительно в 2019, 2020 гг. изучены 26 сортов питомника КАСИБ (Казахстанско-Сибирская селекция яровой пшеницы), в 2014, 2018 гг. 23 образца коллекции из разных стран. КСИ проводили на делянках 20,0 м² в 5-и повторениях, изучение в питомнике КАСИБ и коллекции – на делянках 10,0 м² в 2...3 повторениях. Пробы зерна для анализа отбирали с каждого повторения. Анализируемый образец включал 500 зёрен. Определяли распространённость (%) зерен с чёрным зародышем. Условия среды вносили наибольший вклад в дисперсию признака – 55,7 %, факторы генотипа и генотип/средовых взаимодействий также были значимы, их влияние составило 8,2 % и 28,7 % соответственно. По абсолютным значениям устойчивости и стабильности в КСИ выделены Харьковская 46, Безенчукская 139, Безенчукская 182, Марина. Сумма рангов по устойчивости и стабильности у этих сортов составила 10...17 баллов, у неустойчивых – 35...52. Наиболее перспективен по комплексу признаков (сумма рангов 10) сорт Марина. В питомнике КАСИБ выделены устойчивые (0,0...0,25 %) генотипы из Сибири (Гордеиформе 910, Гордеиформе 08-25-2, Гордеиформе 08-107-5), Поволжья (1963Д-71, 2021Д-1) и Урала (Меляна), в коллекционном питомнике идентифицированы высокоустойчивые (0,0 %) генотипы из Италии (ISD19, ISD20, ISD22, Achille, Grecalle, Odisseo) и Австрии (Duroflaus, Duromax).

SOURCE MATERIAL OF SPRING DURUM WHEAT FOR BREEDING VARIETIES RESISTANT TO PATHOGENS THAT CAUSE BLACKENING OF THE GRAIN GERM.

Mal'chikov P. N., Chakheeva T. V., Myasnikova M. G.

Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N. M. Tulaykova,
446254, Samarskaya obl., Bezenchukskii r-n, pos. Bezenchuk, ul. K. Marksa, 41
E-mail: samniish@mail.ru

The purpose of the research is to determine the contribution of the genotype and environment to the formation of grain with a black germ and to identify varieties resistant to black germ pathogens. The studies were carried out at the Samara Research Institute of Agriculture. In 2015–2021 studied 13 varieties and breeding lines of competitive variety testing (CVT): Kharkivskaya 46, Bezenchukskaya 139, Bezenchukskaya 182, Bezenchukskaya stepnaya, Pamyaty of Chekhovich, Marina, Bezenchukskaya 205, Bezenchukskaya 209, Bezenchukskaya niva, Bezenchukskaya 210, Bezenchukskaya zolotistaya, 1307d-51, 1389DA-1. Additionally, in 2019, 2020, 26 varieties of the KASIB nursery (Kazakhstan-Siberian selection of spring wheat) were studied, and in 2014, 2018, 23 samples of the collection from different countries. CVT was studied on plots of 20.0 m² in 5 replication, KASIB and the collection on plots of 10.0 m² in 2-3 replication. Grain samples for analysis were taken from each replication. The analyzed sample included 500 grains. The prevalence (%) of grains with a black germ was determined. The reliability of the influence of factors on the spread of the black embryo was determined using analysis of variance, the parameters of adaptability and stability according to A. V. Kilchevsky, L. V. Khotyleva. Environmental conditions made the greatest contribution to the variance of the trait – 55.7%, genotype factors and genotype/environmental interactions were also significant, their influence was 8.2% and 28.7%, respectively. According to the absolute values of stability and stability in CVT, Kharkivskaya 46, Bezenchukskaya 139, Bezenchukskaya 182, Marina stood out. The sum of ranks for resistance and stability in these varieties was 10–17 points, in unstable varieties from 35–52. The most promising in terms of a set of characteristics (the sum of ranks is 10) is the Marina variety. Resistant (0.0–0.25%) genotypes from Siberia (Gordeiforme 910, Gordeiforme 08-25-2, Gordeiforme 08-107-5), Volga region (1963D-71, 2021D-1), Ural region (Melyana), highly resistant (0.0%) genotypes from Italy (ISD19, ISD20, ISD22, Achille, Grecalle, Odisseo), Austria (Duroflaus, Duromax) were identified in the collection nursery.

Ключевые слова: твердая пшеница (*Triticum durum*), сорт, патогены черного зародыша, устойчивость, генотип-средовое взаимодействие, стабильность, источники устойчивости.

Key words: durum wheat (*Triticum durum*), cultivar, black germ pathogens, resistance, genotype-environment interaction, stability, sources of resistance.

Чёрный зародыш – патология, которая наблюдается во всех регионах возделывания яровой твёрдой пшеницы [1]. Заболевание вызывают такие возбудители, как *Alternaria tritricina* (Pras.), *Alternaria tenuis* (Fr.), *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs (anamorph *Drechslera tritici-repentis* (Died.) Shoemaker), *Bipolaris*

sorokiniana (Sacc.) Shoemaker [2]. Признаками болезни служат бурая, тёмно-коричневая или даже чёрная окраска оболочек зародышевого конца зерна. Сам зародыш при этом часто остается неповрежденным. Поражение зерна происходит в поле во время формирования и созревания зерна и у твердой пшеницы, которая по-

ражается сильнее, чем мягкая, может достигать 12...33 %. Болезнь чаще проявляется на сортах с растянутым периодом созревания. В колоске наиболее подвержены поражению первые и вторые зерна — более крупные, содержащие больше влаги и медленнее созревающие. Сильнее всего от чёрного зародыша страдают семена из средней части колоса [3].

Мука из зерна, поражённого чёрным зародышем, имеет чёрные вкрапления (спексы), что значительно снижает ее ценность при производстве хлебных и макаронных изделий. Кроме того, оно теряет классность, следовательно, значительно уменьшается цена реализации [1].

Меры борьбы с распространением заболевания предусматривают сбор семян с наименее поражённых участков, их очистку, калибровку, протравливание, соблюдение севооборота, сроков посева, режимов обработки почвы. Первостепенные задачи — производство здоровых семян, то есть защита колоса фунгицидными препаратами в период вегетации, и создание устойчивых сортов [4, 5].

Цель исследований — определить вклад генотипа и среды в формирование зерна с чёрным зародышем и идентифицировать сорта устойчивые к патогенам чёрного зародыша.

Методика. Работу проводили на экспериментальном поле Самарского НИИСХ — филиала Самарского НЦ РАН в многолетнем опыте в 2015–2021 гг. В качестве основного объекта исследований были взяты 13 сортов и селекционных линий яровой твёрдой пшеницы Самарского НИИСХ, изучавшихся в этот период в конкурсном сортоиспытании: Харьковская 46, Безенчукская 139, Безенчукская 182, Безенчукская степная, Памяти Чеховича, Марина, Безенчукская 205, Безенчукская 209, Безенчукская нива, Безенчукская 210, Безенчукская золотистая и линии 1307д-51, 1389да-1. Кроме того, в 2019–2020 гг. были изучены 26 сортов по программе КАСИБ (Казахстанско-Сибирская селекция яровой пшеницы), а также в 2014 и 2018 гг. набор образцов коллекции из разных стран в количестве 23 образцов.

Условия среды в периоды налива, созревания зерна и уборки, если судить по количеству осадков, отличались достаточным разнообразием. Наиболее благоприятный фон для развития чёрного зародыша сложился в 2015 и 2018 гг., особенно в 2015 г., когда жаркая сухая погода в период цветения и начала формирования зерна сменилась обильными осадками и снижением температуры. В 2016 и 2017 гг. инфекционный фон был незначителен, среднее наличие зерен с чёрным зародышем в эти годы составило 1,33 и 0,56 % соответственно. В 2014, 2019, 2020, 2021 гг. инфекционный фон и распространение заболевания в среднем на уровне 2,76; 1,42; 1,13 и 2,07 % и генотипическими коэффициентами вариации 85,5; 133,6; 109,1 и 97,3 % соответственно, были достаточными для дифференциации генотипов по степени устойчивости.

Полевые эксперименты в КСИ выполняли в соответствии с общими требованиями к полевому эксперименту [6]. Сорта высевали на делянках с учетной площадью 20,0 м² в пяти повторениях с рендомизированным размещением в блоках. Питомники КАСИБ и коллекцию высевали на делянках 10 м² в двух-трёх повторениях. Посев проводили в оптимальные сроки по чистому пару, нормой высева 400 шт. всхожих зерен на 1,0 м², рекомендованной для твёрдой пшеницы. Пробы зерна для анализа отбирали с каждого повторения. Анализируемый образец включал 500 зёрен. Наличие чёрного зародыша определяли визуально, к числу поражённых относили все зёрна с потемнением или окрашиванием в

зоне зародыша независимо от интенсивности, что соответствует термину «распространение заболевания» [5]. К этой же группе относили зёрна с окрашенным (тёмным) перикарпом. Долю повреждённого зерна, выраженную в процентах, использовали для характеристики распространения чёрного зародыша.

Результаты исследований за 7 лет обрабатывали методом двухфакторного дисперсионного анализа [6] с определением эффектов среды, генотипа и их взаимодействия на проявление чёрного зародыша, а также параметров адаптивности и стабильности А.В. Кильчевского и Л.В. Хотылевой [7]. Экспериментальные данные, полученные в питомнике КАСИБ и коллекционном питомнике анализировали методом однофакторного дисперсионного анализа [6].

Результаты и обсуждение. Наибольший эффект на распространённость чёрного зародыша оказал фактор «год» (среда), его доля в изменчивости признака составила 55,7 %. Доли влияния генотипа и взаимодействия «генотип-среда» составили 8,2 % и 28,7 % соответственно (табл. 1).

Табл. 1. Эффекты (SS), их значимость (Фкр.) и доля (%) влияния генотипа, среды (год) и их взаимодействия на проявление чёрного зародыша (Безенчук, 2015–2021 гг.)

Источники	SS	Фкр.	Доля изменчивости, %
Сорт (А)	738,366	18,0	8,2
Год (В)	5005,421	244,4	55,7
Взаимодействие (А+В)	2576,208	10,480	28,7
Сумма эффектов А+АВ	3314,6		37
Ошибка (Z)	658		7,3

Существенный вклад «генотип-средовых» взаимодействий в вариацию проявления чёрного зародыша, позволяет предположить возможность создания сортов с минимальным поражением зерна при определённом сочетании условий среды. Также можно предположить вероятность возникновения трансгрессий по формированию стабильной устойчивости к патогенам «чёрного зародыша».

Результаты оценки сортов в зависимости от условий года свидетельствуют о том, что в 2015 г. наблюдали очень сильное проявление чёрного зародыша. Наиболее высоким оно было у сортов Безенчукская 210 (37,33 %), Безенчукская степная (21,33 %), Памяти Чеховича (19,33 %) и Безенчукская золотистая (18,67 %). В 2018 г. также благоприятном для развития заболевания, высокая частота зерен с чёрным зародышем отмечена у Безенчукской золотистой, Безенчукской нивы, Безенчукской 205, 1307д-51. В 2019 г., в группу с высоким поражением вошли Харьковская 46, Памяти Чеховича, Безенчукская 205, Безенчукская 209, в 2020–2021 гг. — Безенчукская степная, Безенчукская золотистая и Безенчукская 205. В 2016 и 2017 гг. достоверных различий между сортами не обнаружено (табл. 2).

Результаты исследований позволили распределить сорта по частоте развития чёрного зародыша в среднем за годы изучения на три группы. В группу наиболее устойчивых вошли Марина, Безенчукская 139 и Безенчукская 182, среднеустойчивых — Харьковская 46, Безенчукская 209, Безенчукская 205, Безенчукская нива, 1307д-51, 1389да-1, восприимчивых — Безенчукская 210, Безенчукская золотистая, Безенчукская степная, Памяти Чеховича.

Для полноценной характеристики устойчивости генотипов при отсутствии полностью иммунных со-

Табл. 2. Частота поражения зерна (доля поражённых зерен) сортов яровой твёрдой пшеницы патогенами, вызывающими чёрный зародыш (2015–2021 гг.), %

Сорт	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Средняя
Харьковская 46	6,67	1,67	0,33	0,33	5,00	0,33	0,33	2,09
Безенчукская 139	6,00	0,33	0,33	0,33	2,33	0	1,33	1,52
Безенчукская 182	6,00	0,33	0,33	0,33	0	0	0,33	1,05
Безенчукская степная	21,33	1,0	1,0	2,67	1,33	4,0	5,0	5,19
Памяти Чеховича	19,33	2,0	1,67	3,67	4,33	2,33	2,0	5,05
Марина	5,33	0,33	0,33	3,67	1,33	1,0	0,33	1,76
Безенчукская 205	10,33	2,0	0,67	4,67	4,0	1,0	6,33	4,14
Безенчукская 209	9,33	2,67	0,33	4,0	3,33	0	3,33	3,28
Безенчукская нива	10,67	3,0	0,67	4,67	0	0	0,33	2,76
Безенчукская 210	37,33	2,0	1,0	3,67	2,0	1,0	1,0	6,86
Безенчукская Золотистая	18,67	1,0	0,67	5,0	2,33	3,0	4,33	5,00
1307д-51	14,33	0,33	0	6,0	2,0	1,33	1,0	3,57
1389да-1	13,67	0,67	0	3,0	1,0	0	1,33	2,81
НСР	5,466	–	–	2,214	1,718	1,955	2,154	
Ff	15,22*	Ff<Ft	Ff<Ft	15,06*	6,60*	2,75*	4,61*	

*значимо на 5 %-ном уровне.

ртов и генотипического варьирования исследуемого признака в зависимости от среды требуется их оценка по параметрам стабильности и отзывчивости на условия среды. Для определения сортов стабильно сохраняющих относительно высокую устойчивость к патогенам чёрного зародыша во все годы, полученные результаты были изучены по параметрам адаптивности и стабильности, по методике А.В. Кильчевского и Л.В. Хотылевой [7].

По общей адаптивной способности распределение сортов соответствовало их разделению по среднему значению и позволило выделить те же три группы: устойчивые (значения OAC_i – -1,38...-2,42) – Безенчукская 182, Безенчукская 139, Марина и Харьковская 46; среднеустойчивые (значения OAC_i – -0,19...0,1) – Безенчукская нива, Безенчукская 209, Безенчукская 205, 1389да-1, 1307д-51; восприимчивые (значения OAC_i – 1,53...3,39) – Безенчукская золотистая, Памяти Чеховича, Безенчукская степная и Безенчукская 210 (табл. 3).

Низкие значения σCAS_i , показывающей отзывчивость генотипа на вариацию условий среды, были определены у сортов Марина, Безенчукская 139, Безенчукская 182. Это означает, что они слабо реагируют на повышение интенсивности инфекционной нагрузки, то есть проявляют в этих условиях устойчивость.

Параметр относительной стабильности (S_{gi}), отражает соотношение варибельности признака по σCAS_i и его средней величины, чем меньше значение этого параметра, тем выше стабильность. Низкие значения S_{gi} (высокая стабильность) у сортов Безенчукская 205 и Безенчукская 209 объясняются средними величинами CAS_i и высоким уровнем поражения патогенами чёрного зародыша в среднем за 7 лет эксперимента. В таком контексте целесообразно проводить оценку относительной стабильности внутри групп генотипов, сформированных по OAC_i или среднему значению признака. Среди сортов с низким уровнем поражения наиболее стабильным был сорт Марина.

Коэффициент компенсации генотипа (K_{gi}) варьировал от 0,14 до 8,84. У сортов Марина, Безенчукская 139, Безенчукская 182, Харьковская 46, Безенчукская 209, Безенчукская 205 и Безенчукская нива он был ниже 1, что свидетельствует о преобладании компенсирующего эффекта взаимодействия «генотип-среда». Это означает, что перечисленные сорта компенсируют эффекты среды, вызванные степенью инфекционной нагрузки. У неустойчивого сорта Безенчукская 210 параметр K_{gi} был выше единицы (8,84), что указывает на совпадение по знаку эффектов взаимодействия генотипа и среды с эффектами среды, то есть уровень поражения сорта, относительно других, резко увеличивается на высоком

Табл. 3. Показатели адаптивной способности и стабильности генотипов по признаку устойчивости к факторам чёрного зародыша (Безенчук, 2015–2021 гг.)

Генотип	OAC_i	σCAS_i	S_{gi}	CCG_i	K_{gi}
Харьковская 46	-1,38	2,45	117,25	3,02	0,30
Безенчукская 139	-1,95	1,89	124,34	2,23	0,18
Безенчукская 182	-2,42	1,95	185,71	1,79	0,19
Безенчукская степная	1,72	7,21	138,93	7,91	2,55
Памяти Чеховича	1,58	6,30	124,75	7,43	1,95
Марина	-1,71	1,70	96,60	2,40	0,14
Безенчукская 205	0,84	3,29	79,47	5,55	0,52
Безенчукская 209	-0,19	2,92	89,02	4,38	0,41
Безенчукская Нива	-0,71	3,79	137,32	4,19	0,70
Безенчукская 210	3,39	13,43	195,77	11,93	8,84
Безенчукская золотистая	1,53	6,16	123,20	7,33	1,85
1307д-51	0,1	5,05	141,40	5,48	1,25
1389да-1	-0,66	4,70	167,30	4,58	1,08

Табл. 4. Группы сортов по адаптивности и стабильности, сформированных по сумме рангов этих свойств (по данным полевых опытов 2015–2021 гг.)

Группа адаптивности и стабильности по сумме рангов	Сорт	Сумма рангов
Высокая устойчивость и стабильность	Марина	10
	Безенчукская 139	12
	Харьковская 46	16
	Безенчукская 182	17
	Средняя	13,8
Средняя устойчивость и стабильность	CV*	24,0
	Безенчукская 209	20
	Безенчукская нива	25
	Безенчукская 205	25
	1389ДА-1	32
Низкая устойчивость и низкая стабильность	Средняя	25,5
	CV	19,3
	Безенчукская золотистая	35
	1307Д-51	35
	Памяти Чеховича	40
	Безенчукская степная	45
	Безенчукская 210	52
	Средняя	41,4
	CV	17,5

*CV – коэффициент генотипической вариации.

инфекционном фоне. При отборе стабильных генотипов следует отдавать предпочтение генотипам с $K_{gi} \leq 1$.

По интегральному признаку $СЦГ_j$, характеризующему одновременно величину и устойчивость признака, выделены Безенчукская 182, Безенчукская 139, Марина, Харьковская 46.

Большинство сортов в зависимости от складывающихся условий среды значительно меняют ранги по признаку «чёрный зародыш» внутри выборки. Это подтверждает значимые эффекты «генотип-среда», описанные ранее по данным двухфакторного анализа. Сумма рангов (ранжирование по вектору от лучшего сорта к худшему) по основным статистическим параметрам (OAC_i , $СЦГ_j$, S_{gi} , K_{gi}) позволяет идентифицировать лучшие генотипы по комплексу признаков в целом по эксперименту. Лучшими следует считать сорта с меньшей суммой рангов.

В нашем эксперименте, в котором изучали 13 генотипов по четырем параметрам, возможные варианты по сумме рангов определяются в области цифрового ряда от минимального значения – 4 (1+1+1+1) единицы, до максимального 52 (13+13+13+13) единицы. Средняя сумма рангов в этом цифровом ряду равна 28 единицам (4+24=28; 52-24=28). Генотипы, у которых величина этого показателя находится в первой половине ряда, имеют оптимальный баланс устойчивости (среднее значение признака по эксперименту или параметр

OAC_i) и стабильности. Сорта второй половины ряда имеют противоположную оценку. Оптимальный баланс изучаемых свойств установлен для сортов Марина (10), Безенчукская 139 (12), Харьковская 46 (16), Безенчукская 182 (17). Средний балл по сумме рангов для этой группы составил 13,8 единиц. В группу сортов с низкой устойчивостью и стабильностью (сумма рангов – 35...52, средний балл – 41,4) вошли Безенчукская золотистая, 1307Д-51, Памяти Чеховича, Безенчукская степная, Безенчукская 210. Суммы рангов сортов с промежуточными свойствами Безенчукская 209, Безенчукская нива, Безенчукская 205, 1389ДА-1 варьировали от 20 до 32 единиц при средней величине 25,5 (табл.4).

Среди генотипов первой группы наиболее перспективен в селекции на устойчивость к патогенам, вызывающим чёрный зародыш, – сорт Марина. Он обладает комплексом других положительных свойств: адаптивность к широкому спектру лимитирующих факторов среды (рекомендован для возделывания в 7 и 9 регионах России), устойчивость к бурой ржавчине, листовым пятнистостям, хлебному пилильщику (благодаря выполненности соломины), крупнозерности в сочетании с высокой натурной массой зерна [8]. Весь этот комплекс признаков, в том числе устойчивость к патогенам чёрного зародыша, унаследовал новый сорт твёрдой пшеницы с высоким качеством клейковины и макарон – Таганрог [9]. Это позволяет отнести сорт Марина к донорам устойчивости к патогенам чёрного зародыша (табл.5).

Таким образом, среди сортов конкурсного сортоиспытания в течение продолжительного периода изучения (7 лет) в группе наиболее устойчивых генотипов отмечен только один сорт современного периода селекции (2009 г. включения в реестр России) – Марина. Сорта Харьковская 46, Безенчукская 139, Безенчукская 182 были созданы в 1957, 1980, 1993 гг. соответственно и в современных условиях неконкурентоспособны по урожайности и ряду других признаков.

Для повышения эффективности селекции необходим поиск сортов, устойчивых к патогенам черного зародыша среди современного селекционного материала. В связи с этим, в годы проявления заболевания были изучены сорта программы КАСИБ, набор которых формируется с двухлетним циклом обновления на основе перспективных линий селекционных учреждений России и Казахстана, адаптированных к условиям сопредельных степных и лесостепных провинций этих стран. Большинство изученных образцов из питомника КАСИБ были в той или иной степени восприимчивы к патогенам, вызывающим черный зародыш (табл. 6). Только у 4 сортов в течение двух лет зерен с признаками этого заболевания не обнаружено. Сорта этого блока по устойчивости/восприимчивости в среднем по двухлетним результатам изучения были распределены на три группы с учетом наименьшей существенной разницы по каждому году: устойчивые (доля поражённых зерен в 2019 г. от 0,0 до 1,0 %, в 2020 г. – от 0,0 до 0,5 %) – Меля-

Табл. 5. Донорские свойства сорта Марина по признакам устойчивости к патогенам и выполненности соломины, идентифицированные при создании сорта Таганрог от скрещивания Леукурум 1751 / Марина (2017-2021 гг.)

Сорт, линия	Поражение возбудителями*			Выполненность соломины, балл (4...20)	Урожайность, т/га
	чёрного зародыша, %	бурой ржавчины, тип/ %	листных пятнистостей, %		
Марина	2,5	2/3	5,0	19,0	2,07
Леукурум 1751	11,3	4/7,5	15,0	7,0	1,90
Таганрог	2,1	2/3	5,0	19,0	2,33

*в годы с максимальным развитием патогенов.

Табл. 6. Частота поражения зерна (доля поражённых зерен) сортов и линий яровой твёрдой пшеницы патогенами, вызывающими чёрный зародыш (питомник КАСИБ, 2019–2020 гг.), %

Сорт	Оригинатор	2019 г.	2020 г.	Средняя
Р-1409	Актюбинская	3,5	0,0	1,75
Союна	СХОС, Казахстан	2,0	2,5	2,25
Янтарная 60		1,5	4,0	2,75
Серке	НПЦ зернового хозяйства, Казахстан	0,5	2,5	1,5
Линия 69-08-2		0,0	0,5	0,25
Линия 250-06-14	Карабалыкская СХОС, Казахстан	0,5	1,5	1,0
Костанайская 15		4,0	0,0	2,0
Гордеиформе 1790		0,5	2,0	1,25
Гордеиформе 895	ФАНЦА	1,5	2,5	2,0
Гордеиформе 910		0,0	0,0	0,0
Гордеиформе 924		0,0	1,0	0,5
Гордеиформе 08-25-2	Омский АНЦ	0,0	0,5	0,25
Гордеиформе 08-67-1		1,5	0,0	0,75
Гордеиформе 08-107-5		0,0	0,0	0,0
Безенчукская золотистая (стандарт ранне-спелый)	Самарский НИИСХ – филиал Самарского ФИЦ РАН	8,5	3,0	5,75
Безенчукская нива (стандарт среднеспелый)		2,0	0,0	1,0
Золотая (стандарт среднепоздний)		3,0	3,5	3,25
Безенчукская 139 (исторический стандарт)		0,5	0,0	0,25
Леукурум 1693Д-71		0,0	0,0	0,0
Леукурум 1970		1,5	0,5	1,0
Леукурум 2021Д-1		0,0	0,5	0,25
Триада		3,5	0,5	2,0
Леукурум 2165	НИИСХ Юго-Востока	0,0	1,5	0,75
Гордея	ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН	1,0	1,0	1,0
Целинная		1,5	2,0	1,75
Меляна		0,0	0,0	0,0
НСР _{0,05}		1,0	0,5	
F _f ¹		7,627*	1,7*	

¹F_f – критерий Фишера; *значимо на 5,0 %-ном уровне

на (ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН), Гордеиформе 08-107-5, Гордеиформе 08-25-2 (Омский АНЦ), Линия 1693д-71, Линия 2021д-1, исторический стандарт Безенчукская 139 (Самарский НИИСХ), Гордеиформе 910 (Федеральный Алтайский научный центр агробιοтехнологий – ФАНЦА); устойчивые в средней степени (доля поражённых зерен в 2019 г. от 1,0 до 1,5 %, в 2020 г. – от 0,0 до 0,5 %) – Линия 69-08-2 (НПЦЗХ им. Бараева), Линия Д-2165 (НИИСХ Юго-Востока), Гордеиформе 924 (ФАНЦА), Гордеиформе 08-67-1 (Омский АНЦ), Леукурум 1970 (Самарский НИИСХ), Леукурум 2165 (НИИСХ Юго-Востока), Гордея (ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН). Все остальные сорта питомника КАСИБ квалифицированы как неустойчивые к патогенам черного зародыша

В целях привлечения в селекционный процесс новых источников устойчивости к патогенам чёрного зародыша и расширения генетического разнообразия в селекции по этому признаку в течение ряда лет были изучены

сорта из СИММУТ, Италии, Австрии в сравнении с наиболее восприимчивыми сортами из России, Казахстана и Украины.

В среднем по всем сортам в исследуемом питомнике поражение патогенами «чёрного зародыша» в наиболее благоприятные для их развития годы с максимальным поражением восприимчивых сортов (2014 и 2018 гг.) составило и 2,7...2,8 %. Поражение образцов варьировало от 0,0 до 7,5 % в 2014 г. и от 0,0 до 7,0 % в 2018 г. (табл. 7).

Табл. 7. Средняя частота поражения зерна (доля поражённых зерен) коллекционных образцов яровой твёрдой пшеницы патогенами, вызывающими чёрный зародыш (2014, 2018 гг.), %

Сорт, линия	Оригинатор	2014 г.	2018 г.
Безенчукская крепость	Самарский НИИСХ – филиал Самарского ФИЦ РАН	2,0	3,0
Безенчукская 210		5,5	5,0
Линия 1429д-9		4,0	4,0
Линия 1493д-27		3,5	4,0
Линия 1633д-7		4,5	4,5
Ясенка стандарт	НЦЗ им. П.П.Лукияненко	4,0	3,5
Линия 303д23-5		4,0	3,5
Спадщина	Институт растениеводства им. В.Я. Юрьева НААН	4,5	3,5
Аркола		4,5	4,0
Саратовская золотистая	НИИСХ Юго-Востока	4,5	4,0
Каргала 1412	Актюбинская СХОС	6,0	5,5
Линия rnd 235	СИММУТ	4,0	4,5
sooty/rascon//green/3		7,5	7,0
Линия ISD19	Италия	0,5	1,0
Линия ISD20		0,0	0,0
Линия ISD 21		4,0	3,5
Линия ISD22		0,0	0,0
Аккилле		0,0	0,0
Греккалле		0,0	0,0
Одиссео		0,0	0,0
Дурофлаус	Австрия	0,0	0,0
Дуромакс		0,5	1,0
Среднее значение		2,8	2,7
НСР _{0,05}		2,1	2,0

С учетом наименьшей существенной разницы по наличию чёрного зародыша по каждому году в группу устойчивых вошли сорта из Италии и Австрии ISD19, ISD20, ISD22, Аккилле, Греккалле, Одиссео, Дурофлаус, Дуромакс. Наиболее восприимчивы к поражению оказались линии 1633д-7, 1493д-27, 1429д-9, сорта Безенчукская 210, Безенчукская крепость (Самарский НИИСХ), Спадщина, Arcola (институт растениеводства им. В.Я. Юрьева НААН), rnd 235, sooty/rascon//green/3 (СИММУТ), Каргала 1412 (Актюбинская СХОС), Саратовская Золотистая (НИИСХ Юго-Востока), Ясенка, 303д23-5 (НЦЗ им. П.П.Лукияненко), ISD 21 (Италия).

Таким образом, в многолетнем эксперименте при изучении сортов конкурсного сортоиспытания яровой твёрдой пшеницы в Самарском НИИСХ – филиале Самарского ФИЦ РАН установлено влияние условий среды (года), генотипа и генотип-средовых взаимодействий на вариацию количества зерен с чёрным зародышем. Условия среды (год) вносили наибольший вклад в дисперсию признака – 55,7 %, факторы генотипа и генотип/средовых взаимодействий также были значимы, их влияние составило 8,2 % и 28,7 % соответственно. В связи с вы-

соким вкладом в дисперсию признака генотип-средовых взаимодействий, существует вероятность рекомбинаций и трансгрессивной селекции устойчивых сортов. По абсолютным значениям и стабильности устойчивости за семь лет изучения выделены четыре сорта – Харьковская 46, Безенчукская 139, Безенчукская 182 и Марина. Их можно использовать в качестве источников устойчивости. Наиболее перспективен по комплексу признаков сорт Марина, который по результатам использования в качестве исходного материала в практической селекции отнесен к донорам устойчивости к патогенам, вызывающим чёрный зародыш. Для расширения генетической базы в селекции сортов устойчивых к патогенам чёрного зародыша по результатам исследований современных селекционных линий, адаптированных к условиям степных и лесостепных территорий из России и Казахстана, в питомнике КАСИБ (Казахстанско-Сибирская селекция пшеницы) предлагается использовать 6 генотипов – Гордеиформе 910 (ФАНЦА), Гордеиформе 08-25-2, Гордеиформе 08-107-5 (Омский АНЦ), 1963Д-71, 2021Д-1 (Самарский НИИСХ – филиал Самарского ФИЦ РАН), Меляна (ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН). В качестве источников предложены высокоустойчивые генотипы твёрдой пшеницы из Италии – ISD19, ISD20, ISD22, Achille, Grecalle, Odisseo и Австрии – Duroflaus и Duromax.

Литература.

1. Васильчук Н.С. Селекция яровой твердой пшеницы. Саратов. 2001. 124 с.
2. Патогенные и фитотоксические свойства возбудителей корневой гнили и черного зародыша зерновых культур в некоторых районах России / Н.С. Жемчужина, М.И. Киселева, В.В. Лапина и др. // *Аграрная наука*. 2019. №1. С. 142–147. doi: 10.32634/0869-8155-2019-326-1-142-147.
3. Black point and red smudge in irrigated durum wheat in southern Saskatchewan in 1990–1992 / M.R. Fernandez, J.M. Clarke, R.M. De Pauw, et al. // *Can. J. Plant Pathol.* 1994. Vol. 16. P. 221–227.
4. Устойчивость генотипов твердой пшеницы к черному зародышу / Н.В. Барышева, М.А. Розова, А.И. Зиборов и др. // *Acta Biologica Sibirica*. 2016. Т. 2. № 4. P. 45–51.
5. Дифференциация сортов озимой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по устойчивости к наиболее вредоносным возбудителям грибных болезней / М.И.Киселева, Т.М.Коломиец, Е.В.Пахолкова и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2016. Т. 51. № 3. С. 299-309. doi: 10.15389/agrobiol.2016.3.299rus.
6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 321с.
7. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.
8. Мясникова М.Г., Мальчиков П.Н., Чахеева Т.В. Значимость компонентов урожайности сортов яровой твердой пшеницы из России и Казахстана // *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 5 (71). С.73-79. doi: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-73-79.
9. Результаты селекции твердой пшеницы в России на содержание каротиноидных пигментов в зерне / М.Г. Мясникова, П.Н. Мальчиков, Е.Н. Шаболкина и др. // *Зерновое хозяйство России*. 2019. №6 (66). С.37-40. doi: 10.31367/2079-8725-2019-66-6-37-40.

Поступила в редакцию 06.07.2022
 После доработки 01.08.2022
 Принята к публикации 01.09.2022

НОВЫЙ ВЫСОКОУРОЖАЙНЫЙ СОРТ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ОМСКИЙ 103**О.А. Юсова**, кандидат сельскохозяйственных наук, **П.Н. Николаев**, кандидат сельскохозяйственных наукОмский аграрный научный центр,
644012, Омск, просп. Королева, 26,
E-mail: yusova@anc55.ru

Ячмень по праву относится к одной из важнейших культур зернофуражного направления. Для производства высококачественного продовольственного продукта необходимы сорта, отличающиеся повышенными показателями урожайности и качества зерна. Цель исследований – изучить особенности формирования урожайности нового перспективного сорта ярового ячменя Омский 103. Работу проводили с 2019 по 2021 гг. в питомнике конкурсного сортоиспытания (зоны степи и южной лесостепи); отделе семеноводства (южная лесостепь) по предшественникам – пар и зерновые культуры. Перспективный сорт Омский 103 создан путем гибридизации родительских сортов (Медикум 4771×Рикотензе 4432) в 2007 г.; элитное растение выделено в 2010 г. Он относится к лесостепной экологической группе, среднеспелый (77...83 суток), засухоустойчивый, слабовосприимчивый к черной, каменной и пыльной головне. Растения среднерослые (высота 70...80 см), соломина прочная. Колосья двурядные, пленчатые, остистые, соломенно-желтые, цилиндрической формы, средней длины, рыхлые. Ости длинные (до 16 см), гладкие, расположены вдоль колоса, соломенно-желтые, средней грубости. Зерно желтое, пленчатое, полуудлиненное, крупное. Масса 1000 зерен 53,0...56,0 г. В среднем за период исследований Омский 103 характеризовался повышенной урожайностью как в южной лесостепи (+0,86 т/га к ст.), так и степной зоне (+0,19 т/га к ст.). Возделывание более эффективно по паровому предшественнику (6,71 т/га; +1,25 т/га к ст.), по сравнению с зерновым (5,43 т/га; +1,26 т/га к ст.). Отмечено повышенное содержание в зерне белка (+0,21% к ст.) и крахмала (+1,35 г к ст.). Перспективный сорт Омский 103 проходит Государственное сортоиспытание в Уральском Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском регионах.

NEW HIGH YIELD SPRING BARLEY VARIETY OMSK 103**Yusova O.A., Nikolaev P.N.**Omsk Agrarian Scientific Center,
644012, Omsk, prosp. Koroleva, 26
E-mail: yusova@anc55.ru

Barley is rightfully one of the most important grain forage crops. For the production of a high-quality food product, varieties are needed that are characterized by increased yields and grain quality. The purpose of the research is to study the features of the yield formation of a new promising spring barley variety Omsky 103. The research was carried out from 2019 to 2021. in the nursery of competitive variety testing (steppe and southern forest-steppe zones); department of seed production (southern forest-steppe) according to predecessors – fallow and grain crops. Variety Omsky 103 was obtained by hybridization of parental varieties (Medicum 4771×Rikotense 4432) in 2007; the elite plant was isolated in 2010. The variety belongs to the forest-steppe ecological group, mid-season (77 ... 83 days), drought-resistant, slightly susceptible to black, stone and dusty smut. Plants of the variety are medium tall (height 70 ... 80 cm), the straw is strong. Ears are two-row, membranous, spinous, straw-yellow, cylindrical, medium length, loose. The awns are long (up to 16 cm), smooth, located along the ear, straw-yellow, of medium coarseness. The grain is yellow, membranous, semi-elongated, large. Weight of 1000 grains 53.0...56.0 years. On average, over the period of research, Omsky 103 was characterized by increased productivity both in the zone of the southern forest-steppe (+0.86 t/ha to st.) and the steppe (+0.19 t/ha to st.). Cultivation of the variety is most effective for the fallow predecessor (6.71 t/ha; +1.25 t/ha to st.), compared with grain (5.43 t/ha; +1.26 t/ha to st.). An increased content of protein (+0.21% to st.) and starch (+1.35 g to st.) in the grain was noted. Variety Omsky 103 is undergoing State variety testing in the Urals, West Siberian and East Siberian regions.

Ключевые слова: ячмень (*Hordeum vulgare* L.), сорт, белок, крахмал, урожайность, сортоиспытание.**Key words:** barley (*Hordeum vulgare* L.), variety, protein, starch, yield, variety testing.

Основную нишу в продовольственном балансе страны, безусловно, занимают зернофуражные культуры. Немаловажную роль они играют в животноводстве [1]. Однако, несмотря на значительную историю их возделывания, проблема повышения продуктивности остается одной из основных для современного земледелия [2, 3, 4].

Динамичное развитие современного общества накладывает определенные требования на качество производимой продукции: экологичность [1], высокая питательность, универсальность использования. Для производства высококачественного продовольственного продукта необходимы сорта, отличающиеся повышенным качеством зерна.

Ячмень по праву относится к одной из важнейших культур зернофуражного направления, поскольку характеризуется разносторонним использованием [5]. Эффективность производства зерна, в частности, ярового ячменя зависит, прежде всего, от потенциала возделываемых сортов, в связи с чем для производ-

ства рекомендуются новые высокопродуктивные сорта [6].

С 2019 г. Омский аграрный научный центр проводит исследования в рамках гранта «Создание селекционно-семеноводческих и селекционно-племенных центров в области сельского хозяйства для создания и внедрения в агропромышленный комплекс современных технологий на основе собственных разработок научных и образовательных организаций». Согласно условиям его выполнения, в 2021 г. на Государственное сортоиспытание передан сорт ярового ячменя Омский 103.

Создание урожайных высококачественных сортов и дальнейшее распространение их в производстве позволит увеличить площади посевов, повысить сбор зерна, снизить импортозависимость от поставок сырья и себестоимость конечной продукции [6, 7].

В этой связи цель исследований – изучить особенности формирования урожайности нового перспективного сорта ярового ячменя Омский 103.

Методика. Исследования проводили с 2019 по 2021 гг. в Омском аграрном научном центре в зонах степи и южной лесостепи Западной Сибири.

Почва опытного участка в зоне южной лесостепи – чернозем луговой среднемощный тяжелосуглинистый. Содержание гумуса (по Тюрину) варьировало от 5,90 до 7,00 %, подвижного фосфора (по Кирсанову) – 90...120 мг/кг, обменного калия (по Масловой) – 240...320 мг/кг почвы, нитратного азота (по Кочергину) – 6,0 мг/кг, сумма поглощенных оснований – 40,0 мг-экв./100 г почвы, рН_{ксл} почвенного раствора – 6,3...6,6 ед.

Почва опытного участка в степной зоне – серая лесная с тяжелосуглинистым механическим составом, мощность гумусового горизонта 20...22 см. В пахотном горизонте содержится: гумуса (по Тюрину) 3,04...3,42 %, подвижного фосфора (по Кирсанову) – 10...12 мг/100 г почвы и подвижного калия – 19,8 мг/100 г (по Чирикову) почвы. Реакция солевой вытяжки слабокислая (рН=5,2 ед.).

В составе катионов преобладает кальций (90,0 %), на магний приходится 9,5 % от общей емкости поглощения, натрия – менее 0,5 %.

Опыт заложен рендомизированно, в четырех не смежных повторностях, в севообороте третьей культуры после пара. Площадь опытной делянки 15,0 м². Предпосевная обработка проведена культиватором «Степняк» КС 5,6.

Посев осуществлен в оптимальные сроки (как правило третья декада мая) рядовым способом сеялкой ССФК-7 при норме высева 4 млн всхожих семян на 1 га. Для защиты растений проводили обработку препаратами Примадонна и Овсюген (0,5 л/га), а также Гранат (0,015 кг/га).

Объект исследований – новый перспективный сорт ячменя Омский 103, стандартный сорт Омский 95 и последний переданный на ГСИ сорт Омский 102.

Омский 95 (St.) включен в Госреестр РФ с 2006 г. и допущен к использованию по Уральскому (9) и Западно-Сибирскому (10) регионам. Включен в Госреестр Республики Казахстан и рекомендован для возделывания на кормовые цели в Акмолинской и Северо-Казахстанской областях. Сорт среднеспелый (вегетационный период 79...90 суток), устойчив к засухе, слабо восприимчив к каменной и черной головне, средневосприимчив к пыльной. Кроме того, он характеризуется устойчивостью к полеганию, высокими показателями продуктивности и качества зерна.

Омский 102 – с 2021 г. находится в государственном сортоиспытании в Уральском (9), Западно-Сибирском (10) и Восточно-Сибирском (11) регионах РФ. Сорт среднеспелый (от всходов до созревания 77...87 суток), устойчив к полеганию. Характеризуется слабой восприимчивостью к черной и пыльной головне, средней – к каменной головне, высокой потенциальной продуктивностью и качеством зерна.

Кроме того, на базе отдела семеноводства в условиях максимально приближенных к производственным в зоне южной лесостепи проводили исследования по определению лучшего предшественника. Схема опыта предусматривала посев после пара и по зерновым культурам.

Период исследований (2019–2021 гг.) характеризовался контрастными метеоусловиями, что характерно для резко-континентальных условий Омской области. В зонах исследований отмечали различия по температурному режиму (рис. 1). Повышенные температуры воздуха в степной зоне в мае отмечали в 2019 и 2021 гг., в южной лесостепи – в 2020 и 2021 гг. (+2,0...+4,5 °С к среднеевропейским данным), в июле южной лесосте-

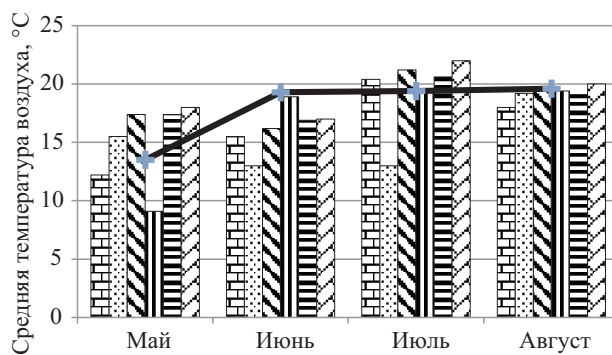


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха вегетационных периодов ячменя согласно данным Омской ГМС, °С: [штриховка] – южная лесостепь, 2019 г.; [штриховка] – степь, 2019 г.; [штриховка] – южная лесостепь, 2020 г.; [штриховка] – степь, 2020 г.; [штриховка] – южная лесостепь, 2021 г.; [штриховка] – степь, 2021 г.; [линия с маркерами] – среднеевропейские данные.

пи (+1,0...2,6 °С) – ежегодно, в степной зоне (+1,6 °С к норме) – в 2021 г.

Недобор средних температур воздуха в южной лесостепи отмечен в мае, июне и августе 2019 г. и июне 2020 г. (-1,3...-3,1 °С, по отношению к среднеевропейским данным); в степной зоне – в июне и июле 2019 г., июле 2021 г. и мае 2020 г. (-2,3...-6,3 °С к норме). В остальные периоды средняя температура воздуха находилась на уровне среднеевропейской нормы.

Для территории Западной Сибири традиционно характерно неравномерное распределение осадков. Избыток увлажнения в обеих исследуемых зонах наблюдали в мае и июне 2019 г., а также в июле степной зоны (то 126 до 284% к норме). В 2020 г. в зоне южной лесостепи переувлажнение отмечали только в июне (122%), в степной зоне – в мае, июне и августе (274...302%). Обильные осадки в 2021 г. наблюдали в июне в обеих зонах (114...127%). Остальные периоды характеризовались как засушливые (рис. 2).

Агротехника возделывания ячменя – общепринятая для Западно-Сибирского региона [8]. Качество зерна оценивали с использованием современных и традиционных методов и технологий [9]. Статистическую обработку данных проводили методом двухфакторного дисперсионного анализа по Доспехову Б.А. [10].

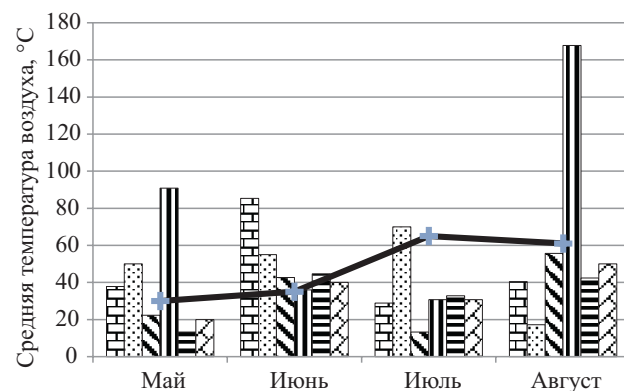


Рис. 2. Сумма осадков вегетационных периодов ячменя согласно данным Омской ГМС, мм: [штриховка] – южная лесостепь, 2019 г.; [штриховка] – степь, 2019 г.; [штриховка] – южная лесостепь, 2020 г.; [штриховка] – степь, 2020 г.; [штриховка] – южная лесостепь, 2021 г.; [штриховка] – степь, 2021 г.; [линия с маркерами] – среднеевропейские данные.

Табл. 1. Урожайность сорта ярового ячменя Омский 103, питомник КСИ, т/га

Сорт	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее по сорту	± к St.	Cv, %
зона южной лесостепи						
Омский 95, St.	5,60	6,04	2,73	4,79	-	30,0
Омский 102	6,63	6,71	2,87	5,40	+0,61	33,0
Омский 103	6,76	6,90	3,30	5,65	+0,86	29,0
Среднее по году	6,33	6,55	3,00	5,28	-	-
HCP ₀₅ фактора А (сорт) = 0,20; HCP ₀₅ фактора Б (год) = 0,85.						
степная зона						
Омский 95, St.	3,78	2,76	2,00	2,85	-	25,0
Омский 102	3,60	2,98	2,54	3,04	+0,19	14,0
Омский 103	3,85	3,60	2,98	3,48	+0,63	10,0
Среднее по году	3,74	3,11	2,51	3,12	-	-
HCP ₀₅ фактора А (сорт) = 0,18; HCP ₀₅ фактора Б (год) = 0,93.						

Результаты и обсуждение. Селекция – динамичная наука, стремящаяся к совершенствованию. Селекционеры изучают большое количество гибридных форм, дикоросов с целью дальнейшего применения. Чем больший объем исходного материала будет использован при создании сорта, тем более широкие адаптивные свойства он получит. Индивидуальный отбор способствует тому, что будут выбраны наиболее перспективные формы, унаследовавшие от родительских сортов полезные признаки и свойства. Родословная сорта Омский 103 довольно сложная. В ней присутствуют сорта и линии селекции Омского АНЦ (Паллидум 3733, Медикум 4602, Медикум 4771, Рикотензе 3928, Рикотензе 3928, Рикотензе 4432, Омский 85, Омский 89), других научных центров РФ (Белгородский К-22089, Циклон, Добрый, Олимп), а также зарубежной селекции (Keystone). Примечательно, что сорт Омский 103 создан с привлечением в родословную сорта озимого ячменя Циклон, который послужил для нового сорта источником повышенной урожайности.

Создание нового перспективного сорта Омский 103 включало следующие этапы:

в 2007 г. проведена гибридизация родительских сортов (Медикум 4771 × Рикотензе 4432);

2008 г. – размножение гибридных зерен поколения F₁ в специальном сетчатом дворике Омского АНЦ;

2009 и 2010 гг. – изучение и индивидуальный отбор полученных линий в гибридном питомнике в поколениях F₂ – F₆;

2010 г. – выделено элитное растение, которое стало родоначальным для нового сорта;

2013 г. – наиболее перспективные линии поколения F₇ посеяны в селекционном питомнике первого года (СП-I);

2014, 2015 гг. – изучение линий F₈ и F₉ в селекционном питомнике второго года (СП-II);

2016 г. – изучение в контрольном питомнике (КП);

2017–2021 гг. – оценка линий F₁₁ – F₁₅ в питомнике конкурсного сортоиспытания (КСИ);

2021 г. – лучшая линия Медикум 4897 в поколении F₁₅ получила название Омский 103 и была предана на Государственное сортоиспытание в Уральский (9), Западно-Сибирский (10) и Восточно-Сибирский (11) регионы РФ.

Сорт Омский 103 среднеспелый (вегетационный период 77...83 суток), относится к лесостепной экологической группе, разновидность нутанс (nutans). Сорт засухоустойчив, характеризуется слабой восприимчивостью к черной, каменной и пыльной головне.

Колосья двурядные, пленчатые, остистые, соломенно-желтые, цилиндрической формы, средней длины, рыхлые. Ости длинные (до 16 см), гладкие, расположены вдоль колоса, соломенно-желтые, средней густоты. Зерно желтое, пленчатое, полуудлинненное, крупное. Масса 1000 зерен 53,0...56,0 г. Сорт среднерослый (высота 70...80 см), соломина прочная.

Климатические условия Западно-Сибирского региона резко-континентальны, поэтому возделываемые сорта должны обладать способностью к формированию повышенной урожайности независимо от климатических факторов в период вегетации. В среднем за период исследований, в зоне южной лесостепи отмечали более высокую урожайность (+2,16 т/га), по сравнению со степной зоной (табл. 1). По годам наблюдали следующее варьирование:

в южной лесостепи от 2,73 т/га у стандартного сорта Омский 95 в 2019 г. до 6,90 т/га у сорта Омский 103 в 2020 г.;

в степной зоне от 2,00 т/га в 2021 г. до 3,85 т/га в 2018 г. у сорта Омский 103.

Табл. 2. Урожайность сорта ярового ячменя Омский 103, в зависимости от предшественника в условиях южной лесостепи, т/га

Сорт	Предшественник					
	пар			зерновые		
	2020 г.	2021 г.	среднее по сорту	2020 г.	2021 г.	среднее по сорту
Омский 95, St.	5,36	7,35	6,36	4,44	3,90	4,17
Омский 102	7,27	6,16	6,72	5,20	3,30	4,25
Омский 103	7,50	7,72	7,61	6,34	4,52	5,43
Среднее по году	6,71	7,08	6,89	5,33	3,91	4,62
HCP ₀₅ фактора А (сорт) = 0,25; HCP ₀₅ фактора Б (предшественник) = 0,82.						

Метеоусловия зон испытания также отражались на формировании урожайности. Максимальной в среднем по сортам она была в 2019 и 2020 гг. (см. табл. 1) как в южной лесостепной (6,76 и 6,90 т/га соответственно), так и в степной зоне (4,12 и 4,33 т/га).

Исследуемый сорт Омский 103 ежегодно характеризовался достоверной прибавкой по урожайности как в зоне южной лесостепи (+0,57...+1,16 т/га к ст.; +0,13...0,43 т/га к сорту Омский 102; HCP₀₅ фактора сорт = 0,20;), так и в степной (+0,98 т/га к ст.; +0,25...0,44 т/га к сорту Омский 102; HCP₀₅ фактора сорт = 0,18).

Изменчивость урожайности исследуемых сортов в зоне южной лесостепи была значительной (Cv > 20%), в степной зоне – у сортов Омский 102 и Омский 103 средней (10% < Cv < 20%), у стандарта Омский 95 – значительной.

Возделывание сортов ячменя по паровому предшественнику способствовало формированию более высокой урожайности, что составило +1,38 и +3,17 т/га в среднем за 2020 и 2021 гг., по отношению к зерновому предшественнику (табл. 2).

Новый перспективный сорт характеризовался повышенной урожайностью:

Табл. 3. Показатели качества зерна сорта ярового ячменя Омский 103

Сорт	Содержание белка, %				Содержание крахмала, %			
	2019 г.	2020 г.	2021 г.	\bar{x}	2019 г.	2020 г.	2021 г.	\bar{x}
Омский 95, st.	14,24	11,38	14,74	13,45	53,55	53,71	54,10	53,79
Омский 102	12,16	11,05	14,41	12,54	53,22	56,46	55,00	54,89
Омский 103	13,56	12,21	15,22	13,66	55,19	55,19	55,05	55,14
НСР ₀₅	0,90	0,62	0,40	–	1,10	1,30	0,87	

по паровому предшественнику – +1,25 т/га к st.; +0,89 т/га к сорту Омский 102.

по зерновому – +1,26 т/га к st.; +1,18...0,65т/га к сорту Омский 102.

Содержание в зерне ячменя белка – основной маркерный признак его питательной ценности [11]. В нашем исследовании величина этого показателя изменялась от 11,05% у сорта Омский 102 в 2020 г., до 15,22% у сорта Омский 103 в 2021 г. (табл. 3). Новый перспективный сорт ежегодно превосходил сорт Омский 102 на 0,81...1,40%, стандарт – в 2020 г. на 0,83 %, в 2021 г. на 0,48%. В среднем за период исследований повышенная белковость зерна сорта Омский 103 к st. составила 0,21%, к Омскому 102 – 1,12%.

Аналогичную картину наблюдали и по массовой доле крахмала в зерне. Сорт Омский 103 стабильно превосходил стандарт (на 0,95...1,64% ежегодно; +1,35% в среднем за период исследований) и сорт Омский 102 (+1,97% в 2019 г. и +0,25% в среднем).

Таким образом, в среднем за период исследований сорт Омский 103 характеризовался повышенной урожайностью как в южной лесостепи (+0,86 т/га к st.), так и в степной зоне (+0,19 т/га к st.). Возделывание сорта наиболее эффективно по паровому предшественнику (6,71 т/га; +1,25 т/га к st.), по сравнению с зерновым (5,43 т/га; +1,26 т/га к st.). В среднем за период исследований, сорт Омский 103 характеризовался повышенным содержанием белка (+0,21% к st.) и крахмала (+1,35 % к st.).

Литература.

1. *Качество сенажа из смешанных посевов зернофуражных культур в лесостепной и степной зонах Западной Сибири / Н.И. Кашеваров, Т.А. Садохина, Т.Г. Ломова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 4. С. 82-86.*
2. *Биологические приемы повышения плодородия почвы и увеличения продуктивности сельскохозяйственных культур / В.И. Турусов, А.М. Новичихин, О.А. Богатых и др. // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 10. С. 27-31.*
3. *Бурунов А.Н., Васин В.Г., Новиков А.В. Продуктивность яровой пшеницы и ячменя при применении удобрений и стимуляторов роста // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 1 (49). С. 20-25.*
4. *The Productivity of spring Barley when using Cobalt Nanoparticles and Liquid-Phase Biological Product / T. Seregina, O. Chernikova, Y. Mazhaysky, et al. // Agronomy Research. 2021. Т. 19. № 4. С. 1962-1969.*
5. *Новый среднеспелый сорт ярового ячменя Омский 101 / П.Н. Николаев, О.А. Юсова, Н.И. Аниськов и др. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019. № 180 (2). С. 83-88. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-83-88*
6. *Влияние удобрений на урожайность ячменя ярового в условиях Тульской области / Е.Н. Закабунина, Н.В. Кабачкова, Л.Е. Кораблина и др. // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. 2021. № 36 (41). С. 24-29.*
7. *Stress resistance in barley cultivars of various agroecological origin under extreme continental climate conditions / O.A. Yusova, P.N. Nikolaev, Ya. B. Bendina, et al. // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2020. No.181(4). P. 44-55. doi: 10.30901/2227-8834-2020-4-44-55.*
8. *Лоскутов И. Г., Ковалева О. Н., Блинова Е. В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. С-Пб.: Всероссийский науч.-исслед. ин-т растениеводства им. Н.И. Вавилова, 2012. 63 с.*
9. *Плешков Б.В. Практикум по биохимии растений. М.: Колос. 1985. 256 с.*
10. *Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 351 с.*
11. *Анализ сортов овса селекции Омского аграрного научного центра по сбору белка с единицы площади / О.А. Юсова, П.Н. Николаев, И.В. Сафонова и др. // Аграрный вестник Урала. 2020. № 6 (197). С. 38-48. doi: 10.32417/1997-4868-2020-197-6-38-48.*

Поступила в редакцию 25.05.2022

После доработки 20.06.2022

Принята к публикации 04.07.2022

ИНСЕКТОФУНГИЦИДЫ НА ПШЕНИЦЕ ОЗИМОЙ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

М. Н. Шорохов^{1,2}, кандидат биологических наук
В. А. Хилевский¹, кандидат сельскохозяйственных наук
В. И. Долженко¹, академик РАН

¹Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
196608, Санкт-Петербург, Пушкин, ш. Подбельского, 3
²ООО «Инновационный центр защиты растений»
196607, Санкт-Петербург, Пушкин, ул. Пушкинская, 20, лит. А, пом. 7-Н
E-mail: shorochov@icr.ru

Исследования проводили с целью определения биологической эффективности инсектофунгицидов, применяемых способом обработки семян для борьбы с хлебной жужелицей (*Zabrus tenebrioides* Goeze) и пшеничной мухой (*Phorbia fumigata* Meigen), на озимой пшенице. Работу выполняли в 2014–2020 гг. в полевых опытах в Ростовской области. Схемы опытов включали следующие варианты: Кинг Комби, КС в нормах 1,2 и 1,5 л/т (эталон – Моспилан, РП в норме 0,7 кг/га); Квартет, КС в нормах 1,0 л/т и 1,5 л/т (эталон – Сценик Комби, КС в норме 1,5 л/т); Хет-трик, СК в нормах 1,0 л/т и 1,5 л/т (эталон – Туарег, СМЭ в норме 1,4 л/т); Бомбарда, КС в нормах 0,8 л/т, 1,0 л/т и 1,2 л/т (эталон – Табу Нео, СК в норме 1,0 л/т). Во всех опытах контролями выступали варианты без применения пестицидов. Почва экспериментальных участков – тёмно-каштановая, тяжелосуглинистая с содержанием гумуса 3,1 %, pH водной вытяжки – 6,9. Все исследуемые препараты продемонстрировали биологическую эффективность, достаточную для уменьшения как численности вредителей, так и поврежденности растений ниже экономического порога вредоносности. Биологическая эффективность исследуемых препаратов против хлебной жужелицы составляла от 50,0 до 100 %, схожие данные получены по снижению поврежденности растений. Уменьшение численности пшеничной мухи составляло 50,8...91,5 %. При увеличении нормы применения препаратов биологическая эффективность возрастала, но статистических различий не наблюдали. Во всех вариантах опытов с препаратами достоверные отличия отмечены только с контролем без обработки.

INSECT-FUNGICIDES ON WINTER WHEAT IN ROSTOV REGION

Shorokhov M. N.^{1,2}, Khilevsky V. A.¹, Dolzhenko V. I.¹

¹All-Russian Research Institute of Plant Protection,
196608, Sankt-Petersburg, Pushkin, sh. Podbel'skogo, 3
²«Innovative Plant Protection Center»,
196607, Sankt-Petersburg, Pushkin, ul. Pushkinskaya, 20, lit. A, pom. 7-N.
E-mail: shorochov@icr.ru

The purpose of the research is to establish the biological effectiveness of insectofungicides on winter wheat, used by the method of seed treatment to combat the grain beetle (*Zabrus tenebrioides* Goeze) and wheat fly (*Phorbia fumigata* Meigen). The work was carried out in 2014–2020. in the Rostov region in field experiments. Scheme of experiments: King Combi, SC at the rate of 1.2 and 1.5 l/t were compared with the standard Mospilan, RP at the rate of 0.7 kg/ha; Quartet, SC in the norms of 1.0 l/t and 1.5 l/t – with the action of Scenic Combi, SC in the norm of 1.5 l/t; Hat-trick, SC in the norms of 1.0 l/t and 1.5 l/t – with the action of Tuareg, SME – in the norm 1.4 l/t; Bombarda, SC at the rate of 0.8 l/t, 1.0 l/t and 1.2 l/t – with the action of Taboo Neo, SC at the rate of 1.0 l/t. In all experiments, variants without the use of pesticides acted as controls. The soil of the experimental plots is dark chestnut, heavy loamy with a humus content of 3.1%, the pH of the water extract is 6.9. All studies were carried out according to generally accepted methods for registration tests of pesticides. It was revealed that all the studied preparations showed biological efficiency sufficient to reduce both the number of pests and damage to plants below the EPV (economic threshold of harmfulness). The biological effectiveness of the studied preparations in reducing the number of grain beetles ranged from 50.0 to 100%, similar indicators were found in reducing plant damage. The decrease in the number of wheat flies was 50.8–91.5%. With an increase in the rate of use of drugs, the biological effectiveness increased, but no statistical differences could be identified. All variants of experiments with preparations significantly differed only from the control without treatment.

Ключевые слова: инсектофунгициды, хлебная жужелица, пшеничная муха, Ростовская область, пшеница озимая (*Triticum aestivum* L.), эффективность

Key words: insectofungicides, grain beetle, wheat fly, Rostov region, winter wheat (*Triticum aestivum* L.), effectiveness

Продовольственная безопасность – важная составляющая развития страны. Без накопленных резервов продуктов питания и высоких урожаев сельскохозяйственных культур невозможно представить устойчивое развитие экономики. Увеличение продуктивности зерновых культур достигается различными способами, к числу которых можно отнести использование высокоурожайных сортов, освоение новых технологий возделывания и техники, использование удобрений и различных методов защиты растений [1, 2].

Одни из наиболее опасных видов вредителей зерновых культур – хлебная жужелица и пшеничная муха. Наибольший вред растениям пшеницы наносят личинки

хлебной жужелицы, которые уничтожают листья всходов. Личинки пшеничной мухи, проникая в растение, делают ходы в виде спирали. Питаются они в зоне конуса нарастания, уничтожая его. Характерный тип повреждения – усыхание центрального листа.

Труднодоступность этих видов вредителей для средств борьбы с ними, а порой невозможность использования препаратов традиционным способом опрыскивания обусловила появление альтернативных приемов использования препаратов, например, обработки семян [3].

Обработка семян позволяет снизить отрицательное влияние вредных организмов [4, 5]. Ее можно про-

дять в периоды меньшей загрузки другими видами работ, например, заблаговременно перед посевом. По сравнению с опрыскиванием посевов обработка семян более экологичный способ применения, так как отпадает необходимость обрабатывать большие площади сельскохозяйственных культур. Кроме того, применение такого способа обеспечивает защиту растений пшеницы на самых ранних, а, следовательно, и наиболее уязвимых этапах онтогенеза.

В последнее десятилетие появились комбинированные препараты с действующими веществами (д.в.), обладающими не только инсектицидными, но и фунгицидными свойствами [6, 7, 8]. Увеличение их доли в общем объеме химических средств защиты растений [9] свидетельствует о необходимости изучения биологической эффективности препаратов этой группы [10, 11].

Цель исследований – определение биологической эффективности инсектофунгицидов, применяемых способом обработки семян, для борьбы с хлебной жужелицей (*Zabrus tenebrioides* Goeze) и пшеничной мухой (*Phorbia fumigata* Meigen), на озимой пшенице.

Методика. Работу выполняли в 2014–2020 гг. в Сальском районе Ростовской области на полях ООО «Успех Агро». Для изучения конкретных инсектофунгицидов закладывали и проводили полевые опыты, предусматривающие использование следующих препаратов:

Кинг Комби, КС (100 г/л ацетамиприда + 34 г/л флудиоксанила + 8,3 г/л ципроконазола) в нормах 1,2 и 1,5 л/т, эталон Моспилан, РП (200 г/кг) в норме 0,7 кг/га;

Квартет, КС (150 г/л ацетамиприда + 100 г/л прохлораза + 39 г/л протиоконазола + 39 г/л азоксистробина) в нормах 1,0 л/т и 1,5 л/т, эталон Сценик Комби, КС (250+37,5+37,5+5 г/л) в норме 1,5 л/т;

Хет-трик, СК (333 г/л имидаклоприда + 67 г/л дифеноконазола + 17 г/л тебуконазола) в нормах 1,0 л/т и 1,5 л/т, эталон Туарег, СМЭ (280+34+20 г/л) в норме 1,4 л/т;

Бомбарда, КС (130 г/л тиаметоксама + 90 г/л имидаклоприда + 60 г/л фипронила) в нормах 0,8 л/т, 1,0 л/т и 1,2 л/т, эталон Табу Нео, СК (400+100 г/л) в норме 1,0 л/т.

В качестве эталонов использовали препараты, которые уже разрешены к использованию на территории Российской Федерации. В качестве контроля во всех опытах выступали варианты без применения пестицидов.

Исследования проводили на пшенице озимой сортов Гром (2014 и 2015 гг., 2019 и 2020 гг.), Станичная (2016 г.) и Юка (2017 и 2018 гг.). Площадь опытных делянок – 50 м², размещение вариантов – рандомизированное методом блоков, повторность – 4-кратная.

Обработку семян осуществляли однократно с использованием «Неге 14». Расход воды из расчета 10 л на 1 т семян. Почва опытного участка – темно-каштановая, тяжелосуглинистая с содержанием в пахотном (0...20 см) слое гумуса 3,1 %, рН водной вытяжки – 6,9.

Все исследования выполняли в соответствии с методиками для регистрационных испытаний [12, 13]. Учет хлебной жужелицы проводили осенью в фазе всходов и весной в фазе кушения, пшеничной мухи – в осенний период. Биологическую эффективность препарата определяли по снижению численности пшеничной мухи, хлебной жужелицы и поврежденности растений (хлебной жужелицей) относительно величин аналогичных показателей в контрольном варианте, по формуле Аббота. Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа с использованием программы Statistika 6.0 для Windows.

Механизм действия веществ, входящих в состав изучаемых препаратов заключался в следующем. Фипронил (класс – фенилпиразолы) блокирует гамма-аминомасляную кислоту (ГАМК), которая регулирует прохождение нервного импульса у насекомых. Ацетамиприд (класс – неоникотиноиды) взаимодействует с никотинацетилхолиновыми рецепторами постсинаптических мембран нервных клеток, вследствие чего нарушает нормальную передачу нервных импульсов. Имидаклоприд (класс – неоникотиноиды) связывается с постсинаптическими никотиновыми ацетилхолиновыми рецепторами нервной системы насекомых, из-за чего у них развиваются параличи, затем наступает гибель [14]. Тиаметоксам (класс – неоникотиноиды) воздействует на никотиново-ацетил-холиновые рецепторы нервной системы вредителя и препятствует прохождению нервного импульса [15]. Флудиоксанил (класс – фенилпироллы) воздействует на процессы в клетках возбудителя болезни на этапе мембранного переноса. Ципроконазол (класс – триазолы) ингибитор синтеза стероидов, отличается большим спектром действия, по сравнению с другими ингибиторами. Тебуконазол (класс – триазолы) ингибитор синтеза эргостерина. Образующиеся в процессе неправильного синтеза стероиды, также воздействуют на метаболизм. Это отличительная черта тебуконазола от других представителей триазолов. Протиоконазол (класс – триазолы) выступает ингибитором процесса деметилирования синтеза стероидов и тем самым нарушает проницаемость мембран клеток. Прохлораз (класс – имидазолы) ингибирует биосинтез стерина, подавляет деметилирование. Дифеноконазол (класс – имидазолы) ингибитор роста субкутикулярного мицелия, что снижает уровень спороношения. Азоксистробин (класс – стробилурины) ингибитор митохондриального дыхания, также блокирует транспорт электронов [16].

Результаты и обсуждение. Развитие пшеницы озимой в осенний период 2014 г. проходило в условиях низкой влажности почвы. Недостаток осадков отмечали с третьей декады октября по вторую декаду ноября. В Сальском районе Ростовской области вегетация культуры длится в течение осени, а иногда даже первого месяца зимы. Соответственно период вредоносности хлебной жужелицы также был продолжительным. Растянулся и период откладки яиц, она возобновилась в конце сентября – середине октября. В вариантах с инсектофунгицидом Кинг Комби, КС (100+34+8,3 г/л) средняя численность вредителя была достоверно ниже, чем в контроле. Биологическая эффективность исследуемого препарата (по уменьшению численности вредителей) в норме 1,2 л/т составила 68,4 %, 1,5 л/т – 73,7 % (табл. 1), снижение поврежденности растений – соответственно 73,2 % и 76,8 % (табл. 2). При учёте весной 2015 г. на фоне пониженной температуры воздуха эта тенденция сохранилась. Биологическая эффективность по снижению численности вредителя составила 71,9 % и 78,1 %, по снижению поврежденности растений – 79,6 % и 83,7 %.

В осенний период 2015 г. отмечали повышенную температуру воздуха и недостаток влаги с сентября до второй декады октября. Период откладки яиц и появления личинок был растянут во времени. Ввиду небольшого количества осадков в первой декаде октября и низкой влажности почвы значительная часть яиц погибала. Откладка яиц возобновилась в третьей декаде октября после выпадения осадков. Вредоносность личинки хлебной жужелицы проявлялась достаточно долго, в течение всего осеннего периода вегетации. В вариантах с обработанными семенами средняя числен-

Табл. 1. Биологическая эффективность инсектоfungицидов в борьбе с хлебной жужелицей на пшенице озимой (по снижению численности личинок)

Вариант	Норма, (л, кг)/т	Год	Среднее число личинок, шт./м ²		Снижение численности относительно контроля, %		
			осенью	весной	осенью	весной	
Кинг Комби, КС (100+34+8,3 г/л)	1,2	2014–2015	3,0	2,3	68,4	71,9	
		2015–2016	2,5	1,5	54,6	65,1	
	1,5	2014–2015	2,5	1,8	73,7	78,1	
		2015–2016	2,0	1,3	63,6	70,9	
Моспилян, РП (200 г/кг)*	0,7	2014–2015	2,8	2,0	71,1	75,0	
		2015–2016	2,0	1,5	63,6	65,1	
Контроль	–	2014–2015	9,5	8,0	–	–	
		2015–2016	5,5	4,3	–	–	
НСР _{0,5}	–	2014–2015	2,8	2,6	–	–	
		2015–2016	1,4	1,5	–	–	
			–	–	–	–	
Квартет, КС (150+100+39+39 г/л)	1,0	2016–2017	4,0	2,3	64,4	72,7	
		2017–2018	1,8	1,0	50,0	55,6	
	1,5	2016–2017	3,5	2,0	68,9	75,8	
		2017–2018	1,0	0,5	71,4	77,8	
Сценик Комби, КС (250+37,5+37,5+5 г/л)*	1,5	2016–2017	2,5	1,3	77,8	84,8	
		2017–2018	0,8	0,3	78,6	88,9	
		–	–	–	–		
Контроль	–	2016–2017	11,3	8,3	–	–	
		2017–2018	3,5	2,3	–	–	
НСР _{0,5}	–	2016–2017	2,4	1,8	–	–	
		2017–2018	1,9	1,3	–	–	
			–	–	–	–	
Хет–трик, СК (333+67+17 г/л)	1,0	2017–2018	1,3	0,5	64,3	77,8	
		2018–2019	1,8	0,5	58,8	81,8	
	1,5	2017–2018	0,8	0,3	78,6	88,9	
		2018–2019	1,0	0,3	76,5	90,0	
Туарег, СМЭ (280+34+20 г/л)*	1,4	2017–2018	1,0	0,5	71,4	77,8	
		2018–2019	1,5	0,5	64,7	81,8	
	Контроль	–	2017–2018	3,5	2,3	–	–
			2018–2019	2,0	1,5	–	–
НСР _{0,5}	–	2017–2018	2,0	1,4	–	–	
		2018–2019	2,0	1,5	–	–	
			–	–	–	–	
Бомбарда, КС (130+90+60 г/л)	0,8	2018–2019	1,3	0,5	67,1	82,2	
		2019–2020	1,5	0,3	80,0	90,0	
	1,0	2018–2019	1,0	0,5	73,7	82,2	
		2019–2020	1,3	0	83,3	100	
	1,2	2018–2019	0,8	0,3	80,3	91,1	
		2019–2020	1,0	0	86,7	100	
Табу Нео, СК (400+100 г/л)*	1,0	2018–2019	0,5	0,3	86,9	91,1	
		2019–2020	0,5	0	93,3	100	
	Контроль	–	2018–2019	3,8	2,8	–	–
			2019–2020	7,5	2,5	–	–
НСР _{0,5}	–	2018–2019	1,3	1,0	–	–	
		2019–2020	1,2	0,5	–	–	

*эталон

ность вредителя была достоверно ниже, чем в контроле. Биологическая эффективность инсектоfungицида Кинг Комби, КС по снижению численности вредителя в норме 1,2 л/т составила 54,6 %, 1,5 л/т – 63,6 %, по снижению поврежденности растений – 70,4 % и 74,1 %. При весеннем учёте 2016 г. в условиях повышенной температуры воздуха и недостатка осадков отмечена аналогичная ситуация – численность вредителя в вариантах опыта с препаратом была достоверно ниже, чем в контроле. Биологическая эффективность препарата была равна соответственно 65,1 % и 70,9 %; 75,7 % и 80,1 %.

Метеоусловия осени 2016 г. складывались благоприятно. Средняя температура воздуха во второй и третьей

декадах сентября была близка к средней многолетней, а сумма осадков превышала норму. Ввиду достаточной влажности почвы период откладки яиц хлебной жужелицей длился с середины августа до конца сентября. В вариантах с инсектоfungицидом Квартет, КС средняя численность вредителя была значительно ниже, чем в контроле. Снижение численности личинок в варианте с испытуемым препаратом в норме 1,0 л/т составило 64,4 %. При норме 1,5 л/т его действие находилось на уровне эталонного варианта и составило – 68,9 %. Снижение поврежденности растений достигало соответственно нормам 70,4 % и 74,1 %. При весеннем учёте 2017 г. в условиях близкого к среднемулетним

Табл. 2. Биологическая эффективность инсектоfungицидов в борьбе с хлебной жужелицей на пшенице озимой (по снижению поврежденности растений)

Вариант	Норма, (л, кг)/т	Год	Среднее число поврежденных растений (главных стеблей), шт./м ²		Снижение поврежденности растений, относительно контроля, %	
			осенью (растений)	весной (главных стеблей)	осенью (растений)	весной (главных стеблей)
Кинг Комби, КС (100 + 34 + 8,3 г/л)	1,2	2014–2015	3,8	2,5	73,2	79,6
		2015–2016	4,0	2,8	70,4	75,7
	1,5	2014–2015	3,3	2,0	76,8	83,7
		2015–2016	3,5	2,3	74,1	80,1
Моспилан, РП (200 г/кг)*	0,7	2014–2015	3,5	2,3	75,0	81,7
		2015–2016	3,5	2,5	74,1	80,1
Контроль	–	2014–2015	14,0	12,3	–	–
		2015–2016	13,5	11,3	–	–
НСР _{0,5}	–	2014–2015	3,4	3,3	–	–
		2015–2016	2,6	2,3	–	–
Квартет, КС (150+100+39+39 г/л)	1,0	2016–2017	6,0	3,8	70,4	76,9
		2017–2018	5,8	3,5	57,4	68,2
	1,5	2016–2017	5,3	3,3	74,1	80,0
		2017–2018	2,8	1,3	79,6	88,6
Сценик Комби, КС (250+37,5+37,5+5 г/л)*	1,5	2016–2017	4,0	2,3	80,2	86,2
		2017–2018	2,3	0,8	83,3	93,2
	–	2016–2017	20,3	16,3	–	–
		2017–2018	13,5	11,0	–	–
НСР _{0,5}	–	2016–2017	3,6	3,0	–	–
		2017–2018	3,9	3,7	–	–
Хет–трик, СК (333+67+17 г/л)	1,0	2017–2018	3,8	1,5	72,3	86,4
		2018–2019	6,5	1,3	62,9	85,3
	1,5	2017–2018	1,3	0,3	90,8	97,7
		2018–2019	2,3	0,5	87,1	94,1
Туарег, СМЭ (280+34+20 г/л)*	1,4	2017–2018	2,5	0,8	81,5	93,2
		2018–2019	3,5	0,8	80,0	91,2
	–	2017–2018	13,5	11,0	–	–
		2018–2019	17,5	8,5	–	–
НСР _{0,5}	–	2017–2018	3,8	3,5	–	–
		2018–2019	5,6	4,0	–	–
Бомбарда, КС (130+90+60 г/л)	0,8	2018–2019	3,3	1,0	79,0	89,7
		2019–2020	2,5	0,5	84,8	85,7
	1,0	2018–2019	2,0	0,8	87,1	92,3
		2019–2020	1,8	0	89,4	100
	1,2	2018–2019	1,3	0,3	91,9	97,4
		2019–2020	1,5	0	90,9	100
Табу Нео, СК (400+100 г/л)*	1,0	2018–2019	0,8	0,3	95,2	97,4
		2019–2020	0,8	0	95,5	100
	–	2018–2019	15,5	9,8	–	–
		2019–2020	16,5	3,5	–	–
НСР _{0,5}	–	2018–2019	3,2	1,7	–	–
		2019–2020	2,9	1,1	–	–

*эталон.

значениям количества осадков тенденция снижения численности личинок вредителя по вариантам опыта сохранилась. Биологическая эффективность инсектоfungицида по снижению численности вредителя составила 72,7 % и 75,8 %, по снижению поврежденности растений – 76,9 % и 80,0 %.

Развитие пшеницы озимой в осенний период 2017 г. проходило при благоприятных условиях, что способствовало равномерному появлению всходов. Во второй и третьей декадах сентября осадки отсутствовали, а температура была повышенной, по сравнению со средними

многолетними значениями, отмечена низкая влажность почвы, однако всходы находились в удовлетворительном состоянии. Период откладки вредителем яиц был растянут, длился с середины августа до конца сентября–начала октября. Ввиду низкой влажности почвы значительная часть яиц засыхала. В вариантах с инсектоfungицидом Квартет, КС в обеих нормах средняя численность вредителя была значительно ниже, чем в контроле. В варианте с нормой 1,0 л/т снижение численности личинок составило 50,0 %, при 1,5 л/т действие препарата было близко к уровню эталонного варианта – 71,4 %. Снижение по-

врежденности растений составляло 57,4 % (1,0 л/т) и 79,6 % (1,5 л/т). В вариантах с инсектоfungицидом Хет-трик, СК (333+67+17 г/л) в нормах применения 1,0 и 1,5 л/т средняя численность вредителя также была достоверно ниже, чем в контроле, ее уменьшение составило соответственно 64,3 % и 78,6 %, снижение поврежденности растений – 72,3% и 90,8 %. При весеннем учете 2018 г. в условиях повышенной температуры воздуха и недостатка влаги тенденция снижения численности личинок вредителя по вариантам опыта сохранялась. Биологическая эффективность препарата Квартет, КС по снижению численности вредителя в норме 1,0 л/т составила 55,6 %, 1,5 л/т – 77,8 %, по поврежденности растений – 68,2 % и 88,6 %. Снижение численности личинок в вариантах с инсектоfungицидом Хет-трик, СК составило 77,8 % (1,0 л/т) и 88,9 % (1,5 л/т), поврежденности растений – 86,4 % (1,0 л/т) и 97,7 % (1,2 л/т).

Осенью 2018 г. развитие пшеницы озимой проходило в удовлетворительных условиях, появление всходов наблюдали в первой декаде октября. В сентябре отмечен дефицит осадков, влажность почвы была ниже средних многолетних значений, всходы пшеницы находились в удовлетворительном состоянии. Период откладки хлебной жужелицы яиц был растянут из-за засушливой осени и длился с середины августа до конца сентября – начала октября. Ввиду низкой влажности почвы значительная часть яиц засыхала уже на 10...15 день. В вариантах с инсектоfungицидом Хет-трик, СК в нормах применения 1,0 л/т и 1,5 л/т средняя численность вредителя была достоверно ниже, чем в контроле. Ее уменьшение составило соответственно 58,8 % и 76,5 %, снижение поврежденности растений – 62,9 % и 87,1 %. При использовании инсектоfungицида Бомбарда, КС в изучаемых нормах средняя численность хлебной жужелицы была достоверно ниже, чем в контроле. При норме 0,8 л/т ее уменьшение составило 67,1 %, 1,0 л/т – 73,7 %, 1,2 л/т – 80,3 %, снижение поврежденности растений – соответственно 79,0 %, 87,1 % и 91,9 %. При весеннем учете 2019 г. на фоне недостатка влаги снижение численности вредителя в вариантах с инсектоfungицидом Хет-трик составило 81,8 % (1,0 л/т) и 90,0 % (1,5 л/т), Бомбарда, КС – 82,2 % (0,8 л/т и 1,0 л/т), 91,1% (1,2 л/т) соответственно. Уменьшение поврежденности растений при использовании препарата Хет-трик достигало 85,3 % (1,0 л/т) и 94,1 % (1,5 л/т), Бомбарда, КС – 89,7 % (0,8 л/т), 92,3 % (1,0 л/т), 97,4 % (1,2 л/т).

Развитие пшеницы озимой осенью 2019 г. проходило в условиях повышенной температуры и недостатка влаги. Всходы появились в первой декаде декабря. Применение инсектоfungицида Бомбарда, КС достоверно снижало среднюю численность вредителя, по сравнению с контролем. В варианте с его использованием в норме 0,8 л/т уменьшение составило 80,0 %, 1,0 л/т – 83,3 %, 1,2 л/т – 86,7 %, а поврежденность растений снижалась соответственно на 84,8 %, 89,4 % и 90,9 %. Весной 2020 г. в условиях недостатка влаги и повышенной температуры воздуха достоверное уменьшение численности вредителя в вариантах опыта с инсектицидом, по сравнению с контролем составило 90,0 % (0,8 л/т), 100 % (1,0 л/т и 1,2 л/т), поврежденности растений – 85,7 % (0,8 л/т), 100 % (1,0 л/т и 1,2 л/т).

Следует отметить, что биологическая эффективность исследуемых препаратов по численности хлебной жужелицы находилась на уровне эффективности по поврежденности растений вредителями осенью и главных стеблей весной.

Биологическая эффективность исследуемых инсектоfungицидов в отношении хлебной жужелицы

находилась на уровне эталонных препаратов. При повышении нормы применения препаратов она несколько возрастала, но достоверной разницы между вариантами с разными дозами выявить не удалось.

Вылет пшеничной мухи в Ростовской области в 2014 г. происходил в конце сентября при достижении среднесуточной температуры воздуха 14 °С и прогреве поверхностного слоя почвы до 16 °С. Вторая и третья декада сентября характеризовались пониженной температурой воздуха. Массовый лет пшеничной мухи на опытном участке отмечали во второй декаде октября. В среднем ее численность составила 12 имаго на 1 ловушку за 1 сутки при экономическом пороге вредоносности (ЭПВ) 6...8 имаго. Основной вред пшеничная муха причиняла осенью и была более опасна в условиях недостаточного увлажнения. На 3 сутки после появления всходов на контрольных делянках появились растения, поврежденные личинками вредителя. В первый учет средняя их численность в вариантах с обработанными семенами была заметно меньше, чем в контроле. В дальнейшем она снижалась еще больше. Биологическая эффективность препарата Кинг Комби, КС в норме 1,2 л/т составила 56,7...70,8 %, 1,5 л/т – 61,5...79,2 % (табл. 3).

В 2015 г. вылет пшеничной мухи отмечали в третьей декаде сентября на фоне повышенной температуры воздуха и отсутствия осадков. Массовый лет на опытном участке наблюдали в первой декаде октября. Их численность составила в среднем 14 имаго на 1 ловушку за 1 сутки. В течение периода учётов она снижалась на фоне некоторого колебания численности в контрольном варианте. Биологическая эффективность препарата Кинг Комби, КС в норме 1,2 л/т составила 51,7...66,1 %, 1,5 л/т – 56,7...74,6 %.

Вылет пшеничной мухи в 2017 г. отмечали в третьей декаде августа, при достижении температуры воздуха 23 °С и прогреве поверхностного слоя почвы до 26 °С на фоне выпавших осадков. В целом начиная с третьей декады сентября и до второй декады октября отмечено повышенное количество осадков при температуре воздуха близкой к средней многолетней. Массовый лет пшеничной мухи наблюдали в конце первой – начале второй декады сентября. Численность мухи составила в среднем 16 имаго на 1 ловушку за 1 сутки. В вариантах с инсектоfungицидом Хет-трик, СК средняя численность пшеничной мухи была ниже, чем в контроле. Биологическая эффективность препарата в норме 1,0 л/т составила 79,2...85,1 %, 1,5 л/т – 88,3...95,7 %.

В 2018 г. вылет пшеничной мухи наблюдали во второй декаде сентября, при достижении температуры воздуха 20 °С и прогреве поверхностного слоя почвы до 22 °С на фоне выпавших осадков. В целом начиная со второй декады октября и до первой декады ноября отмечена повышенная температура воздуха при крайне неравномерном распределении осадков, основная часть которых выпала в третьей декаде октября. Массовый лет пшеничной мухи зафиксирован в третьей декаде сентября – первой декаде октября. Численность вредителя составила в среднем 10 имаго на 1 ловушку за 1 сутки. Достоверное снижение численности мухи при первом сроке учета в вариантах с инсектоfungицидом Хет-трик, СК в норме 1 л/т составило 63,2 %, 1,5 л/т – 75,9 %, что находилось на уровне эффективности эталона. В первый учет в вариантах опыта с инсектицидом Бомбарда, КС (130+90+60 г/л) средняя численность пшеничной мухи была достоверно ниже, чем в контроле. В дальнейшем тенденция снижения числа личинок вредителя в вариантах опыта, в том числе в контроле, сохранялась. Биологическая эффективность

Табл. 3. Биологическая эффективность инсектофунгицидов в борьбе с пшеничной мухой (*Phorbia fumigata* Meigen) на пшенице озимой

Вариант	Норма (л, кг)/т	Год	Среднее число личинок на погонный метр ряда после появления всходов по суткам учётов, шт.			Снижение численности, относительно контроля, после появления всходов по суткам учётов, %		
			1 учет	2 учет	3 учет	1 учет	2 учет	3 учет
Кинг Комби, КС (100 + 34 + 8,3 г/л)	1,2	2014	3,4	2,6	1,8	56,7	62,0	70,8
		2015	3,6	2,9	2,0	51,7	56,4	66,1
	1,5	2014	3,0	2,1	1,3	61,5	69,2	79,2
		2015	3,3	2,5	1,5	56,7	62,1	74,6
Моспилан, РП (200 г/кг)*	0,7	2014	3,1	2,4	1,4	59,9	65,6	77,1
		2015	3,4	2,5	1,6	55,0	62,1	72,5
Контроль	–	2014	7,8	6,9	6,0	–	–	–
		2015	7,5	6,6	5,9	–	–	–
НСР _{0,5}	–	2014	4,3	4,0	3,6	–	–	–
		2015	1,4	1,2	1,4	–	–	–
Хет-трик, СК (333+67+17 г/л)	1,0	2017	2,0	1,4	0,9	79,2	82,5	85,1
		2018	4,0	3,4	2,9	63,2	59,1	57,4
	1,5	2017	1,1	0,6	0,3	88,3	92,1	95,7
		2018	2,6	2,6	2,4	75,9	68,2	64,8
Туарег, СМЭ (280+34+20 г/л)*	1,4	2017	1,9	1,3	0,5	80,5	84,1	91,5
		2018	3,4	3,0	2,6	69,0	63,6	61,1
	Контроль	2017	9,6	7,9	5,9	–	–	–
		2018	10,9	8,3	6,8	–	–	–
НСР _{0,5}	–	2017	2,4	2,3	1,9	–	–	–
		2018	1,9	8,3	1,6	–	–	–
Бомбарда, КС (130+90+60 г/л)	0,8	2018	3,5	3,8	3,0	66,7	50,8	47,8
		2019	2,6	3,1	3,6	77,7	70,2	61,8
	1,0	2018	3,1	3,0	2,5	70,2	60,7	56,5
		2019	2,3	2,5	2,6	80,9	76,2	72,4
	1,2	2018	2,8	2,8	2,4	73,8	63,9	58,7
		2019	1,5	1,9	2,4	87,2	82,1	75,0
Табу Нео, СК (400+100 г/л)*	1,0	2018	2,4	2,3	2,3	77,4	70,5	60,9
		2019	1,4	1,9	2,3	88,3	82,1	76,3
	Контроль	2018	10,5	7,6	5,8	–	–	–
		2019	11,8	10,5	9,5	–	–	–
НСР _{0,5}	–	2018	2,4	2,7	2,5	–	–	–
		2019	1,3	1,2	1,5	–	–	–

*эталон.

препарата в норме 0,8 л/т составила 47,8...66,7 %, 1,0 л/т – 56,5...70,2 %, 1,2 л/т – 58,7...73,8 %.

Вылет пшеничной мухи в 2019 г. отмечали в третьей декаде сентября, при достижении температуры воздуха 12 °С и прогреве поверхностного слоя почвы до 14 °С на фоне выпавших осадков. Массовый лет наблюдали в третьей декаде сентября – первой декаде октября. Численность мухи составила в среднем 15 имаго на 1 ловушку за 1 сутки. В целом в 2019 г. отмечена та же тенденция, что и годом ранее – численность пшеничной мухи в вариантах с препаратом Бомбарда, КС была достоверно ниже, чем в контроле. Биологическая эффективность препарата в норме 0,8 л/т составила 61,8...77,7 %, 1,0 л/т – 72,4...80,9 %, 1,2 л/т – 75,0...87,2 %.

Биологическая эффективность изучаемых инсектофунгицидов в отношении пшеничной мухи соответствовала уровню эталонов. При повышении нормы применения препаратов она возрастала, но статистически значимых различий не наблюдали.

Таким образом, несмотря на разнообразие погодных условий в период проведения исследований обработка семян до посева инсектофунгицидами Кинг Комби, КС, Квартет, КС, Хет-трик, СК, Бомбарда, КС, обеспечила

достаточно высокую эффективность при снижении как численности пшеничной мухи и хлебной жужелицы, так и поврежденности растений последней.

Биологическая эффективность исследуемых инсектофунгицидов находилась на уровне эталонных препаратов. При повышении нормы применения препаратов эффективность их возрастала, но достоверной разницы между изучавшимися нормами не выявлено. Все варианты с инсектофунгицидами существенно отличались только от контроля.

Исследованные препараты можно рекомендовать для использования при защите пшеницы озимой от хлебной жужелицы и пшеничной мухи при условии их наличия в Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации в соответствии с указанными регламентами.

Литература

1. Новая инсектофунгицидная комбинация Дивидент Суприм для защиты пшеницы / Л. Д. Гришечкина, Л. А. Буркова, В. И. Долженко и др. // Земледелие. 2016. № 1. С. 41–44.

2. Силаев А.И., Гришечкина Л.Д., Чурикова В.Г. Эффективность применения инсектофунгицида Престиж для защиты зерновых культур от вредителей и болезней // *Аграрный научный журнал*. 2019. № 7. С. 34–39.
3. Заргарян Н. Ю., Кекало А. Ю., Немченко В. В. Комплексное применение препаратов инсектицидного и фунгицидного действия на зерновых культурах // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 4 (44). С. 98–101.
4. Вeneвцев В. З. Комплексное действие протравливания озимых зерновых культур // *Защита и карантин растений*. 2014. № 9. С. 21–22.
5. Смур В. В., Шпанев А. М. Эффективность предпосадочной обработки клубней картофеля на фоне высоких показателей присутствия вредных организмов // *Аграрный научный журнал*. 2021. № 6. С. 34–38.
6. Khilevsky V. A., Shorokhov M. N., Dolzhenko V. I. Effective preparations of protection of winter wheat against main pests in conditions of the precaucasian steppe zone // *Russian agricultural sciences*. 2016. Vol. 42. No. 5. P. 332–338.
7. Новые протравители для защиты картофеля / Г. Л. Белов, В. Н. Зейрук, В. А. Барков и др. // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 12. С. 4–7.
8. Эффективность протравителей инсектофунгицидов в подавлении ризоктониоза картофеля в Новосибирской области / Ю. В. Пилипова, Е. М. Шалдяева, О. В. Решетникова и др. // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2021. № 4 (61). С. 53–61.
9. Норов А. М. Научно-исследовательскому институту по удобрениям и инсектофунгицидам им. профессора Я. В. Самойлова – 100 лет // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2019. Т. 62. № 9. С. 124–129.
10. Малюга А. А., Чуликова Н. С., Енина Н. Н. Особенности формирования фитосанитарной ситуации и эффективность средств защиты растений против колорадского жука и ризоктониоза в посадках цветных сортов картофеля // *Агрохимия*. 2020. № 5. С. 62–71.
11. Производство экологически безопасной продукции при современных приемах защиты картофеля / А. В. Бутов, В. Г. Ширококов, А. В. Дедов и др. // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2020. Т. 13. № 4 (67). С. 228–237.
12. Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве / отв. ред. В. И. Долженко. СПб.: ВНИИЗР, 2009. 320 с.;
13. Методические указания по регистрационным испытаниям пестицидов в части биологической эффективности. Общая часть / В. И. Долженко, А. Б. Лаптев, Л. А. Буркова и др. М.: МСХ РФ, 2018 г. 56 с.
14. Ассортимент химических средств защиты растений нового поколения (инсектициды, акарициды, моллюскоциды, родентициды) / В. И. Долженко, Г. И. Сухорученко, Л. А. Буркова и др. СПб.: ВНИИЗР, 2009. 82 с.
15. Еремينا О. Ю., Лопатина Ю. В. Перспективы применения неоникотиноидов в сельском хозяйстве России и сопредельных стран // *Агрохимия*. 2005. № 6. С. 87–93.
16. Захарычев В. В. Грибы и фунгициды. СПб.: Лань, 2019. 272 с.

Поступила в редакцию 15.04.2022

После доработки 25.08.2022

Принята к публикации 14.09.2022

СОДЕРЖАНИЕ АЗОТА В ПОЧВЕ И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗНЫХ ПРИЕМАХ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ БИОЛОГИЗАЦИИ

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

Исследование проводили с целью изучения влияния приемов основной обработки почвы с использованием средств биологизации и минеральных удобрений на содержание минерального азота в черноземе типичном и урожайность озимой пшеницы. Работу выполняли в 2019–2021 гг. в Чеченской Республике на черноземе типичном среднесиловом с содержанием в пахотном слое гумуса (по Тюрину) 3,6 %, подвижного фосфора и калия (по Мачигину) – 15 и 300 мг/кг соответственно, с нейтральной реакцией среды ($pH_{KCl} = 7,1$). Озимую пшеницу (сорт Безостая 100) размещали в зернопаровом севообороте: озимая пшеница – горох зимующий – овес яровой – кукуруза на зерно. Схема опыта 1 предусматривала изучение следующих вариантов: сидерат (фактор А) – без сидерата, сидерат; прием основной обработки почвы (фактор В) – вспашка на глубину 25...30 см, дискование на 10...15 см, чизелевание на 30...40 см. Схема опыта 2: прием основной обработки почвы (фактор А) – вспашка на 25...30 см, дискование на 10...15 см, чизелевание на 30...40 см; удобрения и биопрепарат (фактор В) – без удобрений, $N_{100}P_{60}K_{60}$ биопрепарат V417, $N_{100}P_{60}K_{60}$ + биопрепарат V417. Наибольшая в опыте урожайность озимой пшеницы в 2020 и 2021 гг. отмечена на фоне дискования и применения препарата V417 – 5,43 и 5,27 т/га, что на 2,22 и 1,78 т/га (69 и 51 %) выше, чем в варианте без удобрений. Содержание нитратного азота в пахотном слое почвы в этом варианте также было самым высоким в опыте и превышало вариант без удобрений в начале вегетации соответственно по годам на 16 и 2 мг/кг, в конце вегетации – на 21 и 11 мг/кг.

NITROGEN CONTENT IN SOIL AND YIELD OF WINTER WHEAT UNDER DIFFERENT BASIC TILLAGE METHODS OF CHERNOZEM TYPICAL WITH USEMEANS OF BIOLOGIZATION

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

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

The purpose of the research is to study the effect of basic tillage techniques using biologization and mineral fertilizers on the content of mineral nitrogen in typical chernozem and the yield of winter wheat. The work was carried out in 2020-2021 in the Chechen Republic on typical medium-sized chernozem with a content of 3.6% humus in the arable layer (according to Tyurin), mobile phosphorus and potassium (according to Machigin) - 15 and 300 mg/kg, respectively, with a neutral reaction of the medium ($pH_{KCl} = 7.1$). Winter wheat (the Bezostaya 100 variety) was placed in a grain-tillage crop rotation winter wheat – wintering peas – spring oats - corn for grain. The scheme of experiment 1 provided for the study of the following options: soderate (factor A) – without soderate, soderate; reception of basic tillage (factor B) – plowing to a depth of 25... 30 cm, disking by 10... 15 cm, chiseling by 30... 40 cm. The scheme of experiment 2 included the following options: acceptance of basic tillage (factor A) – plowing by 25... 30 cm, disking by 10... 15 cm, chiseling by 30... 40 cm; fertilizers and biological preparation (factor B) – diamophoska, ammonium nitrate, biological preparation V417. In 2021, an average yield of 4.56 t/ha was obtained by disking, while the content of nitrate nitrogen in the arable soil layer at the beginning and end of the growing season was 7 and 17 mg/kg, respectively. The increase in yield relative to the variant without fertilizers was 1.07 t/ha, and the excess of nitrate nitrogen at the beginning and end of the growing season was 2 and 4 mg/kg, respectively. In 2020 the highest yield of winter wheat of 5.43 t/ha was also obtained by disking in the variant using the biological preparation V417 and an increased (16...30 mg/kg) level of nitrate nitrogen in the arable soil layer – 20 and 28 mg/kg at the beginning and end of the growing season, respectively.

Ключевые слова: содержание азота нитратного, биопрепарат, сидерат, урожайность озимой пшеницы.

Key words: nitrate nitrogen content, biological product, green manure, yield of winter wheat.

Важное место в современных технологиях отводится питанию растений, регулирование которого осуществляется с использованием удобрений и биопрепаратов. Инокуляция семян биопрепаратами обеспечивает повышение продуктивности севооборота [1, 2]. Основным критерием использования земель была и остается продовольственная безопасность государства, а одним из инструментов ее достижения служит применение органических и минеральных удобрений в необходимых соотношениях и количествах [3].

Развитие агропромышленного комплекса России и обеспечение ее продовольственной независимости в значительной степени определяет состояние зер-

нового хозяйства, в первую очередь производство пшеницы. Среди факторов, необходимых для увеличения урожаев любой культуры, приоритетное место занимают плодородие почвы, севооборот, питание и защита растений.

Размеры урожаев сельскохозяйственных культур, наряду с другими лимитирующими факторами, в значительной степени определяет обеспеченность растений азотом. В Российской Федерации в последние годы использование азотных и других минеральных и органических удобрений не обеспечивает оптимального баланса азота. Сельскохозяйственные растения получают 2/3 необходимого им азота из азотного резерва

Табл. 1. Агрофизические показатели пахотного слоя почвы в зависимости от приема обработки и сидерата

Сидерат (фактор А)	Прием обработки почвы (фактор В)	Плотность, г/см ³		Доля агрономически ценных агрегатов, %		Водопрочность структурных агрегатов, %		Влажность почвы, % от ППВ	
		1*	2*	1	2	1	2	1	2
2020 г.									
Без сидерата	вспашка	1,18	1,07	52,4	36,8	53,7	60,7	56,2	33,0
	дискование	1,30	1,33	54,8	56,2	58,3	66,3	51,1	36,7
	чизелевание	1,36	1,24	46,0	34,1	50,5	62,7	56,3	34,9
	среднее	1,28	1,21	51,1	42,4	54,2	63,9	54,5	34,9
Сидерат	вспашка	1,24	0,91	51,0	68,2	74,4	69,9	64,2	25,6
	дискование	1,10	1,11	63,6	58,8	71,1	76,1	67,9	41,1
	чизелевание	1,30	1,29	49,2	64,0	68,2	70,9	64,0	39,0
	среднее	1,21	1,10	54,6	63,7	71,2	72,3	65,4	35,2
Среднее	вспашка	1,21	0,99	51,7	52,5	64,0	65,3	60,2	29,3
	дискование	1,20	1,22	59,2	57,5	64,7	71,7	59,5	38,9
	чизелевание	1,33	1,26	47,6	49,0	59,4	66,8	60,1	36,9
	среднее	1,25	1,17	52,8	53,0	62,7	67,9	59,9	35,0
НСР ₀₅ для частных различий		0,05	0,05	2,4	2,6	3,1	3,4	3,0	1,7
НСР ₀₅ для факторов А, В		0,03	0,03	1,7	2,1	1,1	2,2	1,3	1,3
НСР ₀₅ для взаимодействия АВ		0,02	0,02	1,2	1,3	0,1	1,4	0,8	0,8
2021 г.									
Без сидерата	вспашка	1,25	1,11	57,5	57,9	61,4	60,1	60,8	34,7
	дискование	1,19	1,24	59,2	60,9	66,0	65,4	62,3	38,8
	чизелевание	1,28	1,27	57,7	58,6	66,7	61,4	61,7	35,3
	среднее	1,25	1,21	58,1	59,1	64,7	62,3	61,6	36,3
Сидерат	вспашка	1,27	1,24	60,2	66,4	67,9	72,6	65,5	42,8
	дискование	1,13	1,15	59,6	69,7	76,1	78,7	64,3	53,4
	чизелевание	1,20	1,18	61,6	67,2	72,6	75,4	66,3	43,0
	среднее	1,20	1,19	60,5	67,8	73,2	75,6	65,4	46,4
Среднее	вспашка	1,26	1,18	58,9	62,1	64,6	66,4	63,1	38,8
	дискование	1,16	1,20	59,4	65,3	71,0	72,3	63,3	46,1
	чизелевание	1,24	1,23	59,7	62,9	69,7	68,4	64,0	39,1
	среднее	1,22	1,21	59,3	63,4	68,4	69,0	63,5	41,3
НСР ₀₅ для частных различий		0,07	0,07	3,3	3,5	4,0	3,9	3,6	2,3
НСР ₀₅ для факторов А, В		0,04	0,04	2,1	2,2	2,5	2,5	2,3	1,4
НСР ₀₅ для взаимодействия АВ		0,03	0,03	1,4	1,5	1,7	1,7	1,6	1,0

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

почв, созданного и поддерживаемого деятельностью микроорганизмов-дiazотрофов. Вклад биологической азотфиксации в сельское хозяйство достаточно высок и примерно вдвое превосходит вклад химических азотных удобрений [4, 5, 6].

Наряду с навозом, торфом, другими органическими удобрениями важную роль играют сидераты, обеспечивающие в сочетании с минеральными удобрениями компенсацию выноса питательных веществ из почвы. Научно обоснованное применение биологических средств воспроизводства плодородия почвы выступает одним из путей повышения урожайности и производства экологически безопасной продукции. Использование сидератов повышает активность почвенной микрофлоры, оказывает положительное влияние на агрофизические, биологические и агрохимические показатели плодородия почвы, а при длительном применении выступает источником накопления гумуса. С зеленой массой сидератов в почву поступает 200...250 кг/га азота, что равноценно внесению 6...7 ц/га дорогостоящей аммиачной селитры [7, 8].

Цель исследований – оценка влияния приемов основной обработки почвы в комплексе с использованием средств биологизации и минеральных удобрений

на содержание минерального азота в черноземе типичном и урожайность озимой пшеницы.

Методика. Работу проводили в 2019–2021 гг. на опытном поле Чеченского НИИСХ, расположенном в лесостепной природно-климатической зоне, в условиях засушливого летне-осеннего периода, на богаре.

Схема опыта I предусматривала изучение следующих вариантов:

сидерат (фактор А) – без сидерата, сидерат (с заделкой за три месяца до посева озимой пшеницы);

прием основной обработки почвы (фактор В) – вспашка на глубину 25...30 см плугом ПН-4-35, дискование на 10...15 см дисковой бороной БДМ-3×4, чизелевание на 30...40 см чизелем-глубококорыхлителем D 380 NS.

В опыте 2 изучали следующие варианты:

прием основной обработки почвы (фактор А) – вспашка на 25...30 см плугом ПН-4-35, дискование на 10...15 см дисковой бороной БДМ-3×4, чизелевание на 30...40 см чизелем-глубококорыхлителем D 380 NS;

удобрения и биопрепарат (фактор В) – без удобрений, N₁₀₀P₆₀K₆₀, биопрепарат V417, N₁₀₀P₆₀K₆₀ + биопрепарат V417.

Почва опытного участка – чернозем типичный среднемогучный низкогумусный, подстилаемый га-

лечником. Среднее содержание гумуса (по Тюрину) в пахотном слое составляло 3,6 %, подвижного фосфора и калия (по Мачигину) – 15 и 300 мг/кг соответственно. Реакция почвенной среды (потенциометрическим методом) – нейтральная ($pH_{KCl} = 7,1$).

Озимую пшеницу (сорт Безостая 100) размещали в зернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: озимая пшеница – горох зимующий – овес яровой – кукуруза на зерно. Закладку и проведение полевых опытов осуществляли по общепринятым методикам [9, 10, 11]. Посевная площадь делянок для озимой пшеницы составляла 45 м². Повторность в опыте – 4-кратная. Образцы пахотного (0...25 см) слоя почвы отбирали с каждого варианта опыта в начале и конце вегетационного периода. Содержание в почве нитратного азота (N-NO₃) определяли ионометрическим методом. В качестве сидеральной культуры выращивали рапс яровой с нормой высева 15 кг/га, заделку которого проводили в фазе цветения, за три месяца до посева озимой пшеницы.

Биопрепарат V417 (жидкая форма) создан во ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии на основе штамма *Bacillus subtilis*, относящегося к эндофитным бактериям. Выделен из внутренних тканей черенков винограда сорта Мускат. Семена озимой пшеницы обрабатывали 10 %-ным раствором биопрепарата из расчета 1 л препарата (10 л рабочего раствора) на 1 т семян за 10 дней до посева с целью подавления семенных инфекций (гельминтоспориоз, фузариоз и др.) и заселения семян полезной микрофлорой. Посевы озимой пшеницы в фазы кушения и трубоквания обрабатывали биопрепаратом в дозе по 2 л/га для стимулирования роста растений, увеличения их урожайности и защиты от спектра фитопатогенных грибов и бактерий.

Минеральные удобрения под озимую пшеницу применяли на планируемую урожайность (4 т/га) в дозе N₁₀₀P₆₀K₆₀. В качестве основного удобрения вручную вносили диаммофоску (содержание д.в. N – 10 %, P – 26 %, K – 26 %) в дозе N₃₀P₆₀K₆₀ под предпосевную

обработку почвы. Подкормку азотом (вручную) проводили в фазы кушения и трубоквания в дозах N₄₀ и N₃₀ соответственно, внесением аммиачной селитры (N – 34 %).

Учет урожая озимой пшеницы осуществляли поделочно с последующим взвешиванием и пересчетом на 14 %-ную влажность и 100 %-ную чистоту зерна. Полученные результаты подвергали статистической обработке методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову.

Осенний период 2019 г. характеризовался высокой температурой воздуха и отсутствием осадков, что вызвало задержку всходов озимой пшеницы почти на месяц. Осенью 2020 г. осадков также не было, однако температура воздуха в целом соответствовала средне-многолетним значениям, всходы озимой пшеницы отмечали через неделю после посева. Средняя месячная температура воздуха октября составляла 12,5 °С, что на 0,9 °С превышало среднемноголетнюю (11,6 °С). По метеословиям зимне-весеннего периода различия между 2020 и 2021 гг. исследований в основном были незначительными. Зима была безморозной и мало-снежной, со средней температурой воздуха в январе 1,2 °С, при среднемноголетней – -1,9 °С. Метеословия весеннего периода складывались благоприятно для дальнейшей вегетации озимой пшеницы. Количество осадков было достаточным, основная их часть выпадала в мае, среднемесячная норма температуры воздуха 16,6 °С была превышена на 1,3 °С. При этом в 2020 г. сумма осадков превышала норму 56 мм на 33 %, в 2021 г. – на 72 %. Начиная с первой декады июня, количество осадков резко уменьшалось, а температура воздуха при этом заметно возрастала. Однако это не оказывало угнетающего влияния на посевы озимой пшеницы, так как к этому времени зерно успевало сформироваться, а к концу июня и началу июля начиналась уборка.

Результаты и обсуждение. Физические свойства почвы – важный показатель ее плодородия и деградации. Гранулометрический состав влияет на протекание

Табл. 2. Содержание нитратного азота в пахотном слое почвы и урожайность озимой пшеницы в зависимости от приема основной обработки, минеральных удобрений и биопрепарата

Прием обработки почвы (фактор А)	Удобрения и биопрепарат (фактор В)	Содержание N-NO ₃ в слое почвы 0...25 см, мг/кг				Урожайность, т/га	
		2020 г.		2021 г.		2020 г.	2021 г.
		1*	2	1	2		
Вспашка	без удобрений	3	5	6	10	3,33	4,21
	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀	11	7	6	13	3,24	4,71
	V417	8	11	4	13	3,02	4,32
	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ + V417	6	10	6	14	3,90	4,90
	среднее	7	8	6	12	3,35	4,53
Дискование	без удобрений	4	7	5	13	3,21	3,49
	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀	16	12	6	15	3,67	4,26
	V417	20	28	7	24	5,43	5,27
	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ + V417	11	5	8	18	4,45	5,19
	среднее	13	13	7	17	4,15	4,56
Чизелевание	без удобрений	5	7	6	15	3,69	3,92
	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀	6	12	5	12	3,64	4,08
	V417	8	9	5	13	3,99	4,57
	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ + V417	9	23	6	21	4,71	5,18
	среднее	7	13	6	15	3,95	4,38
Среднее	без удобрений	4	6	6	13	3,37	3,83
	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀	11	10	6	18	3,47	4,30
	V417	12	16	5	17	4,10	4,61
	N ₁₀₀ P ₆₀ K ₆₀ + V417	9	13	7	18	4,33	5,03
	среднее	9	11	6	16	3,82	4,46
НСР ₀₅ для частных различий		0,6	0,7	0,3	1,2	0,3	0,3
НСР ₀₅ А		0,6	0,7	0,5	1,1	0,2	0,2
НСР ₀₅ В		0,3	0,4	0,2	0,6	0,2	0,2
НСР ₀₅ АВ		0,4	0,5	0,3	0,7	0,1	0,1

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

физико-химических процессов, развитие корневых систем, поглощение ими элементов минерального питания [12]. Глубоко обработанная почва хорошо аккумулирует влагу, но плохо ее сохраняет, тогда как для более плотной почвы после мелкой или поверхностной обработки характерна обратная ситуация, на фоне которой формируется благоприятная плотность и агрегатная структура почвы, повышается водоустойчивость почвенных агрегатов и содержание нитратов. Поверхностная обработка почвы дисковыми боронами более предпочтительна в условиях засушливого летне-осеннего периода [13]. Существенное улучшение агрофизических и агрохимических показателей почвы обеспечивают приемы биологизации [14].

В наших исследованиях в оба периода вегетации последствие сидерата обеспечивало лучшее агрофизическое состояние почвы по всем показателям. Так, ее плотность в начале вегетации составляла 1,20...1,21 г/см³, в конце – 1,10...1,19 г/см³, при величине этого показателя без сидерата 1,25...1,28 и 1,21 г/см³ соответственно (табл. 1).

По доле агрономически ценных агрегатов состояние почвы при заделке сидератов характеризовалось как хорошее с варьированием от 54,6...60,5 % в начале вегетации до 63,7...67,8 % в конце с превышением варианта без удобрений на 2,4...3,5 и 8,7...21,3 % соответственно. По водопрочности структурных агрегатов использование зеленого удобрения обеспечивало отличное (>70 %) состояние почвы – 71,2...73,2 % в начале вегетации и 72,3...75,6 % в конце, что было выше, чем в варианте без его заделки, соответственно на 8,5...17,0 % и 8,4...13,3 %. Влажность почвы (по 65,4 % от ППВ) при использовании сидерата, отмеченная в начале вегетации, находилась в пределах оптимального содержания (50...70 %), что связано с выпадением в этот период осадков. Однако в конце вегетации, вследствие засухи она снизилась до уровня недостатка влаги (40...50 %) и составила 35,2...46,4 %. Разница с вариантом без удобрений была равна соответственно 3,8...10,9 % и 0,3...10,1 %, при этом в конце вегетации отмечали острый дефицит (0...40 %) влаги.

По приемам основной обработки почвы лучшие результаты по большинству агрофизических показателей отмечены при дисковании: по плотности почвы в начале вегетации – 1,16...1,20 г/см³, в конце вегетации – 1,20...1,22 г/см³; по количеству агрономически ценных агрегатов в начале вегетации – 59,2...59,4 %, в конце вегетации – 57,5...65,3 %; по водопрочности структурных агрегатов в начале и конце вегетации – 64,7...71,0 % и 71,7...72,3 % соответственно; влажность почвы была сопоставимой по всем обработкам и находилась в начале вегетации в пределах 59,5...64,0 %, в конце лучшие значения отмечены при дисковании – 38,9...46,1 %.

В среднем наибольшая урожайность озимой пшеницы (5,03 т/га) отмечена в 2021 г. в варианте с совместным применением удобрений и биопрепарата V417 при содержании нитратного азота в пахотном слое почвы в начале вегетационного периода 7 мг/кг, в конце – 18 мг/кг. Это было больше, чем в варианте без удобрений соответственно на 1,20 т/га, 1 мг/кг и 5 мг/кг (табл. 2).

Среди приемов основной обработки почвы наибольшую среднюю по фактору урожайность (4,56 т/га) обеспечило дискование в 2021 г., при содержании нитратного азота в пахотном слое почвы в начале вегетации 7 мг/кг, в конце – 17 мг/кг. Прибавка к

варианту без удобрений составляла 1,07 т/га, а превышение содержания нитратного азота – 2 и 4 мг/кг соответственно. В 2020 г. самую высокую в опыте урожайность озимой пшеницы отмечали (5,43 т/га) на фоне дискования с использованием биопрепарата V417. Кроме того, в этом варианте отмечено наибольшее содержание нитратного азота в пахотном слое почвы – соответственно 20 и 28 мг/кг в начале и конце вегетации, что согласно группировке почв относится к повышенному (16...30 мг/кг) уровню.

Таким образом, последствие сидерата (рапса ярового) и дискование способствовали формированию лучших агрофизических показателей почвы под посевами озимой пшеницы. При этом отмечали ее оптимальную плотность, хорошую структуру, отличную водопрочность структурных агрегатов, более высокую влажность в условиях засухи. По содержанию в пахотном слое почвы нитратного азота и урожайности озимой пшеницы лучшие результаты обеспечили дискование и использование биопрепарата V417.

Литература

1. Никитин С. Н., Завалин А. А. Влияние удобрений и биопрепаратов на продуктивность зернопарового севооборота, потоки элементов питания и свойства чернозема выщелоченного в лесостепи Среднего Поволжья // *Агрохимия*. 2017. № 6. С. 12–29.
2. Никитин С. Н., Якунин А. И. Влияние средств химизации и биологизации на эффективность технологий возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. № 11. С. 28–32.
3. Лукманов А. А., Логинов Н. А., Сафиоллин Ф. Н. Технологии возделывания яровой пшеницы на выщелоченных черноземах Среднего Поволжья // *Агрохимический вестник*. 2022. № 1. С. 3–7
4. Влияние средств химизации на урожайность и качество зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности / А. А. Завалин, А. А. Коваленко, Т. М. Забугина и др. // *Агрохимия*. 2021. № 3. С. 28–37.
5. Завалин А. А., Алферов А. А., Чернова Л. С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. 2019. № 8. С. 83–96.
6. Завалин А. А., Соколов О. А., Шмырева Н. Я. Азот в аэросистеме на черноземных почвах. М.: РАН, 2018. 180 с.
7. Лошаков В. Г. Экологические и фитосанитарные функции зеленого удобрения // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2018. № 5. С. 30–42.
8. Лошаков В. Г. Зеленое удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия // *Плодородие*. 2018. № 2 (101). С. 26–29.
9. Адиньяев Э. Д., Абаев А. А., Адаев Н. Л. Учебно-методическое руководство по проведению исследований в агрономии. Грозный: изд-во ЧГУ, 2012. 344 с.
10. Нагорный В. Д. Практикум по земледелию. Учебное пособие. М.: РУДН, 2014. 182 с.
11. Пискунов А. С. Методы агрохимических исследований. М.: КолосС, 2004. 312 с.
12. Смирнов Б. А., Воронин А. Н. Агрофизические свойства дерново-подзолистой глееватой почвы при разных системах обработки, удобрений

- ний и гербицидов // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2010. № 5. С. 20–30.
13. 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.
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.
15. 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.
16. 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.
17. Изменение агрохимических показателей чернозема типичного при различных приемах обработки и использовании средств химизации и биологизации / Х. А. Хусайнов, М. Ш. Абасов, А. В. Тунтаев и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2020. № 6. С. 30–33.

Поступила в редакцию 07.04.2022
После доработки 12.06.2022
Принята к публикации 17.08.2022

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК В ПОСЕВАХ СОВРЕМЕННЫХ ГИБРИДОВ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ОБРАБОТКАХ ПОЧВЫ

Л. Н. Путилина, П. А. Косякин, кандидаты сельскохозяйственных наук,
О. А. Минакова, доктор сельскохозяйственных наук, Н. А. Лазутина

Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свёклы
и сахара имени А. Л. Мазлумова,
396030, Воронежская область, Рамонский район, пос. ВНИИСС, 86
E-mail: lputilina@bk.ru

Исследования проводили с целью определения эффективности некорневых подкормок хелатным и гуматным препаратами в посевах сахарной свёклы при различных способах основной обработки почвы. Работу выполняли в 2019–2021 гг. в Воронежской области. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: система обработки почвы (фактор А) – отвальная (глубокая вспашка на 30...32 см); безотвальная (глубокая плоскорезная обработка на 30...32 см); гибрид (фактор В) – РМС 120 (ВНИИСС); Митика (Lion Seeds Ltd.); некорневая подкормка микроудобрениями (фактор С) – без микроудобрений; микроудобрение в хелатной форме Здравень-аква; микроудобрение в гуматной форме Биогумус. Почва – чернозём выщелоченный тяжёлоуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое 5,3...5,6 %, подвижного фосфора – 128...155 мг/кг, калия – 91...136 мг/кг, рН_{KCl} – 6,00...6,18. Максимальная урожайность корнеплодов отмечена на отвальной обработке с некорневой подкормкой хелатным препаратом у гибрида РМС 120 (42,8 т/га) и гуматным – у гибрида Митика (51,2 т/га). Лучшее качество выявлено у отечественного гибрида при внесении хелатного препарата на фоне безотвальной обработки (сахаристость превысила контроль на 0,26 % при снижении несахаров-мелассообразователей и улучшении извлекаемости сахарозы на 0,63 %). У гибрида Митика лучшие результаты отмечены на том же фоне при использовании гуматного препарата: увеличение сахаристости на 0,41 % и коэффициента его извлечения на 0,59 % при снижении содержания всех мелассообразующих несахаров, в сравнении с контролем. Наиболее рационально проведение указанных подкормок по отвальной обработке.

EFFICIENCY FOLK FERTILIZATION IN CROPS OF MODERN SUGAR BEET HYBRIDS UNDER VARIOUS SOIL TREATMENTS

Putilina L. N., Kosyakin P. A., Minakova O. A., Lazutina N. 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: lputilina@bk.ru

The purpose of the research is to determine the effectiveness of non-root feedings with chelate and humate preparations in sugar beet crops with various methods of basic tillage. The work was carried out in 2019-2021 in the Voronezh region. The scheme of the experiment assumed the study of the following options: tillage system (factor A) – fall-off (deep plowing for 30...32 cm); non-shaft (deep plane-cutting treatment by 30...32 cm); hybrid (factor B) – RMS 120 (VNISS); Mitica (Lion Seeds Ltd.); foliar fertilizing with micro-fertilizers (factor C) – without micro-fertilizers; micronutrient in the chelated form of Zdra-ven-aqua; micronutrient in the humate form of Biohumus. The soil is leached heavy loamy chernozem. The content of humus in the arable layer is 5.3...5.6%, mobile phosphorus – 128...155 mg/kg, potassium – 91...136 mg/kg, рН_{KCl} – 6.00...6.18. The maximum yield of root crops was noted on dump treatment with foliar top dressing with chelate preparation in a hybrid of RMS 120 (42.8 t/ha) and humate – the hybrid Mitic (51.2 t/ha). The best quality was revealed in the domestic hybrid when a chelated preparation was introduced against the background of non-waste treatment (sugar content exceeded the control by 0.26% with the reduction of non-sugar molasses and the improvement of the recoverability of sugar by 0.63%). In the hybrid Mitik, the best results were obtained against the same background when using a humate preparation: an increase in sugar content by 0.41% and its extraction coefficient by 0.59% with a decrease in the content of all molasses-forming non-sugars, compared with the control. It is most rational to carry out chelated top dressing on domestic hybrids for dump processing, and on foreign hybrids – humate foliar top dressing on the same background of tillage.

Ключевые слова: гибриды сахарной свёклы (*Beta vulgaris* L.), отечественная и иностранная селекция, обработка почвы, некорневая подкормка, хелаты, гуматы, продуктивность, технологическое качество.

Key words: sugar beet hybrids (*Beta vulgaris* L.), domestic and foreign breeding, tillage, foliar application, chelates, humates, productivity, technological quality.

Сахарная свёкла – важнейшая техническая культура, имеющая большое экономическое значение. Увеличение валового сбора сахарной свёклы в стране предусматривается посредством наращивания её урожайности, повышения качества корнеплодов, предотвращения потерь при хранении и переработке свекловичного сырья.

В Российской Федерации широко распространяется в производстве интенсивная технология возделывания сахарной свёклы, разработанная учёными ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова и других научно-исследовательских

учреждений, включающая комплекс взаимосвязанных механизированных технологических приёмов и организационных мероприятий, обеспечивающих повышение урожайности и выхода сахара с 1 га посевов культуры [1]. Главные условия её высокой эффективности – использование всех агротехнических приёмов и качественное их выполнение в оптимальные сроки. Традиционным агроприёмом, способствующим улучшению питания растений и росту их урожайности, а также оптимизации почвенного плодородия, выступает основное внесение удобрений [2, 3].

Изменение климата способно оказать серьезное негативное влияние на сельскохозяйственные культуры. Чтобы свести к минимуму снижение урожайности, необходимо предусмотреть адаптационные меры [4], в числе которых можно назвать проведение подкормок, оказывающих значительное воздействие на процессы жизнедеятельности растений и итоговую продуктивность [5, 6].

Некорневая подкормка – один из способов внесения удобрений, при котором усвоение элементов питания происходит листовой поверхностью; проводят ее в период интенсивного роста растений [7, 8]. При интенсификации земледелия происходит рост урожайности сельскохозяйственных культур, в связи с чем увеличивается вынос растениями микроэлементов [9, 10].

Некорневая подкормка не заменяет основного и припосевного внесения удобрений, а лишь дополняет и улучшает их действие. У листьев поглощение солей из раствора зависит от кислотности среды, концентрации раствора, состава солей. Отмечена тесная взаимосвязь между корневым и некорневым питанием растений. Выявлено положительное влияние некорневых подкормок на повышение интенсивности фотосинтеза, что усиливает приток органического вещества и энергетического материала к корневой системе. В результате происходит усиление дыхания, быстрый рост корней, увеличение их поверхности и, как следствие, повышение количества поступающих в растение минеральных веществ [11]. Доказано, что внесение водорастворимых солей микроэлементов на сахарной свёкле, особенно бора и марганца [12], имеет высокую эффективность, но у этого агроприёма есть существенные недостатки, связанные с низкой усвояемостью растениями.

Большой интерес представляет некорневое применение новых форм микроудобрений в хелатной и гуматной форме, использование которых позволяет существенно снизить затраты на применение средств химизации [13, 14].

Хелатные микроудобрения – препараты, содержащие в своем составе хелатирующий агент. Усвояемость хелатов, присутствующих в удобрениях, составляет 80 %, в то время как нехелатированных веществ – 40 %. Функция хелатирующего агента – захват ионов микроэлементов и сохранение их в растворимом виде вплоть до попадания в растения, где они высвобождаются, переходя в биологически доступную форму. При этом сам хелатирующий агент распадается на химические соединения, легко усваиваемые растениями. Комплексы хелатов биологически активны и близки по своей структуре к природным веществам, поэтому безвредны и эффективны для растения, особенно молодого [15, 16]. Действие хелатов заключается в активизации ферментов, влиянии на биохимические процессы, протекающие в клетках, стимуляции роста и развития растительного организма [17].

Гуматные микроудобрения представлены комплексом гуминовых и фульвокислот. Они блокируют поступление в растение химических загрязнителей, пестицидов, радионуклидов, связывая их в нерастворимые соединения, которые выводятся за пределы корнеобитаемого слоя почвы. Гуматные микроудобрения обеспечивают повышение урожайности, экономию минеральных удобрений, средств защиты растений, экологическую безопасность продукции. Раствор гумата в воде служит питательной средой для растений, но его взаимодействие с водой далеко не ограничивается этим очевидным фактом. Известно, что гуматы при растворении в воде придают раствору свойства «талой воды»,

обладающей повышенной проникающей способностью. Это способствует транспортировке гидратированных молекул гумата в клетки растения. Содержащиеся в гуматах аминокислоты стимулируют метаболизм растений, так как они принимают участие в биосинтезе белков и ферментов, поддерживают водный баланс клеток, усиливают процесс фотосинтеза, способствуют лучшему усвоению растениями питательных элементов, в том числе из почвы. В результате более развитое, здоровое растение имеет повышенную стрессоустойчивость [8].

Некорневые подкормки хорошо совместимы с применением макроудобрений (азотные подкормки), препаратами по борьбе с сорняками и болезнями культурных растений. Затраты микроудобрений при этом способе существенно ниже, чем при основном внесении (в почву), что позволяет удобрять большие площади посевов [18].

Цель исследований – установить эффективность некорневых подкормок микроудобрениями в хелатной и гуматной формах в посевах гибридов сахарной свёклы отечественной и зарубежной селекции при различных способах основной обработки почвы по показателям продуктивности и качества культуры.

Методика. Исследования проводили в ФГБНУ «ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова» в стационарном полевом опыте по обработке почвы, заложенном в 1985 г., схема которого предполагала изучение следующих вариантов:

система обработки почвы (фактор А) – отвальная (глубокая вспашка на 30...32 см по схеме улучшенной зяби с предварительными дисковым лушением на 6...8 см и плоскорезным рыхлением на 12...14 см); безотвальная (глубокая плоскорезная обработка на 30...32 см по схеме улучшенной зяби с предварительным дисковым лушением на 6...8 см и плоскорезным рыхлением на 12...14 см);

гибрид (фактор В) – РМС 120 (ВНИИСС); Митика (Lion Seeds Ltd.);

некорневая подкормка микроудобрениями (фактор С) – без микроудобрений; микроудобрение в хелатной форме Здравень-аква; микроудобрение в гуматной форме Биогумус.

Для проведения основной обработки почвы использовали плуг ПН-4-35, плоскорез-глубокорыхлитель КПГ-250, лушители ЛДГ-10 и БДТ-3.

Микроудобрение в хелатной форме Здравень-аква разработано ООО «Ваше хозяйство» (г. Нижний Новгород, № гос. регистрации 1941-10-206-212-0-0-1 от 01.01.2000 г.), в своем составе содержит следующие элементы: N – 3,5; P – 2,7; K – 5,5; Mg – 0,3; B – 0,015; Mn – 0,06; Co – 0,005 % [19]. В состав микроудобрения в гуматной форме Биогумус (торговая марка «Сила жизни», г. Саратов, № гос. регистрации 274-18-451-1 от 21.11.2014 г.) входят следующие компоненты: гуминовые, фульво- и аминокислоты – 35 %; N – 8; P – 3; K – 4; Mg – 1; Fe – 1; Mo – 1 % [20]. Препараты включены в «Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации» [21]. Некорневые подкормки выполняли в дозах по 1 л/га бытовым пневматическим опрыскивателем с расходом рабочего раствора из расчета 200 л/га 2 раза за вегетацию (в фазе 4...6 пар листьев и через 2 недели) рано утром или вечером, избегая яркого солнца и сильного ветра.

Исследования проводили в звене 9-польного севооборота пар – озимая пшеница – сахарная свёкла на фоне применения $N_{59}P_{59}K_{59} + 11$ т навоза на 1 га севооборотной площади. Непосредственно под сахарную свёклу перед основной обработкой почвы вносили $N_{160}P_{160}K_{160}$

Табл. 1. Чистая продуктивность фотосинтеза гибридов сахарной свёклы в зависимости от некорневых подкормок и обработки почвы (2019–2021 гг.), г/м²-сутки

Система обработки почвы (фактор А)	Гибрид (фактор В)	Микроудобрение (фактор С)			Среднее
		0	Здравень-аква	Биогумус	
Отвальная	РМС 120	5,40	6,35	6,92	6,22
	Митика	5,10	7,35	6,65	6,37
	среднее	5,25	6,85	6,78	6,29
Безотвальная	РМС 120	3,82	5,25	6,92	5,33
	Митика	3,70	6,23	6,39	5,44
	среднее	3,76	5,74	6,66	5,39
Среднее	РМС 120	4,61	5,80	6,92	5,78
	Митика	4,40	6,79	6,52	5,90
	среднее	4,50	6,30	6,72	5,84

НСР₀₅ для факторов: А – 0,26; В – 0,29; С – 0,25; частных различий – 0,50.

в форме азофоски (16:16:16:). Навоз в количестве 50 т/га заделывали в чёрном пару.

Варианты некорневых подкормок микроудобрениями в хелатной и гуматной формах закладывали методом расщепленных делянок. Повторность опыта 3-кратная, общая площадь делянки – 36 м², учетная – 10,8 м². Размещение вариантов систематическое. Агротехника возделывания сахарной свёклы – общепринятая для ЦЧР.

Математическую обработку результатов опыта проводили методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [22]. Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяли делением среднесуточного прироста биомассы урожая за промежуток времени (обычно 5...10 дней) на среднюю площадь листьев [23]. Учет урожайности проводили весовым методом по методике ВНИС [24].

Технологические показатели качества корнеплодов определяли в лаборатории хранения и переработки сырья ВНИИСС им. А. Л. Мазлумова экспресс-методом, включающим получение дигератов на автоматизированной линии *Veneta* и определение в них на автоматизированной линии анализа сахарной свёклы *Betalyser* сахаристости, содержания калия, натрия и α-аминного азота. На основании результатов анализа рассчитывали прогнозируемые потери сахара в мелассе по формуле Брауншвейгского университета, прогнозируемый выход сахара и коэффициент его извлечения.

Результаты и обсуждение. Развитие растения и его биологическая продуктивность – это результат, прежде всего, фотосинтетической деятельности, в ходе которой образуется до 95 % органических соединений. Поэтому рост растения и увеличение массы корнеплодов начинается, главным образом, вслед за формированием

фотосинтетической системы листа. Важной слагающей формирования урожая служит чистая продуктивность фотосинтеза [25].

В наших исследованиях средняя величина ЧПФ отечественного гибрида составила 5,78 г/м²-сутки, что было на 0,12 ед. ниже иностранного образца (табл. 1). ЧПФ гибрида РМС 120 варьировала от 3,82 г/м² в контроле без микроудобрений на фоне безотвальной обработки до 6,92 г/м² на фоне отвальной обработки и гуматной подкормки. У гибрида Митика величина этого показателя изменялась от 3,70 г/м² при безотвальной обработке без микроудобрений до 7,35 г/м² – на фоне отвальной обработки с хелатной подкормкой.

Средняя ЧПФ гибридов на фоне отвальной обработки почвы была на 0,90 ед. выше, чем после безотвальной обработки (5,39 г/м²-сутки). Некорневые подкормки обеспечили достоверное увеличение ЧПФ отечественного гибрида на 0,95...2,31 г/м² (17,6...60,5 %), иностранного – на 1,55...2,53 г/м² (30,4...72,7 %). Это свидетельствует о том, что благодаря действию компонентов используемых препаратов гибриды сахарной свёклы в полной мере усваивали энергию солнечного света, необходимую для роста и развития.

Урожайность и качество сельскохозяйственных культур – итог физиолого-биохимических процессов, протекающих в растениях, направленность которых зависит от генетической природы растения, условий внешней среды и эффективности приёмов возделывания [9]. Сбор корнеплодов гибрида РМС 120 за годы исследований был наименьшим в контроле при безотвальной обработке почвы – 34,2 т/га, а самым высоким на фоне отвальной обработки с применением хелатного препарата – 42,8 т/га (табл. 2). У гибрида Митика наименьшая

Табл. 2. Урожайность корнеплодов гибридов сахарной свёклы в зависимости от некорневых подкормок и обработки почвы (2019–2020 гг.), т/га

Система обработки почвы (фактор А)	Гибрид (фактор В)	Микроудобрение (фактор С)			Среднее
		0	Здравень-аква	Биогумус	
Отвальная	РМС 120	38,4	42,8	40,9	40,7
	Митика	46,3	50,3	51,2	49,3
	среднее	42,4	46,6	46,1	45,0
Безотвальная	РМС 120	34,2	38,3	37,2	36,6
	Митика	46,0	49,4	50,1	48,5
	среднее	40,1	43,9	43,7	42,6
Среднее	РМС 120	36,3	40,6	39,1	38,7
	Митика	46,2	49,9	50,7	48,9
	среднее	41,3	45,3	44,9	43,8

НСР₀₅ для факторов: А – 2,3; В – 2,7; С – 1,5; частных различий – 5,8.

Табл. 3. Сбор сахара в зависимости от некорневых подкормок и обработки почвы (2019–2020 гг.), т/га

Система обработки почвы (фактор А)	Гибрид (фактор В)	Микроудобрение (фактор С)			Среднее
		0	Здравень-аква	Биогумус	
Отвальная	РМС 120	6,66	7,65	7,20	7,17
	Митика	8,32	9,18	9,32	8,94
	среднее	7,49	8,42	8,26	8,06
Безотвальная	РМС 120	6,19	7,03	6,79	6,67
	Митика	8,38	9,08	9,34	8,93
	среднее	7,29	8,06	8,06	7,80
Среднее	РМС 120	6,43	7,34	7,00	6,92
	Митика	8,35	9,13	9,33	8,94
	среднее	7,39	8,24	8,17	7,93

НСР₀₅ для факторов: А – 0,38; В – 0,44; С – 0,40; частных различий – 0,40.

в опыте урожайность также отмечена в контрольном варианте при безотвальной обработке (46,0 т/га), а наибольшая – в варианте со вспашкой и применением гуматного препарата (51,2 т/га).

Средняя урожайности иностранного гибрида была на 10,2 т/га (26,4 %) выше, чем у отечественного (38,7 т/га). Сбор корнеплодов изучаемых гибридов, в среднем по опыту, при отвальной обработке почвы составил 45,0 т/га, что было выше, чем при безотвальной, на 2,4 т/га.

Некорневая подкормка вегетирующих растений способствовала достоверному повышению урожайности, в среднем по опыту, у отечественного гибрида на 2,8...4,3 т/га, относительно контрольного варианта (36,3 т/га), у иностранного гибрида – на 3,7...4,5 т/га (с 46,2 т/га).

Применение хелатного препарата на фоне безотвальной обработки почвы способствовало достоверному увеличению сбора корнеплодов отечественного гибрида, относительно контроля, на 4,1 т/га (12,0 %), гуматного – на 3,0 т/га (8,8 %); иностранного гибрида – на 3,4 т/га (7,4 %) и 4,1 т/га (8,9 %) соответственно. При некорневой подкормке хелатным препаратом на фоне отвальной обработки почвы прибавка урожая гибрида РМС 120 к контролю составила 4,4 т/га (11,5 %), гуматным – 2,5 т/га (6,5 %), гибрида Митика – 4,0 т/га (8,6 %) и 4,9 (10,6 %) соответственно.

Минимальный в опыте биологический сбор сахара отмечен в контрольном варианте у гибрида РМС 120 при безотвальной обработке (6,19 т/га), максимальный – у гибрида Митика при проведении подкормки гуматным препаратом на обоих фонах обработки (9,32...9,34 т/га) (табл. 3).

Средний сбор сахара в варианте с отечественным гибридом составил 6,92 т/га, с иностранным он был выше на 2,02 т/га. Средняя величина этого показателя на фоне отвальной обработки у гибрида РМС 120 была

равна 7,17 т/га, Митика – 8,94 т/га, при безотвальной обработке – 6,67 и 8,93 т/га соответственно.

Проведение некорневой подкормки хелатным препаратом способствовало увеличению сбора сахара, в среднем по опыту, на 0,91 т/га у отечественного гибрида и на 0,78 т/га – у иностранного, относительно соответствующих контролей (6,43 и 8,35 т/га). При подкормке гуматным препаратом отмечено повышение величины анализируемого показателя на 0,57 и 0,98 т/га соответственно.

Сочетание хелатного препарата и безотвальной обработки обеспечивало повышение сбора сахара у гибрида РМС 120, в сравнении с контролем, на 0,84 т/га (13,6 %), у гибрида Митика – на 0,70 т/га (8,3 %), а на фоне отвальной обработки – на 0,99 т/га (14,9 %) и 0,86 т/га (10,3 %) соответственно. Применение гуматного препарата на гибриде РМС 120 при безотвальной обработке обеспечивало увеличение биологического сбора сахара, в сравнении с контролем, на 0,60 т/га (9,7 %), на гибриде Митика – на 0,96 т/га (11,4 %), при отвальной – на 0,54 т/га (8,1 %) и 1,00 т/га (12,0 %) соответственно.

Гибрид Митика, в сравнении с РМС 120, в контрольном варианте с безотвальной обработкой почвы обеспечил сбор сахара выше на 2,19 т/га (35,4 %), при внесении хелатного препарата – на 2,05 т/га (29,2 %), гуматного – на 2,55 т/га (37,5 %). Отвальная обработка почвы способствовала росту величины этого показателя у гибрида Митика, относительно РМС 120, в контрольном варианте на 1,66 т/га (24,9 %), при использовании хелатного препарата – на 1,53 т/га (20,0 %), гуматного – на 2,12 т/га (29,4 %).

Увеличение продуктивности сахарной свеклы в результате листовой подкормки при различных системах обработки почвы, возможно, связано с интенсификацией

Табл. 4. Сахаристость гибридов сахарной свёклы в зависимости от некорневых подкормок и обработки почвы (2019–2021 гг.), %

Система обработки почвы (фактор А)	Гибрид (фактор В)	Микроудобрение (фактор С)			Среднее
		0	Здравень-аква	Биогумус	
Отвальная	РМС 120	17,34	17,88	17,61	17,61
	Митика	17,95	18,26	18,21	18,14
	среднее	17,64	18,07	17,91	17,87
Безотвальная	РМС 120	18,10	18,36	18,25	18,24
	Митика	18,22	18,38	18,63	18,41
	среднее	18,16	18,37	18,44	18,32
Среднее	РМС 120	17,72	18,12	17,93	17,92
	Митика	18,05	18,32	18,42	18,26
	среднее	17,88	18,22	18,17	18,09

НСР₀₅ для факторов: А – 0,22; В – 0,18; С – 0,15; частных различий – 0,30.

Табл. 5. Содержание мелассообразующих несахаров в корнеплодах гибридов сахарной свёклы в зависимости от некорневых подкормок и обработки почвы (2019-2021 гг.)

Система обработки почвы (фактор А)	Гибрид (фактор В)	Микроудобрение (фактор С)			Среднее
		0	Здравень-аква	Биогумус	
Содержание Na⁺, ммоль/100 г свёклы					
(НСР ₀₅ для факторов: А – 0,05; В – 0,05; С – 0,02; частных различий – 0,03)					
Отвальная	РМС 120	0,50	0,52	0,54	0,52
	Митика	0,46	0,57	0,54	0,52
	среднее	0,48	0,54	0,54	0,52
Безотвальная	РМС 120	0,39	0,37	0,40	0,39
	Митика	0,38	0,46	0,36	0,40
	среднее	0,38	0,41	0,38	0,39
Среднее	РМС 120	0,44	0,44	0,47	0,45
	Митика	0,42	0,51	0,45	0,46
	среднее	0,43	0,47	0,46	0,45
Содержание К⁺, ммоль/100 г свёклы					
(НСР ₀₅ для факторов: А – 0,08; В – 0,07; С – 0,05; частных различий – 0,05)					
Отвальная	РМС 120	3,69	3,98	3,77	3,81
	Митика	3,44	3,82	3,78	3,68
	среднее	3,56	3,90	3,77	3,74
Безотвальная	РМС 120	3,42	3,37	3,47	3,42
	Митика	3,00	3,62	2,78	3,13
	среднее	3,21	3,49	3,12	3,27
Среднее	РМС 120	3,55	3,67	3,62	3,61
	Митика	3,22	3,72	3,28	3,41
	среднее	3,38	3,69	3,45	3,51
Содержание α-аминного азота, ммоль/100 г свёклы					
(НСР ₀₅ для факторов: А – 0,04; В – 0,06; С – 0,04; частных различий – 0,05)					
Отвальная	РМС 120	1,56	2,04	1,69	1,76
	Митика	1,50	1,83	1,62	1,65
	среднее	1,53	1,93	1,65	1,70
Безотвальная	РМС 120	2,07	1,74	2,25	2,02
	Митика	1,47	1,52	1,36	1,45
	среднее	1,77	1,63	1,80	1,73
Среднее	РМС 120	1,81	1,89	1,97	1,89
	Митика	1,48	1,67	1,49	1,55
	среднее	1,64	1,78	1,73	1,72
Потери сахара в мелассе, %					
(НСР ₀₅ для факторов: А – 0,07; В – 0,04; С – 0,03; частных различий – 0,05)					
Отвальная	РМС 120	1,36	1,51	1,40	1,42
	Митика	1,31	1,45	1,39	1,38
	среднее	1,33	1,48	1,39	1,40
Безотвальная	РМС 120	1,43	1,35	1,48	1,42
	Митика	1,24	1,29	1,18	1,24
	среднее	1,33	1,32	1,33	1,33
Среднее	РМС 120	1,39	1,43	1,44	1,42
	Митика	1,27	1,34	1,28	1,30
	среднее	1,33	1,38	1,36	1,36

процесса фотосинтеза, оттока пластических веществ из листьев в корнеплод при одновременном усилении корневого питания растений [26].

Оценка продуктивности сахарной свёклы в опыте выявила, что наибольший эффект на отечественном гибриде независимо от способа обработки почвы обеспечивало применение хелатного препарата, на иностранном – на обоих фонах – гуматного препарата.

Технологические качества сахарной свёклы – комплекс её биологических, химических и физических особенностей, обуславливающих протекание технологических процессов ее переработки на сахарных заводах и выход кристаллического сахара.

При создании мощного ассимиляционного аппарата, чему в немалой степени способствуют микроудобрения, в листьях образуются растворимые углеводы, которые, превращаясь в транспортные формы, обеспечивают постоянный приток моносахаридов и сахарозы в корнеплоды. Поступление углеводов из листьев и интенсивность синтеза сахарозы в корнеплодах – это два главных фактора сахаронакопления в корнеплодах свёклы [27].

Технологическая оценка сахарной свёклы при уборке показала, что на фоне безотвальной обработки почвы сахаристость гибрида РМС 120 составила 18,10...18,38 %, Митика – 18,22...18,63 %, на фоне отвальной обработки

она была ниже – 17,34...17,88 и 17,95...18,26 % соответственно (табл. 4).

Различие по средней величине этого показателя между гибридами составило 0,34 %. На фоне отвальной обработки почвы оно достигало 0,53 %, при безотвальной не превышало 0,17 %. Наибольшая разница по сахаристости между гибридами определена при внесении гуматного препарата Биогумус – в среднем 0,49 %

Применение в посевах сахарной свёклы хелатного препарата Здравень-аква на фоне безотвальной обработки почвы привело к росту содержания сахара в корнеплодах гибрида РМС 120 на 0,26 %, гибрида Митика – на 0,16 %, относительно контролей (18,10 и 18,22 % соответственно). При внесении этого препарата на фоне отвальной обработки выявлено более интенсивное накопление сахарозы у обоих гибридов, в сравнении с безотвальной обработкой. Тем не менее, у отечественного гибрида величина этого показателя достоверно превысила контроль на 0,54 %.

При обработке вегетирующих растений препаратом Биогумус наибольшее увеличение сахаристости наблюдали у гибрида Митика на фоне безотвальной обработки почвы (0,41 %), тогда как при его внесении на фоне отвальной обработки величина этого показателя у обоих образцов превышала соответствующие контроли практически одинаково (на 0,23 и 0,26 %).

Сахаристость служит важным, но не единственным критерием качества сахарной свёклы. На полноту извлечения сахарозы из растительного сырья влияет содержание калия, натрия, α-аминного азота. При уборке минимальное в опыте количество K⁺ (2,78 ммоль/100 г) отмечено в варианте с применением гуматного препарата на фоне безотвальной обработки почвы у гибрида Митика, максимальное (3,98 ммоль/100 г) – у РМС 120 при внесении хелатного препарата на фоне отвальной обработки (табл. 5).

Некорневая подкормка вегетирующих растений хелатным препаратом на фоне безотвальной обработки почвы у гибрида РМС 120 привела к снижению содержания всех мелассообразователей (Na⁺ – на 5,1, K⁺ – на 1,5, α-аминного азота – на 15,9 %), относительно контрольного варианта и, соответственно, потерь сахарозы в мелассе на 0,08 %. У гибрида Митика, наоборот, отмечено увеличение количества Na⁺ – на 21,0, K⁺ – на 20,7, α-аминного азота – на 3,4 % и потерь сахара в мелассе на 0,05 %.

Действие гуматного препарата на фоне безотвальной обработки почвы приводило к повышению содержания мелассообразующих веществ (Na⁺ – на 2,6, K⁺ – на 1,5, α-аминного азота – на 8,7 %) у отечественного гибрида,

в сравнении с контролем, и, как следствие, к достоверному увеличению потерь сахара в мелассе на 0,05 %. У иностранного гибрида, напротив, выявлено снижение Na⁺ на 5,3 %, K⁺ – на 7,3, α-аминного азота – на 7,5 %, потерь сахара в мелассе – на 0,06 %.

Применение хелатного препарата при отвальной обработке почвы обеспечивало достоверное увеличение содержания всех исследуемых несахаров-мелассообразователей, в сравнении с соответствующими контролями, как у отечественного гибрида (Na⁺ – на 0,02, K⁺ – на 0,29, α-аминного азота – на 0,48 ммоль/100 г свёклы, или на 4,0, 7,9 и 30,8 % соответственно), так и у иностранного гибрида (на 0,08, 0,38 и 0,33 ммоль/100 г свёклы, или на 23,9, 11,0, 22,0 % соответственно). При этом потери сахара в мелассе у РМС 120 оказались достоверно выше на 0,15 %, у Митики – на 0,14 %. Аналогичная тенденция отмечена в вариантах с некорневой подкормкой растений гуматным препаратом в сочетании с отвальной обработкой почвы: повышение количества мелассообразующих веществ привело к росту потерь сахара в мелассе на 0,04 и 0,08 % соответственно, в сравнении с контролями.

Различия между величинами анализируемых показателей на фоне отвальной и безотвальной систем обработки составляли в среднем: по Na⁺ – 0,13, K⁺ – 0,47, α-аминному азоту – 0,03 ммоль/100 г свёклы.

При сравнении гибридов между собой по количеству мелассообразователей наибольшие в опыте различия выявлены на фоне с безотвальной обработкой почвы: по Na⁺ – в варианте с хелатным препаратом (0,09 ммоль/100 г свёклы или 24,3 %), по K⁺ и α-аминному азоту – с гуматным препаратом (0,69 ммоль/100 г свёклы или 20,0 %, 0,89 ммоль/100 г свёклы или 39,5 % соответственно). Во всех вариантах опыта иностранный гибрид Митика характеризовался меньшими потерями сахара в мелассе (в среднем, на 0,12 %).

Повышенное содержание несахаров в отечественном гибриде практически во всех опытных вариантах, возможно, объясняется тем, что этот сортообразец ко времени уборки ещё не достиг технической спелости, в сравнении с зарубежным гибридом, что подтверждается более высоким МБ-фактором (количество мелассы, которое получают на 100 частей сахара, вырабатываемого из этого сырья). У гибрида Митика величина этого показателя составляла в среднем 16,42, что ниже, чем у РМС 120, на 1,93 ед. Среднее значение МБ-фактора на фоне отвальной обработки было выше, по сравнению с безотвальной, на 1,51 ед. и достигало 18,14 (табл. 6).

Проведение некорневых подкормок способствовало повышению величины показателя технической спелости, относительно соответствующих контролей.

Табл. 6. Величина показателя технической спелости гибридов сахарной свёклы в зависимости от некорневых подкормок и обработки почвы (2019–2021 гг.)

Система обработки почвы (фактор А)	Гибрид (фактор В)	Микроудобрение (фактор С)			Среднее
		0	Здравень-аква	Биогумус	
Отвальная	РМС 120	18,16	19,65	18,41	18,74
	Митика	16,75	18,34	17,57	17,55
	среднее	17,45	18,99	17,99	18,14
Безотвальная	РМС 120	18,25	16,86	18,77	17,96
	Митика	15,52	16,03	14,35	15,30
	среднее	16,88	16,44	16,56	16,63
Среднее	РМС 120	18,20	18,25	18,59	18,35
	Митика	16,13	17,18	15,96	16,42
	среднее	17,16	17,71	17,27	17,38

НСР₀₅ для факторов: А – 0,30; В – 0,72; С – 0,16; частных различий – 0,07.

Табл. 7. Расчётные технологические показатели переработки корнеплодов гибридов сахарной свёклы в зависимости от некорневых подкормок и обработки почвы (2019–2021 гг.)

Система обработки почвы (фактор А)	Гибрид (фактор В)	Микроудобрение (фактор С)			Среднее
		0	Здравень-аква	Биогумус	
Выход сахара, % (НСР ₀₅ для факторов: А – 0,42; В – 0,30; С – 0,15)					
Отвальная	РМС 120	14,98	15,37	15,21	15,19
	Митика	15,64	15,81	15,82	15,76
	среднее	15,31	15,59	15,51	15,47
Безотвальная	РМС 120	15,67	16,01	15,77	15,82
	Митика	15,98	16,09	16,45	16,17
	среднее	15,82	16,05	16,11	15,99
Среднее	РМС 120	15,32	15,69	15,49	15,50
	Митика	15,81	15,95	16,13	15,96
	среднее	15,56	15,82	15,81	15,73
Коэффициент извлечения сахара, % (НСР ₀₅ для факторов: А – 0,40; В – 0,35; С – 0,15)					
Отвальная	РМС 120	86,39	85,96	86,37	86,24
	Митика	87,13	86,58	86,87	86,86
	среднее	86,76	86,27	86,62	86,55
Безотвальная	РМС 120	86,57	87,20	86,41	86,73
	Митика	87,71	87,54	88,30	87,85
	среднее	87,14	87,37	87,35	87,29
Среднее	РМС 120	86,48	86,58	86,39	86,48
	Митика	87,42	87,06	87,58	87,35
	среднее	86,95	86,82	86,98	86,92

Так, при внесении хелатного препарата МБ-фактор в среднем возрастал на 0,55, гуматного – на 0,11 ед. Это, видимо, связано с тем, что элементы, входящие в состав применяемых микроудобрений, способствовали формированию большей ассимиляционной поверхности листьев и длительному ее сохранению в активном состоянии, улучшали углеводный обмен, что, в итоге, обеспечивало прибавку урожая корнеплодов. При этом в растениях в опытных вариантах продолжались физиологические процессы, что подтверждается повышенным содержанием несахаров-мелассообразователей, и, как следствие, большими величинами МБ-фактора.

Сложный химический состав сахарной свёклы и варьирование содержания её отдельных компонентов обуславливает специфику при переработке корнеплодов с достижением разного содержания сахара в мелассе, его выхода и извлекаемости ($K_{извл}$) из корнеплодов. Так, во всех вариантах прогнозируемый выход сахара у иностранного гибрида был выше, чем у отечественного. В среднем, отклонение составляло 0,46 % (табл. 7), при отвальной обработке разница между гибридами достигала 0,57 %, при безотвальной – 0,35 %.

Средний выход сахара при отвальной системе обработки почвы был достоверно (на 0,52 %) ниже, чем при безотвальной. В вариантах с некорневыми подкормками выход сахара у РМС 120 достигал 15,21...16,01 %, у Митика – 15,81...16,45 %, что на 0,10...0,39 и 0,11...0,47 % выше, в сравнении с соответствующими контрольными вариантами. Вероятно, это связано с ростом содержания сахара в корнеплодах обоих гибридов под действием такого технологического приема. При проведении некорневой подкормки растений препаратом Здравень-аква средняя величина этого показателя у РМС 120 возрастала на 0,37 %, у Митики – на 0,14 %, гуматным препаратом Биогумус – на 0,17 и 0,32 % соответственно.

Наибольший прогнозируемый выход сахара при переработке корнеплодов отмечен у обоих гибридов на фоне безотвальной обработки почвы: у РМС 120 – при внесении хелатного удобрения (16,01 %), у Митики – гуматного (16,45 %). Аналогичная тенденция отмечена и на фоне отвальной обработки, хотя величина этого показателя была несколько ниже, в сравнении с безотвальной системой обработки почвы.

Во всех вариантах опыта иностранный гибрид характеризовался лучшей извлекаемостью сахара: $K_{извл}$ в среднем составил 87,35, что на 0,87 % выше, в сравнении с отечественным гибридом. На фоне отвальной обработки почвы средний коэффициент извлечения сахара был на 0,38...1,10 % ниже, чем при безотвальной.

Лучшая извлекаемость сахарозы отмечена на фоне безотвальной обработки почвы у РМС 120 при подкормке хелатным препаратом, у Митики – гуматным: $K_{извл}$ был на 0,63 и 0,59 % выше значений соответствующих контролей, достигая уровня 87,20 и 88,30 %. Извлекаемость сахара в других экспериментальных вариантах была хуже соответствующих контролей. Отклонение среднего значения $K_{извл}$ при проведении подкормки вегетирующих растений сахарной свёклы хелатным препаратом составляло 0,13 %, гуматным – 0,03 %.

Таким образом, для успешной реализации генетического потенциала изучаемых гибридов сахарной свёклы эффективной комбинацией агроприёмов следует считать отвальную обработку почвы в сочетании с двукратной некорневой подкормкой при возделывании отечественного гибрида хелатным препаратом в дозе 1 л/га, иностранного гибрида – гуматным препаратом в аналогичной дозе.

Литература.

1. Балабанов В. И. Обзор инновационных разработок для опрыскивания и внесения удобрений // *Агротехника и технологии*. 2019. № 2. С. 20–21.

2. *Modelling and prediction of organic carbon dynamics in arable soils based on a 62-year field experiment in the voronezh region, european russia* / I. Husniew, V. Romanenkov, P. Krasilnikov, et al. // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. No. 10. P. 1607. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/10/1607> (дата обращения 12.01.2022). doi: 10.3390/agronomy10101607.
3. *The Effect of Farmyard Manure and Mineral Fertilizers on Sugar Beet Beetroot and Top Yield and Soil Chemical Parameters* / L. Hlisnikovský, L. Menšík, K. Krížová, et al. // *Agronomy*. 2021. Vol. 11 (1). P. 133. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/01/0133> (дата обращения 12.01.2022). doi: 10.3390/agronomy11010133.
4. *Sugar Beet Agronomic Performance Evolution in NW Spain in Future Scenarios of Climate Change* / L. F. Sánchez-Sastre, N. M. S. Alte da Veiga, N. M. Ruiz-Potosme, et al. // *Agronomy* 2020. Vol. 10 (1). P. 91. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/01/0091> (дата обращения 12.01.2022). doi: 10.3390/agronomy10010091.
5. Косякин П. А. Влияние применения внекорневых подкормок и основной обработки почвы на содержание азота, фосфора и калия в растениях сахарной свёклы // *Инновационные направления научных исследований в земледелии и животноводстве как основа развития сельскохозяйственного производства*. Белгород: ООО «Константа», 2021. С. 43–46.
6. Leilah A. A. A., Khan N. *Interactive Effects of Gibberellic Acid and Nitrogen Fertilization on the Growth, Yield, and Quality of Sugar Beet* // *Agronomy*. 2021. Vol. 11 (1). P. 137. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/01/0137> (дата обращения 12.01.2022). doi: 10.3390/agronomy11010137.
7. Рамазанов Р. Р., Назаренко Д. Ю., Пожарский В. Г. Инновационный элемент в технологии выращивания сахарной свёклы // *Сахарная свёкла*. 2017. № 3. С. 20–21.
8. Дроздова В. В., Булдыкова И. А., Шеуджен А. Х. *Агрохимическая оценка применения макро- и микроудобрений при возделывании сахарной свёклы в Западном Предкавказье* // *Плодородие*. 2019. № 1 (106). С. 8–11.
9. Сушков М. Д. Минеральное питание и листовая подкормка сахарной свёклы – залог высокого урожая // *Сахарная свёкла*. 2016. № 2. С. 19–22.
10. Минакова О. А., Косякин П. А., Александрова Л. В. *Эффективность различных видов подкормки сахарной свёклы в ЦЧР* // *Сахар*. 2019. № 3. С. 52–55.
11. Шеуджен А. Х., Бондарева Т. Н., Кизинек С. В. *Агрохимические основы применения удобрений*. Майкоп: «Полиграф-Юг», 2013. 572 с.
12. Аристархов А. Н., Яковлева Т. А. *Агрохимическая и агроэкономическая эффективность применения борных удобрений разными способами под сахарную свёклу (*Beta vulgaris* L. var. *sacharifera* alef.)* // *Агрохимия*. 2019. № 2. С. 21–36.
13. Аканова Н. И., Визирская М. М. *Эффективные агрохимические средства повышения рентабельности растениеводства* // *Плодородие*. 2019. № 2 (107). С. 57–60.
14. Минакова О. А., Косякин П. А., Александрова Л. В. *Удобрение сахарной свёклы в Центрально-Черноземном районе РФ* // *Агрохимия*. 2022. № 1. С. 10–20.
15. *Микроудобрения на хелатной основе: опыт и перспективы использования* / Е. Ю. Гейгер, Л. Д. Варламова, В. В. Семёнов и др. // *Агрохимический вестник*. 2017. № 2. С. 29–32.
16. Путилина Л. Н., Косякин П. А., Лазутина Н. А. *Влияние микроудобрений в хелатной форме на технологическое качество и продуктивность сахарной свёклы в условиях ЦЧР* // *Сахар*. 2018. № 3. С. 42–45.
17. Жердецкий И. Н., Заришняк А. С., Ступенко А. В. *Влияние некорневой подкормки микроудобрениями на продуктивность сахарной свёклы и содержание в ней микроэлементов* // *Агрохимия*. 2010. № 10. С. 20–27.
18. Аристархов А. Н., Яковлева Т. А. *Эффективность некорневых подкормок бором посевов сахарной свёклы на основных типах почв* // *Плодородие*. 2018. № 4 (103). С. 12–15.
19. *Общая информация о серии удобрений «Здравентурбо» Ваше хозяйство* // URL: https://www.vhoz.ru/catalog/tovary_dlya_sada_i_ogoroda/obshchaya-informatsiya-o-serii-udobreniy-zdraven-turbo/ (дата обращения 12.01.2022 г.).
20. *Органоминеральное удобрение Биогурумус для овощей и томатов Сила жизни*. URL: <https://silazhizni.ru/hobby/biogumus-dlya-ovoshey-i-tomatov> (дата обращения 12.01.2022 г.).
21. *Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Часть II. Агрохимикаты*. Издание официальное. М.: Минсельхоз России, 2019. 51 с.
22. Доспехов Б. А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.
23. *Фотосинтетическая деятельность растений в посевах* / А. А. Ничипорович, Л. Е. Строганова, С. Н. Чмора и др. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 137 с.
24. Барштейн Л. А., Гизбуллин Н. Т. *Методика исследований на сахарной свёкле*. Киев: ВНИИСС, 1986. 262 с.
25. Вознесенская Т. Ю., Вережкина Т. М. *Влияние инновационных форм удобрений на нарастание листового аппарата и его фотосинтетическую деятельность* // *Плодородие*. 2018. № 6 (105). С. 9–12.
26. Пелагин Д. С., Мязин Н. Г. *Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и сахаристость корнеплодов сахарной свёклы на чернозёме выщелоченном* // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 12. № 2 (61). С. 13–21.
27. Ошкин В. А., Костин В. И., Смирнова Н. В. *Влияние некорневой подкормки на технологические качества корнеплодов* // *Вестник Ульяновской сельскохозяйственной академии*. 2016. № 1. С. 72–75.

Поступила в редакцию 17.03.2022
 После доработки 13.07.2022
 Принята к публикации 15.08.2022

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОДВЕРГШЕЙСЯ СКРЫТОЙ ДЕГРАДАЦИИ АГРОДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ УСКОРЕННОМ ВОСПРОИЗВОДСТВЕ ЕЁ ПЛОДРОДИЯ

А. И. Иванов^{1,2}, член-корреспондент РАН,
Ж. А. Иванова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, П. А. Филиппов¹

¹Агрофизический научно-исследовательский институт,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14
E-mail: office@agrophys.ru

²Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения – обособленное подразделение Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра РАН,
196608, Санкт-Петербург-Пушкин, ш. Подбельского, 7

Исследования проводили с целью изучения воздействия ускоренного окультуривания на комплекс свойств среднеокультуренной агродерново-подзолистой почвы и продуктивность севооборотов разной интенсивности. Работу выполняли в 2006–2018 гг. в Ленинградской области. Схема стационарного полевого опыта включала следующие варианты: окультуренность почвы (фактор А) – средняя, хорошая, высокая; уровень применения минеральных удобрений (фактор В) – средний (NPK 1 – 112 кг/га в полевом и 205 кг/га – в овощекормовом севообороте), повышенный (NPK 2 – 180 кг/га в полевом и 310 кг/га – в овощекормовом севообороте); севооборот (фактор С) – полевой, овощекормовой. При закладке опыта почва характеризовалась следующими показателями: рН_{KCl} – 5,6...6,4 ед., содержание органического вещества – 2,99...3,89 %, подвижных фосфатов и калия (по Кирсанову) – 296...434 и 229...720 мг/кг соответственно. Трансформацию свойств почвы изучали сравнительно-генетическим методом в серии почвенных разрезов. Вследствие интенсивного расширенного воспроизводства плодородия в хорошо- и высокоокультуренной почвах к окончанию опыта снижение плотности составляло 0,10 и 0,13 г/см³, повышение полевой влагоемкости – 3,8 и 5,9 %, доли агрономически ценных агрегатов – 13,5 и 23,6 %, величины рН_{KCl} – 0,55 и 0,58 ед., содержания углерода органического вещества – 0,42 и 0,52 %, подвижных соединений фосфора – 53 и 138, калия – 254 и 492 мг/кг соответственно. Прямым следствием комплексной оптимизации питательного режима супесчаной агродерново-подзолистой почвы стало увеличение продуктивности полевого и овощекормового севооборотов на 34...107 % к абсолютному контролю при рентабельности применения минеральных удобрений 85...284 %.

TRANSFORMATION SUBJECTED TO HIDDEN DEGRADATION AGROSOD-PODZOLIC SOIL UNDER ACCELERATED FERTILITY REPRODUCTION

Ivanov A. I.^{1,2}, Ivanova Zh. A.¹, Filippov P. A.¹

¹Agrophysical Research Institute,
195220, Sankt-Peterburg, Grazhdanskiy prosp., 14

²North-West Centre of Interdisciplinary Researches of Problems of Food Maintenance – Sankt-Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 196608, Sankt-Peterburg-Pushkin, sh. Podbel'skogo, 7

In order to study the impact of accelerated cultivation on the complex of properties of medium-cultivated agrosod-podzolic soil and the productivity of crop rotations of different intensity a stationary field experiment in the Menkov branch of the Agrophysical Institute in 2006...2018 was performed. The scheme included the following options: soil cultivation (factor A) – medium, good and high; the level of application of mineral fertilizers (factor B) – medium (NPK 1 – 112 kg ha⁻¹ in the field crop rotation and 205 kg ha⁻¹ in the vegetable feed crop rotation), increased (NPK 2 – 180 kg ha⁻¹ in the field crop rotation and 310 kg ha⁻¹ in the vegetable feed crop rotation); crop rotation (factor C) – field and vegetable feed. When laying down the experiment the soil of the plot had the following characteristics: the pH of K_{Cl} 5.6-6.4 units, the content of organic matter 2.99-3.89%, mobile phosphates and potassium (according to Kirsanov) 296-434 and 229-720 mg kg⁻¹, respectively. The transformation of soil properties was studied by a comparative genetic method in a series of soil sections. Due to intensive expanded reproduction of fertility of well- and highly cultivated soils, by the end of the experiment, the density reduction reached 0.10 and 0.13 g cm⁻³, an increase in field moisture capacity – 3.8 and 5.9%, the fraction of agronomically valuable aggregates – 13.5 and 23.6%, pH – 0.55 and 0.58 units, the carbon content of organic matter – 0.42 and 0.52 %, mobile phosphorus compounds – 53 and 138, mobile potassium compounds – 254 and 492 mg kg⁻¹, respectively. A direct consequence of the complex optimization of the nutrient regime of sandy loam agrosod-podzolic soil was an increase in the productivity of field and vegetable feed crop rotations by 34...107% to absolute control with the cost efficiency of the use of mineral fertilizers 85...284%.

Ключевые слова: агродерново-подзолистая почва, плодородие, окультуренность, минеральная система удобрения, эффективность

Key words: agrosod-podzolic soil, fertility, cultivation, mineral fertilizer system, efficiency

К концу 80-х гг. XX в. усилиями государства и земледельцев до 20 % площади пахотных дерново-подзолистых почв Северо-Западного региона было доведено до уровня хорошей окультуренности [1, 2]. Формирование таких почв, связанное с большими антропогенными затратами, было следствием существенной перестройки почвообразовательных процессов [2, 3, 4]. Уровень оптимизации отдельных почвенных свойств и режимов определялся при этом сочетание комплекса факторов: генетические особенности почвы и её буферность, специфика климатических условий и мелиоративного

воздействия, интенсивность систем земледелия, севооборотов и применения удобрений [4, 5, 6].

В условиях длительного экономического кризиса вследствие вынужденного отказа от надлежащего применения удобрений большая часть прежде хорошо окультуренных почв подверглась скрытой деградации в форме агроистощения [7, 8, 9], а их фонд сократился в 3 раза [2]. Причем, эффективное плодородие таких почв деградировало даже в состоянии залежи [10, 11, 12]. Негативную роль в этом направлении сыграли и последствия глобальных климатических изменений,

когда 10...15 %-ный прирост тепло- и влагообеспеченности в условиях региона стал фактором увеличения продуктивных и непродуктивных потерь минеральных элементов [13].

Как показали результаты длительных экспериментальных исследований, в интенсивных севооборотах с продуктивностью 6...9 тыс. зерн. ед./га на хорошо окультуренных дерново-подзолистых почвах при мелиоративном управлении их водным режимом сохранение оптимальных кондиций должно быть сферой пристального внимания, особенно, относительно кислотно-основного и калийного статуса [14, 15, 16]. На таком негативном фоне системы удобрения, наряду с мелиорацией, возвращают себе статус одного из главных системообразующих факторов современного адаптивного земледелия [17, 18, 19].

С необходимостью быстрого восстановления утраченного плодородия почв в последние годы в разной мере сталкиваются практически все сельскохозяйственные предприятия региона и, особенно, участники Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации [10, 12, 13]. Для практического решения этой задачи в ряде областей есть необходимая ресурсная база местных мелиорантов, органических и минеральных удобрений [20, 21, 22]. Однако комплексной оценки ускоренного воспроизводства плодородия ранее окультуренных, а сегодня слабо- и среднеокультуренных агродерново-подзолистых почв, не проводилось.

Цель исследования – изучение воздействия ускоренного окультуривания на основе интенсивного и гиперинтенсивного применения органических и минеральных удобрений на комплекс свойств среднеокультуренной агродерново-подзолистой почвы и продуктивность севооборотов разной интенсивности.

Методика. Методической базой исследования служил длительный полевой эксперимент, заложенный в Меньковском филиале АФИ в 2006–2018 гг. Опытное поле расположено на озёрно-ледниковой равнине с агродерново-слабоподзолистой супесчаной почвой, сформировавшейся на двучленных отложениях (мало-мощной морене, подстилаемой с глубины 112...125 см озерно-ледниковым песком). По данным агрохимического обследования 1990 г., в пределах пахотного слоя почва характеризовалась следующими показателями: pH_{KCl} – 6,8 ед., содержание органического вещества – 4,08 %, подвижных соединений фосфора и калия по Кирсанову – 490 и 327 мг/кг соответственно. К закладке опыта величины этих показателей уменьшились соответственно до 5,6 ед., 2,99 %, 296 и 229 мг/кг.

Ускоренное воспроизводство плодородия этой почвы до хорошей и высокой окультуренности осуществляли в трёхлетних уравнильных посевах однолетних трав (2003–2005 гг.) с внесением на 1 га соответственно 1 или 3 т доломитовой муки, 220 или 540 т подстилочного навоза КРС. В результате к 2006 г. содержание органического вещества в хорошо окультуренной почве достигло в среднем 3,54 %, P_2O_5 – 349 мг/кг, K_2O – 482 мг/кг, pH_{KCl} – 6,2, в высокоокультуренной – 3,89 %, 434 мг/кг, 720 мг/кг, 6,4 ед. соответственно.

На опытном поле были введены развернутые во времени полевой (ячмень – многолетние травы – озимая рожь – картофель – однолетние травы) и овощекормовой (картофель – озимая пшеница – люпин узколистный – свёкла столовая – капуста белокачанная – ячмень) севообороты. Для поддержания соответствующей степени окультуренности дополнительно однократно за ротацию

севооборотов вносили: в хорошо окультуренную почву 40 т/га навоза в первой ротации и 35 т/га птичьего помета во второй, в высокоокультуренную – 80 и 70 т/га соответственно.

Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: окультуренность почвы (фактор А) – средняя, хорошая, высокая; уровень применения минеральных удобрений (фактор В) – средний (NPK 1 – 112 кг/га в полевом и 205 кг/га – в овощекормовом севообороте), повышенный (NPK 2 – 180 кг/га в полевом и 310 кг/га – в овощекормовом севообороте); севооборот (фактор С) – полевой, овощекормовой. Конкретные по культурам дозы удобрений устанавливали с учетом потребности в питательных веществах и планируемой аккумуляции в урожае приходящей на поверхность фотосинтетически активной радиации на уровне от 1,5...2,0 до 3,5...4,0 %.

Трансформацию почвообразовательных процессов при воспроизводстве плодородия деградированной дерново-подзолистой почвы изучали сравнительно-генетическим методом путём закладки почвенных разрезов на глубину 160 см. Определяли морфологические, агрофизические и агрохимические свойства почвы по генетическим горизонтам стандартизованными и общепринятыми методами [23, 24, 25]. Почвенные образцы отбирали из пяти точек центральной части каждого генетического горизонта, из пахотного слоя – тростьевым буром в радиусе 5 м от разреза.

Полевой эксперимент выполняли в трёхкратной повторности. Общая площадь делянки – 200 м². Учёт урожая – сплошной весовой. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием программного пакета Statistica 7.0. Достоверность различий оценивали по критерию Фишера. Результаты анализов почвенных образцов представлены средним значением и доверительным интервалом к нему в виде удвоенного стандартного отклонения [24].

Результаты и обсуждение. Одним из наиболее информативных методов контроля за почвообразовательными процессами выступает изучение морфологического строения почвенного профиля. Перед закладкой опыта в 2006 г. генетический профиль изучаемой почвы был представлен горизонтами: А_п – 0...22 см, А₁А₂ – 22...32 см, А₂В – 32...43 см, В – 43...91 см, ВС – 91...125 см, D – 125...160 см.

За 12 лет эксперимента в варианте абсолютного контроля пахотный горизонт среднеокультуренной почвы полевой севооборота заметно осветлился вследствие малого поступления исходных гумусообразователей, в нём появились признаки элювирования в форме припаханной жёлто-палевой присыпки. Прежний переходный горизонт А₁А₂ уже не диагностировался, на 7...8 см уменьшилась мощность горизонта А₂В. На фоне средних и повышенных доз минеральных удобрений, то есть превосходящей контрольный вариант массы послеуборочных растительных остатков морфологические свойства почвы аккумулятивно-элювиальных горизонтов не претерпели ощутимых изменений (см. рисунок).

Наиболее существенные позитивные изменения в строении почвенного профиля были обусловлены применением очень высоких доз органического удобрения на фоне поддерживающего известкования (хорошо- и высокоокультуренные почвы). Пахотный горизонт приобрёл более тёмную окраску, улучшилось его структурное состояние. Нижняя граница аккумулятивно-элювиальных горизонтов этих почв в обоих севооборотах опустилась на 13...16 см, уменьшилась плотность их сложения. У высокоокультуренной почвы отмечены затёки органического вещества в горизонт А₂В.

Глубина, см	Среднеокультуренная			Хорошо окультуренная			Высокоокультуренная		
	НПК 0 (Разрез 1 П)	НПК 1 (Разрез 2 П)	НПК 2 (Разрез 3 П)	НПК 0 (Разрез 4 П)	НПК 1 (Разрез 5 П)	НПК 2 (Разрез 6 П)	НПК 0 (Разрез 7 П)	НПК 1 (Разрез 8 П)	НПК 2 (Разрез 9 П)
10	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}
20									
30	A ₂ B	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁	A ₁	A ₁	A ₁	A ₁	A ₁
40		A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B
50									
60	B	B	B	Bg	B	B	B	B	B
70									
80									
90									
100	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
110									
120	D	D	D	D	D	D	D	D	D
130									
140									
150									
160									

а)

Глубина, см	Среднеокультуренная			Хорошо окультуренная			Высокоокультуренная		
	НПК 0 (Разрез 1 ОК)	НПК 1 (Разрез 2 ОК)	НПК 2 (Разрез 3 ОК)	НПК 0 (Разрез 4 ОК)	НПК 1 (Разрез 5 ОК)	НПК 2 (Разрез 6 ОК)	НПК 0 (Разрез 7 ОК)	НПК 1 (Разрез 8 ОК)	НПК 2 (Разрез 9 ОК)
10	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}	A _{пах}
20									
30	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁ A ₂
40	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B	A ₂ B
50									
60	B	B	B	B	B	B	B	B	B
70									
80									
90									
100	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
110									
120	D	D	D	D	D	D	BC	BC	BC
130									
140							D	D	D
150									
160									

б)

Строение профиля почв в севообороте в 2018 г.: а) полевой; б) овощекормовой.

Положительное значение имело возделывание в полевом севообороте многолетних и однолетних трав. На их фоне, при менее интенсивной обработке почвы, на месте переходного A₁A₂ сформировался гумусовый горизонт A₁. В условиях овощекормового севооборота с его более интенсивной обработкой почвы и системой удобрения этого не отмечали. Напротив, почвенный профиль, особенно на фоне повышенных доз минеральных удобрений, сильнее подвергался процессам элювирования, вследствие чего суммарная мощность горизонтов A₁A₂ и A₂B возрастала в 2 раза и более.

Минеральные удобрения в составе комплекса мероприятий по воспроизводству плодородия подвергшейся в прошлом деградации дерново-подзолистой почвы играли двоякую роль. С одной стороны, они способ-

ствовали большому накоплению в почве исходных гумусообразователей, чем стимулировали дерновый процесс почвообразования. С другой, становились одним из факторов усиления выветривания минералов и вертикальной миграции веществ.

Трансформация почвообразовательных процессов под влиянием мероприятий по воспроизводству почвенного плодородия выразилась разной степенью изменения агрофизических и агрохимических свойств почвы, имеющих решающее значение для эффективности земледелия. И относительно этих свойств положительные изменения также определялись в большей степени применением высоких доз органических удобрений в сочетании с поддерживающим известкованием.

Табл. 1. Агрофизическое состояние Апах в 2018 г. (среднее по типу севооборота, окультуренности почвы и системе удобрения)

Вариант	ρ_b , г/см ³	$V_{\text{общ}}$, %	НВ, %	Агрегаты 0,25...10 мм, %	$K_{\text{стр}}$	Водопрочность, %	$K_{\text{вп}}$
Полевой*	1,26±0,02	51,5±0,5	25,7±0,5	63,2±1,4	1,7	40,8±0,7	0,69
Овощекормовой*	1,30±0,01	50,1±0,4	24,2±0,5	60,8±1,1	1,5	32,7±0,7	0,49
Средняя**	1,36±0,01	48,7±0,5	21,7±0,5	48,4±0,9	0,9	23,8±0,5	0,31
Хорошая**	1,26±0,02	51,7±0,5	25,5±0,6	61,9±1,2	1,6	39,5±0,8	0,65
Высокая**	1,23±0,02	52,0±0,5	27,6±0,7	72,0±1,0	2,5	47,1±0,8	0,89
Без НРК***	1,29±0,02	50,5±0,5	24,9±0,5	60,3±1,2	1,7	36,7±0,7	0,58
НРК1***	1,27±0,01	51,1±0,3	25,2±0,6	62,8±1,2	1,8	36,8±0,8	0,58
НРК2***	1,29±0,02	50,7±0,4	24,8±0,5	62,9±1,3	1,9	36,8±0,8	0,58

*тип севооборота, **окультуренность почвы, ***вариант системы удобрения; ρ_b – плотность почвы, $V_{\text{общ}}$ – общая пористость, НВ – наименьшая влагоемкость, $K_{\text{стр}}$ – коэффициент структурности, $K_{\text{вп}}$ – коэффициент водопрочности агрономически ценных агрегатов.

К окончанию второй ротации севооборотов преимущество хорошо- и высокоокультуренной почв над среднеокультуренной (в пределах пахотного слоя) составляло по величине плотности (ρ_b) – 0,10 и 0,13 г/см³ (уменьшение), общей пористости ($V_{\text{общ}}$) – 3,0 и 3,3 %, наименьшей влагоемкости (НВ) – 3,8 и 5,9 %. Это позволило увеличить потенциальный запас доступной растениям влаги на 87 и 123 т/га соответственно (табл. 1).

Под действием окультуривания оптимизировалось и исходно неблагоприятное непрочное комковато-поршистое состояние почвы опыта. Оно в сочетании с посевом трав позволило сформировать хороший уровень оструктуренности комковато-зернистой формы при удовлетворительной водопрочности. Превосходство хорошо- и высокоокультуренной почв перед среднеокультуренной достигло: по доле агрономически ценных агрегатов – 28 и 49 %, по коэффициенту структурности ($K_{\text{стр}}$) – 78 и 178 %, по водопрочности агрегатов – 66 и 98 %, по критерию водопрочности ($K_{\text{вп}}$) – 110 и 187 % соответственно.

Дифференциация агрофизических свойств по типам севооборотов происходила, главным образом под действием двух факторов: положительного эффекта от посева трав в полевом и негативного – от интенсивной обработки почвы в овощекормовом севообороте. В результате относительный разрыв в величине показателей достиг: по плотности почвы – 6 %, по общей пористости – 3 %, по наименьшей влагоемкости – 6 %, по коэффициенту структурности – 13 %, водопрочности агрегатов – 25 % и критерию их водопрочности – 41 %.

Действие минеральных удобрений на агрофизические свойства почвы было чаще несущественным. Стимулируя рост корней и приход пожнивно-корневых остатков, они способствовали некоторому увеличению оструктуренности почвы в Апах и водопрочности агрегатов – в подпахотном слое.

Агрохимические свойства среднеокультуренной почвы на фоне отрицательного баланса органического вещества и питательных элементов значительно ухуд-

Табл. 2. Влияние средств воспроизводства плодородия на агрохимические свойства почвы

Вариант	Год	Агрохимические свойства почвы (Апах.) по севооборотам							
		полевой				овощекормовой			
		$C_{\text{орг}}$, %	P_2O_5 мг/кг	K_2O мг/кг	pH_{KCl}	$C_{\text{орг}}$, %	P_2O_5 мг/кг	K_2O мг/кг	pH_{KCl}
Среднеокультуренная почва									
–	2006	1,69±0,02	287±12	223±12	5,60±0,07	1,77±0,02	305±17	233±12	5,62±0,08
НРК 0	2018	1,40±0,02	176±14	48±4	5,18±0,07	1,39±0,02	137±10	57±4	5,16±0,07
НРК 1	2018	1,43±0,03	188±12	61±4	5,11±0,06	1,31±0,03	175±12	107±8	5,10±0,08
НРК 2	2018	1,50±0,03	185±15	68±5	5,14±0,07	1,38±0,03	222±18	126±8	5,02±0,06
Хорошо окультуренная почва									
–	2006	1,93±0,02	330±20	450±23	6,15±0,08	2,37±0,04	368±19	514±31	6,26±0,07
НРК 0	2018	1,95±0,03	352±21	179±16	6,06±0,09	2,01±0,03	413±23	194±16	5,87±0,08
НРК 1	2018	2,04±0,03	371±19	192±13	6,15±0,07	2,17±0,03	409±23	207±14	5,92±0,09
НРК 2	2018	2,06±0,03	353±22	196±11	6,02±0,09	2,15±0,03	402±20	218±16	5,90±0,09
Высокоокультуренная почва									
–	2006	2,15±0,04	420±26	630±31	6,18±0,07	2,36±0,05	447±21	810±52	6,53±0,08
НРК 0	2018	2,46±0,04	405±21	278±20	6,41±0,09	2,35±0,05	446±18	381±25	6,22±0,08
НРК 1	2018	2,57±0,05	387±21	256±25	6,32±0,08	2,41±0,05	410±17	338±20	6,14±0,07
НРК 2	2018	2,60±0,05	428±23	298±24	6,35±0,09	2,47±0,04	427±21	382±25	6,05±0,09

шились во всех вариантах опыта. В частности, величина pH_{KCl} снизилась в среднем на 0,49 ед., или по 0,041 ед. за год (табл. 2). Содержание углерода органического вещества уменьшилось на 0,33 %, подвижных соединений фосфора и калия – на 115 и 150 мг/кг. Среднегодовые потери составили 0,028 %, 9,6 и 12,5 мг/кг соответственно. Минеральные удобрения и в средних, и в повышенных дозах практически не повлияли на скорость подкисления почвы, но замедлили деградацию её фосфатного и калийного состояния.

Изменение свойств хорошо- и высокоокультуренной почв определялось степенью возмещения продуктивных и непродуктивных потерь элементов питания внесением за эти годы 75 и 150 т/га органических удобрений в сочетании (в соответствующих вариантах опыта) со средними или повышенными дозами минеральных удобрений. Естественно, что при меньшем выносе NPK и Ca культурами полевого севооборота удавалось предотвратить ухудшение агрохимических свойств и хорошо окультуренной почвы (за исключением обеспеченности калием), но в условиях овощного севооборота это оказалось невозможным по большинству показателей. Особенно значительно снижались величины pH_{KCl} (с 6,26...6,53 до 5,87...6,22 и содержания подвижного калия (с 514...810 до 194...382 мг/кг).

На среднеокультуренной почве продуктивный потенциал полевого и овощекормового севооборотов за вторую ротацию (2012–2017 гг.) оказался практически одинаковым – 24 тыс. зерн. ед./га за ротацию (табл. 3). Мероприятиями предварительного окультуривания почвы его удалось повысить на 34...47 и 65...85 % соответственно. Максимальным откликом на окультуривание почвы отзывались овощные культуры (особенно капуста белокочанная), средним – картофель, озимые зерновые и однолетние травы, минимальным – яровые зерновые и многолетние травы. В определённой степени это касается и отзывчивости на минеральные удобрения, повышение доз которых со средних до повышенных было оправданным с позиций и агрономической, и энергетической, и экономической эффективности на хорошо окультуренной почве овощекормового севооборота. В большинстве же вариантов опыта увеличения доз минеральных удобрений выше среднего уровня хотя и сопровождалось дополнительной прибавкой продук-

тивности, но несколько уменьшало их экономическую эффективность.

По величине коэффициента полезного действия фотосинтетически активной радиации культуры полевого севооборота не уступали таковым в овощекормовом севообороте (средние по вариантам опыта величины – 2,93 и 2,88 % соответственно). Окультуривание почвы до хорошей и высокой степени позволило увеличить КПД ФАР на 26 и 48 % у культур полевого и на 64 и 83 % – овощекормового севооборота. Существенный энергетический эффект обеспечивало и применение минеральных удобрений, повысив КПД ФАР на 18...24 % в полевом и на 14...20 % – в овощекормовом севообороте.

Таким образом, ускоренное расширенное воспроизводство плодородия подвергшейся деградационному процессу прежде хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы на базе высоких доз органического удобрения и поддерживающего известкования с последующим использованием её в полевом и овощекормовом севооборотах на фоне средних и повышенных доз минеральных удобрений сопровождалось ощутимой трансформацией почвообразовательных процессов и свойств этой почвы. Основными факторами активизации гумусообразования стали увеличение прихода в почву исходных гумусообразователей в составе органических веществ навоза и возрастающего под влиянием удобрений количества пожнивно- и поукоснокорневых остатков. В то же время повышенные дозы минеральных удобрений усиливали элювиальные процессы, особенно в условиях овощекормового севооборота. За 12 лет эксперимента вследствие доведения исходной почвы до состояния хорошей и высокой окультуренности, регистрировалось улучшение агрофизических (снижение плотности почвы на 0,10 и 0,13 г/см³, повышение полевой влагоемкости на 3,8 и 5,9 %, доли агрономически ценных агрегатов – на 13,5 и 23,6 %) и агрохимических (увеличение pH_{KCl} на 0,55 и 0,58 ед., содержания углерода органического вещества на 0,42 и 0,52 %, подвижных соединений фосфора и калия – на 53 и 138 и 254 и 492 мг/кг) свойств агродерново-подзолистой почвы.

В конечном счёте это окупалось значительным повышением продуктивности севооборотов (на 34...85 % от окультуривания почвы и на 52...107 % – от его сочетания с полным минеральным удобрением) при

Табл. 3. Эффективность средств воспроизводства плодородия почвы в условиях полевого и овощекормового севооборотов

Вариант		Полевой севооборот			Овощекормовой севооборот		
ОП* (фактор А)	МСУ** (фактор В)	продуктивность, тыс. зерн.ед./га	КПД ФАР, %	рентабель- ность, %	продуктивность, тыс. зерн.ед./га	КПД ФАР, %	рентабель- ность, %
Средняя	НРК 0	24,05	2,04	–	24,42	1,74	–
	НРК 1	33,62	2,84	232	31,30	2,21	183
	НРК 2	36,38	3,06	186	31,76	2,26	92
Хорошая	НРК 0	32,20	2,74	–	40,41	2,85	–
	НРК 1	36,67	3,06	174	45,27	3,20	228
	НРК 2	39,67	3,32	142	48,96	3,47	284
Высокая	НРК 0	35,39	3,01	–	45,27	3,19	–
	НРК 1	39,54	3,34	85	48,95	3,46	224
	НРК 2	41,83	3,54	109	50,67	3,57	193
НСР ₀₅ фактор А		2,22			2,97		
фактор В		2,84			3,80		

*окультуренность почвы
**минеральная система удобрения

высокой энергетической и экономической эффективности. Но сохранение искусственно сформированного уровня плодородия хорошо и высокоокультуренных почв связано со значительными затратами на формирование бездефицитного баланса органического вещества и питательных элементов. В условиях овощекормового севооборота даже при среднегодовом внесении на 1 га хорошо окультуренной почвы 6,3 т органических и 205...310 кг д.в. минеральных удобрений стабилизировались только подвижные фосфаты, а высокоокультуренной – 12,5 т органических и 205...310 кг д.в. минеральных удобрений – только органическое вещество почвы. В зоне особенного внимания у этих почв по-прежнему должны оставаться параметры их кислотно-основного и калийного состояния.

Литература

1. *Научные основы и технология использования удобрений и извести* / А. Н. Небольсин, З. П. Небольсина, Л. В. Яковлева и др. / под ред. акад. РАСХН Семенова В. А. СПб.: Изд. СпбГУ, 1997. 52 с.
2. Ivanov A. I., Ivanova Z. A., Konashekov A. A. *Environmental Landscape Conditions of the Russian Northwest, the Fertility of Sod-Podsolic Soils and the Efficiency of Precise Fertilizer Systems: Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes* // Springer Nature Switzerland AG, 2021. Chapter 15. P. 349–372.
3. *Активность микроорганизмов дерново-подзолистой почвы в различных агроэкосистемах* / Н. С. Матюк, В. Д. Полин, В. А. Шевченко и др. // *Плодородие*. 2020. № 2 (113). С. 61–64.
4. Иванов И. А., Иванов А. И., Цыганова Н. А. *Изменение свойств подзолистых и дерново-подзолистых почв на песчаных породах при окультуривании* // *Почвоведение*. 2004. № 4. С. 489–499.
5. Шевченко В. А., Соловьев А. М., Попова Н. П. *Теоретические и практические аспекты влияния разнотравных приемов обработки почвы и севооборотов, в том числе биологизированных, на показатели почвенного плодородия мелиорированных земель Нечерноземной зоны*. М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2019. 182 с.
6. Сычев В. Г. *Влияние длительного применения минеральных и органических удобрений на основные показатели различных типов почв* // *Плодородие*. 2021. № 4 (121). С. 3–5.
7. Шафран С. А. *Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны* // *Агрохимия*. 2016. № 8. С. 3–10.
8. Сычёв В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. *Плодородие почв России и пути его регулирования* // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 3–13.
9. Кирейчева Л. В., Шевченко В. А. *Состояние пахотных земель Нечерноземной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв* // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020. № 2. С. 12–16.
10. Соколов И. В. *Освоение запущенных земель в Ленинградской области: проблема не одна* // *Агрофизика*. 2020. № 2. С. 27–33.
11. Литвинович А. В., Лаврищев А. В., Буре В. М. *Агрогенная эволюция дерново-подзолистой глееватой глинистой почвы (Albic Retisols) с регулируемым водно-воздушным режимом* // *Агрохимия*. 2021. № 7. С. 13–26.
12. Шевченко В. А. *Современное состояние выбывших из оборота мелиорированных земель и перспективы их освоения*. М.: ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова, 2021. 410 с.
13. *Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечерноземной зоны Российской Федерации до 2030 года (версия 2.0)* / Отв. ред. С. Г. Митин, А. Л. Иванов. М.: Почвенный институт имени В. В. Докучаева, 2021. 400 с.
14. *Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья* / А. И. Иванов, А. А. Вязовский, А. А. Конашенков и др. // *Агрохимический вестник*. 2019. № 6. С. 3–9.
15. Сычев В. Г., Никитина Л. В. *Калийный режим суглинистых дерново-подзолистых почв* // *Таврический вестник аграрной науки*. 2021. № 2 (26). С. 233–243.
16. Бородычев В. В., Шевченко В. А., Соловьев А. М. *Динамика содержания обменного калия при освоении залежных земель в зависимости от системы удобрения и предшественников* // *Плодородие*. 2021. № 3 (120). С. 84–88.
17. Кирюшин В. И. *Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования* // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т.30. № 3. С. 19–25.
18. Кирюшин В. И. *Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия* // *Почвоведение*. 2019. № 9. С. 1130–1139.
19. *Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов географической сети России* / В. Г. Сычев, А. Н. Налиухин, Л. К. Шевцова и др. // *Почвоведение*. 2020. № 12. С. 1521–1536.
20. *Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помета* / под общ. ред. А. И. Иванова и В. В. Лапы. СПб.: ФГБНУ АФИ, 2018. 317 с.
21. Дубенок Н. Н., Шевченко В. А., Соловьев А. М. *Использование органических отходов животноводческих комплексов при восстановлении плодородия малопродуктивных земель Нечерноземной зоны* // *Плодородие*. 2021. № 3 (120). С. 99–103.
22. Кирюшин В. И. *Актуальные проблемы и противоречия развития земледелия* // *Земледелие*. 2019. № 3. С. 3–7.
23. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. *Методы исследования физических свойств почв*. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
24. *Практикум по агрохимии* / под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. М.: Изд. МГУ, 2001. 689 с.
25. Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Байбеков Р. Ф. *Практикум по почвоведению*. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.

Поступила в редакцию 31.05.2022
 После доработки 06.07.2022
 Принята к публикации 29.08.2022

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРАДИЦИОННЫХ И НОВЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ**Г. Е. Мерзлая**, доктор сельскохозяйственных наук

*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии
им. Д. Н. Прянишникова,
127434, Москва, ул. Прянишникова, 31 а
E-mail: lab.organic@mail.ru*

Исследования проводили с целью определения сравнительной агроэкологической эффективности действия и длительного последствия компостов из осадков сточных вод и подстилочного навоза в разных дозах при возделывании многолетних трав. Работу выполняли в длительном микрополевым опыте в Московской области. В опыте высевали ежу сборную под покров ярового ячменя. Схема опыта включала следующие варианты: без удобрений (контроль), компост 1 в дозе 10 т/га сухого вещества, компост 1 в дозе 35 т/га, компост 2 в дозе 10 т/га, компост 2 в дозе 35 т/га, навоз в дозе 10 т/га, навоз в дозе 35 т/га сухого вещества. Компосты приготовлены из осадка сточных вод Курьяновской станции аэрации: компост 1 – из осадка с фильтр-прессов, компост 2 – из осадка с иловых площадок. Содержание тяжелых металлов в компосте 2 было в 2 раза больше, чем в компосте 1, и в 10 раз выше, чем в подстилочном навозе. Все удобрения вносили перед посевом культур в 2000 г., затем в течение 22 лет испытывали их последствие. Наибольший в опыте эффект отмечен при использовании менее загрязненного компоста в повышенной дозе (35 т/га сухого вещества), от которой прибавка урожая, по отношению к контролю, составляла 41 %. От применения подстилочного навоза в зависимости от дозы внесения прибавки варьировали от 28 до 73 %. По накоплению тяжелых металлов в почве и в сухой массе многолетних трав четких зависимостей от видов и доз внесенных удобрений не отмечали. При этом содержание кадмия, никеля и свинца в растительных и почвенных пробах не выходило за пределы допустимых значений.

AGROECOLOGICAL EFFICIENCY OF TRADITIONAL AND NEW ORGANIC FERTILIZERS**G. E. Merzlaya**

*Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry,
127434, Moskva, ul. Pryanishnikova, 31 a
E-mail: lab.organic@mail.ru*

Due to the acute shortage of organic fertilizers, the use of which in Russia in recent years does not exceed 15...18% of the demand, the use of unconventional sources of organic raw materials, in particular urban waste in the form of sewage sludge, is of great importance. Due to the poor knowledge of the effects of sewage sludge and products based on them in the soil-plant system, research in this direction is relevant. The purpose of the research is to establish the comparative agroecological effectiveness of the action and long-term aftereffect of compost from sewage sludge. Moscow and litter manure in different doses when cultivating perennial grasses. The research was carried out in a long-term micro-field experiment, laid down by the D.N. Pryanishnikov Institute of Agrochemistry in the Moscow region (Barybino village). In the experiment, a hedgehog team was sown under the cover of spring barley. The scheme of the experiment included the following options: 1 - control without fertilizers, 2 – compost 1 at a dose of 10 t/ha, 3 - compost 1 at a dose of 35 t/ha, 4 – compost 2 at a dose of 10 t/ha, 5 – compost 2 at a dose of 35 t/ha, 6 - manure at a dose of 10 t/ha, 7 – manure at a dose of 35 t/ha. Compost is prepared from sewage sludge from the Kuryanovskaya aeration station: compost 1 from sludge from filter presses, compost-2 from sludge from silt pads. Compost 2 was characterized by a higher content of heavy metals, the total amount of which in it was 2 times higher than in compost 1 and 10 times higher than in litter manure. All fertilizers were introduced before sowing crops in 2000, then their aftereffect was tested for 22 years. The doses of all organic fertilizers are given in dry weight. According to the results of long-term studies, when comparing two types of compost, to varying degrees contaminated with heavy metals, the greatest effect was achieved from less polluted compost, that is, produced from fresh sludge from filter presses at an increased dose of 35 t/ha of dry matter, from which the increase in control was 41%. From the use of litter manure, depending on the dose of application, the increments varied from 28 to 73%. According to the accumulation of heavy metals in the soil and in the dry mass of perennial grasses, there were no clear dependencies on the types and doses of fertilizers applied. At the same time, the content of cadmium, nickel and lead in plant and soil samples did not exceed the permissible values.

Ключевые слова: компосты на основе осадков сточных вод, подстилочный навоз, дерново-подзолистая почва, агрохимические и санитарно-гигиенические свойства, тяжелые металлы, урожайность, качество растительной продукции.

Key words: compost based on sewage sludge, litter manure, sod-podzolic soil, agrochemical and biological properties, heavy metals, yield, quality of plant products.

С развитием городского строительства обостряется проблема утилизации отходов в виде осадков сточных вод, постоянно образующихся на канализационных очистных сооружениях. Согласно расчетам, в России ежегодные их объемы превышают 3 млн т сухого вещества, из которых в сельском хозяйстве используют не более 5...7 % [1]. В то же время осадки сточных вод и продукты на их основе, в том числе изготовленные с применением методов ферментации, обладают высокой удобрительной ценностью и могут служить важным источником питательных веществ для растений. Широ-

кое использование осадков в агрикультуре сдерживает возможное наличие повышенных количеств тяжелых металлов или других загрязнителей [2, 3, 4], а также недостаточная изученность действия и последствия различных видов осадков в системе почва–растение [5, 6]. В то же время отечественный и зарубежный опыт свидетельствует, что наиболее целесообразный метод использования осадков – внесение на поля для выращивания различных культур [7, 8, 9]. Важно также отметить, что необходимость сельскохозяйственного применения городских отходов, прежде всего осадков

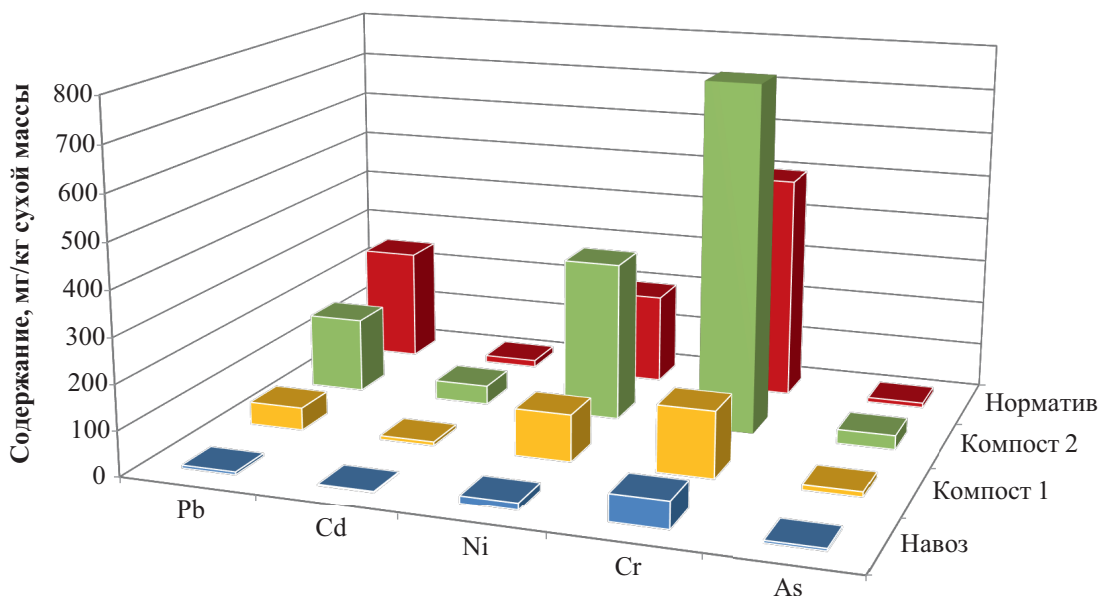


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов и мышьяка в органических удобрениях.

сточных вод, отражена в «Международном кодексе поведения в области устойчивого использования удобрений и управления ими», одобренном ФАО в 2019 г. [10], согласно которому они отнесены к потенциальным источникам питательных веществ из повторно используемых и вторично переработанных материалов. В связи с этим указывается на целесообразность развития инноваций и выделения ресурсов на разработку технологий безопасного использования таких отходов в качестве удобрений.

Цель исследования – оценка агроэкологической эффективности осадков сточных вод и удобрений на их основе.

Методика. Работу проводили в 2000–2021 гг. в условиях Московской области (п. Барыбино) в длительном полевом опыте, в котором изучали влияние на агрофитоценозы злаковых трав двух компостов из осадков сточных вод г. Москвы различных сроков хранения. Компост 1 готовили из сброженного осадка, который поступал непосредственно с фильтр-прессов Курьяновской станции аэрации, компост 2 – из осадка после 10 лет размещения на иловых площадках. В компостную массу в обоих случаях добавляли древесные опилки в количестве 10 % сухого вещества. В схему опыта, наряду с указанными двумя видами компостов, для сравнения эффективности нетрадиционных удобрений были введены варианты с двумя дозами подстилочного навоза, поступающего с фермы крупного рогатого скота. Все органические удобрения в опыте вносили в дозах 10 и 35 т/га в расчете на сухое вещество. В подстилочном навозе содержалось (на сухую массу) 70 % органического вещества, 2,7 % общего азота, 2,4 % фосфора (P_2O_5), 2,1 % калия (K_2O) при pH_{KCl} 7,0 ед. Компосты из осадков различных сроков хранения отличались высокой удобрительной ценностью, содержали 48...52 % органического вещества, 2,0...2,1 % общего азота, имели нейтральную реакцию среды. В сравнении с навозом компосты характеризовались меньшим содержанием органического вещества, азота и калия, но значительно превосходили его по содержанию фосфора. В то же время компост из осадка с иловых площадок (компост 2) был загрязнен цинком и кадмием, содержание которых соответственно на 31 и 49 % превышало допустимые концентрации.

Общее количество тяжелых металлов в этом компосте было в 2 раза больше, чем в компосте 1, и в 10 раз выше, по сравнению с подстилочным навозом (рис. 1).

Почва дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, в слое 0...20 см содержала 0,8 % органического углерода, 118 и 119 мг/кг соответственно подвижного P_2O_5 и K_2O (по Кирсанову) при pH_{KCl} 4,6 ед.

При закладке опыта в 2000 г. была высеяна ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) ВИК 61 под покров ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) Зазерский 85. Все органические удобрения внесли в почву в 2000 г., в последующие годы изучали их последствие. Опыт микрополевой, заложен в сосудах без дна размером 0,25 м² (0,5 × 0,5 м). Повторность в опыте трехкратная. Расположение вариантов рендомизированное.

Исследования выполняли общепринятыми методами [11]. Математическую обработку опытных данных проводили методом дисперсионного анализа с использованием компьютерной программы STRAZ.

Результаты и обсуждение. По данным 22-летних исследований, применение компостов из осадков сточных вод обоих видов в высоких дозах (35 т/га сухого вещества) достоверно повышало урожайность многолетних трав, по сравнению с контролем без внесения удобрений (табл. 1). Навоз обеспечивал максимальный в опыте

Табл. 1. Влияние компостов на основе осадков сточных вод и подстилочного навоза на урожайность многолетних трав (среднее за 2000–2021 гг.)

Вариант	Урожайность, корм. ед./м ²	Прибавка, %
Контроль	121	-
Компост 1, 10 т/га	135	12
Компост 1, 35 т/га	171	41
Компост 2, 10 т/га	141	17
Компост 2, 35 т/га	161	33
Навоз, 10 т/га	155	28
Навоз, 35 т/га	209	73
HCP_{05}	23	

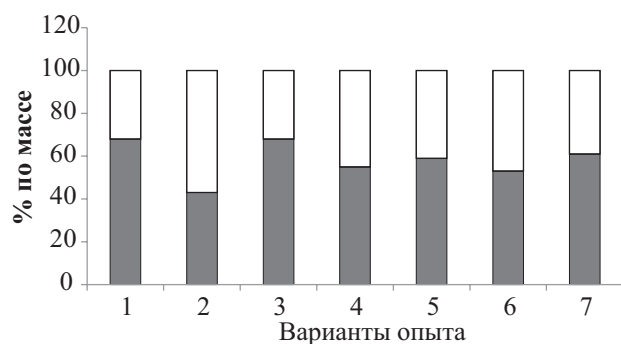


Рис. 2. Ботанический состав травостоев в зависимости от видов и доз органических удобрений (2021 г.): 1 – контроль; 2 – компост 1, 10 т/га; 3 – компост 1, 35 т/га; 4 – компост 2, 10 т/га; 5 – компост 2, 35 т/га; 6 – навоз, 10 т/га; 7 – навоз, 35 т/га: □ – разнотравье; ■ – злаки.

прирост урожая трав в варианте с высокой дозой – 35 т/га. То есть, применение повышенных доз как компостов из осадков, так и традиционного подстилочного навоза при возделывании многолетних трав характеризовалось достоверным и длительным последствием. При сравнении двух компостов более высокий эффект был отмечен от менее загрязненного тяжелыми металлами компоста, производимого из свежего осадка, в варианте с повышенной дозой, в котором прибавка к контролю составляла 41 %.

При изучении динамики ботанического состава травостоев установлено (рис. 2), что на 22-й год опыта в агрофитоценозах хорошо развивались злаковые растения. Это заметно и в контроле без внесения удобрений (содержание злаков 68 %), и в вариантах с высокими дозами компостов (59...68 %).

Злаковый компонент состоял в основном из дикорастущих видов – мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), полевицы обыкновенной (*Agrostis tenuis* Sibth.), а также

Табл. 2. Динамика агрохимических свойств почвы в зависимости от вида и доз органических удобрений*

Вариант	2000 г., действие	Годы последствия			
		2001	2005	2010	2018
Гумус, %С					
Контроль	0,75	0,72	0,69	0,99	0,70
Компост 1, 10 т/га	0,75	0,69	0,64	0,92	0,80
Компост 1, 35 т/га	0,79	0,89	0,98	0,95	0,70
Компост 2, 10 т/га	0,71	0,69	0,69	0,86	0,80
Компост 2, 35 т/га	0,79	0,89	0,81	0,89	0,70
Навоз, 10 т/га	0,77	0,86	0,92	0,91	0,80
Навоз, 35 т/га	0,88	0,95	0,98	1,02	0,80
НСР ₀₅			0,08		
Подвижный фосфор (P₂O₅), мг/кг					
Контроль	110	110	111	105	107
Компост 1, 10 т/га	180	125	110	152	133
Компост 1, 35 т/га	320	300	310	370	207
Компост 2, 10 т/га	160	140	90	148	117
Компост 2, 35 т/га	220	240	260	277	239
Навоз, 10 т/га	130	110	90	95	114
Навоз, 35 т/га	270	220	180	168	152
НСР ₀₅			24		
Подвижный калий (K₂O), мг/кг					
Контроль	96	96	55	92	109
Компост 1, 10 т/га	101	99	39	98	113
Компост 1, 35 т/га	90	102	39	98	104
Компост 2, 10 т/га	95	96	35	99	109
Компост 2, 35 т/га	99	100	42	100	115
Навоз, 10 т/га	109	115	50	100	103
Навоз, 35 т/га	120	109	98	118	121
НСР ₀₅			12		
pH_{KCl}					
Контроль	3,8	3,9	3,9	4,2	3,9
Компост 1, 10 т/га	3,8	4,1	4,4	4,3	4,0
Компост 1, 35 т/га	4,2	4,5	4,8	4,5	4,0
Компост 2, 10 т/га	3,9	4,0	4,3	4,2	4,0
Компост 2, 35 т/га	4,1	4,5	4,5	4,4	4,0
Навоз, 10 т/га	4,5	4,6	4,7	4,5	4,0
Навоз, 35 т/га	4,5	4,6	4,7	4,5	4,1
НСР ₀₅			0,4		

*здесь и в табл. 3 НСР рассчитана для всего массива данных.

Табл. 3. Влияние органических удобрений на валовое содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг

Вариант	Cd		Ni		Pb	
	2001 г.	2021 г.	2001 г.	2021 г.	2001 г.	2021 г.
Контроль	0,2	0,4	4,0	3,2	6,0	1,1
Компост 1, 10 т/га	0,2	0,5	4,0	6,5	6,0	1,1
Компост 1, 35 т/га	0,2	0,3	4,0	6,4	6,1	1,1
Компост 2, 10 т/га	0,2	0,5	4,0	7,0	6,2	1,4
Компост 2, 35 т/га	0,4	0,6	6,0	7,8	6,5	1,1
Навоз, 10 т/га	0,1	0,2	3,0	5,8	6,0	1,1
Навоз, 35 т/га	0,1	0,2	3,0	5,0	6,0	1,2
НСП ₀₅		0,1		1,1		0,3
ОДК (ГН 2.1.7.2511-09)		1,0		40		65

ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.). Значительная доля травостоя в удобренных вариантах была представлена разнотравьем (от 32 до 57%), состоящим в основном из кульбабы осенней (*Leontodon autumnalis* L.) и вербейника монетчатого (*Lysimachia nummularia* L.).

Табл. 4. Влияние органических удобрений на показатели качества многолетних трав

Вариант	Содержание, %		
	сырой протеин	P	K
Контроль	10,3	0,39	3,3
Компост 1, 10 т/га	10,0	0,42	3,0
Компост 1, 35 т/га	9,7	0,43	3,0
Компост 2, 10 т/га	9,6	0,43	3,3
Компост 2, 35 т/га	10,4	0,46	3,4
Навоз, 10 т/га	9,3	0,38	3,1
Навоз, 35 т/га	9,5	0,42	2,9
НСП ₀₅	0,9	0,04	0,3

Под влиянием компостов из осадков сточных вод и подстилочного навоза изменялись агрохимические свойства почвы (табл. 2). Содержание гумуса в почве повышалось от внесения высоких доз всех испытываемых органических удобрений в год действия и в течение пяти лет последствия, по сравнению с контролем, на уровне тенденции. К концу наблюдений содержание ор-

ганического углерода в почве в вариантах с компостами находилось на уровне контроля. В целом компосты из осадков сточных вод в агроценозах многолетних злаковых трав при их длительном сенокосном использовании не оказывали значимого отрицательного влияния на гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы.

При анализе фосфатного режима почвы отмечали, как правило, его улучшение под влиянием всех видов органических удобрений, внесенных как в высоких (35 т/га), так и в низких (10 т/га) дозах. В то же время калийный режим почвы в отдельные периоды, в частности к 5-му году последствия удобрений, требовал оптимизации.

Все применяемые в опыте органические удобрения в год действия улучшали реакцию среды, особенно в высоких дозах. К 18-му году последствия величина рН_{KCl} в вариантах с удобрениями мало отличалась от контроля.

В начале исследований, как и по окончании опыта, в почве не наблюдали накопления тяжелых металлов (табл. 3). Исключение составил вариант с компостом из более загрязненного осадка, обезвоженного на иловых площадках станции аэрации, в дозе 35 т/га, где содержание кадмия в почве было больше, чем в контроле, в 1,5...2,0 раза, никеля – в 1,5...2,4 раза. В то же время при использовании всех исследуемых органических удобрений в низких и высоких дозах валовое содержание тяжелых металлов в почве не превышало нормативов Российской Федерации.

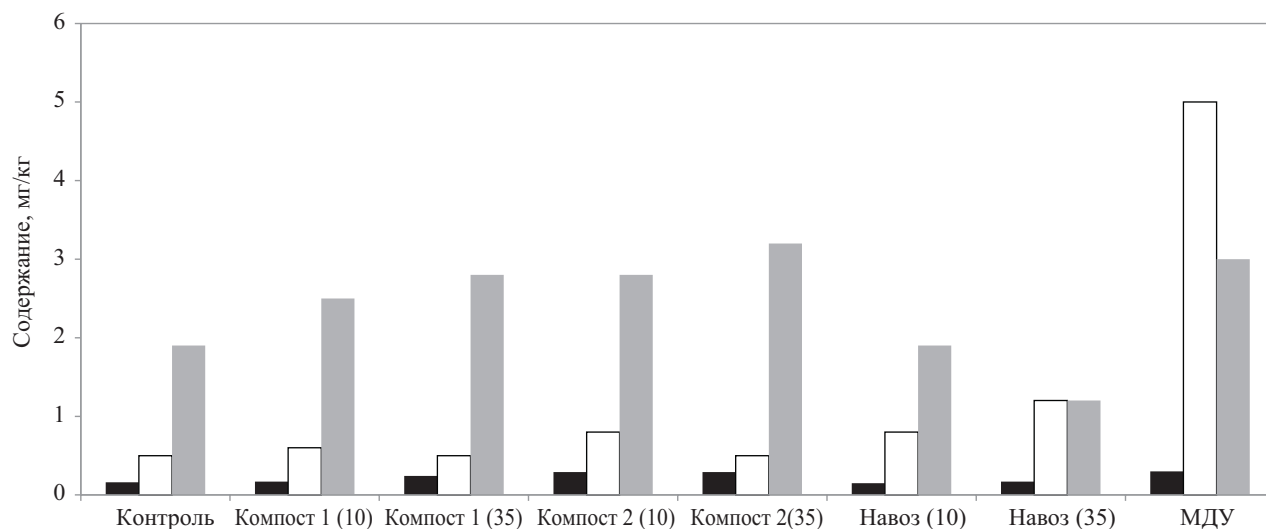


Рис. 3. Влияние органических удобрений на содержание тяжелых металлов в сухой массе многолетних трав, среднее за 2001–2018 гг. (НСП₀₅: Cd – 0,04; Pb – 0,7; Ni – 0,3 мг/кг): ■ – Cd; □ – Pb; ■ – Ni.

Важное значение при анализе воздействия нетрадиционных удобрений на агроценозы имеет качество растительной продукции [7, 9, 11]. В среднем за 2020–2021 гг. в многолетних травах в вариантах с компостами на основе осадков сточных вод, независимо от доз внесения, содержание сырого протеина, фосфора и калия в травах приближалось к контролю или находилось на уровне вариантов с применением подстилочного навоза (табл. 4).

В среднем за годы исследований по накоплению тяжелых металлов в многолетних травах (рис. 3) четких зависимостей от видов и доз удобрений не наблюдали. При этом содержание кадмия, никеля и свинца в сухой массе трав не выходило за пределы максимально допустимых уровней (МДУ 123-4/28-87).

Таким образом, при длительном (в течение 22 лет) использовании органических удобрений, производимых путем ферментации смесей осадков сточных вод с древесными отходами, отмечено их положительное влияние на реакцию среды, основные агрохимические, санитарно-гигиенические показатели почвы, урожайность многолетних трав и их продуктивное долголетие без ухудшения качества растительной продукции.

Наиболее высокий в опыте эффект достигнут при внесении компоста, производимого из поступающего непосредственно с фильтр-прессов Курьяновской станции аэрации г. Москвы свежего и менее загрязненного тяжелыми металлами осадка в дозе 35 т/га сухого вещества. Прибавка урожая сена многолетних трав от применения компоста, по отношению к контролю без удобрений, составляла 41 %. В вариантах с использованием традиционного подстилочного навоза крупного рогатого скота прибавки изменялись от 28 до 73 % в зависимости от дозы внесения.

Литература

1. *Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрикультуре* / Под ред. З.Н. Милащенко. М.: Агроконсалт. 2002. 138 с.
2. Касатиков В. А., Шабардина Н. П., Раскатов В. А. Действие агрохимикатов на основе органогенных

- городских и животноводческих отходов на микроэлементный состав почвы и растений в агроценозе // *Плодородие*. 2020. № 5. С. 64–66. doi: 10.25680/S19948603.2020.116.18.
3. Мерзлая Г. Е., Афанасьев Р. А. Агрохимические аспекты использования осадков сточных вод для рекультивации земель различного назначения // *Агрохимия*. 2020. № 8. С. 70–77. doi: 010.31857/S0002188120080050.
 4. Оптимизация обстановки при загрязнении почв и свалок токсикантами / В. И. Савич, В.А. Раскатов, И.Т. Тазин и др. // *Плодородие*. 2019. № 4. С.52–56. doi: 10.25680/S19948603.2019.109.17
 5. Kovalev N. G., Rabinovich G. Yu., Fomicheva N. V. *Resource-Conserving and Zero-Waste Principles of Technologies for Producing Liquid-Phase Biosubstances* // *Russian Agricultural Sciences*. 2012. Vol. 38. No. 1. P. 4–7. doi: 10.3103/S1068367412010120.
 6. Подолян Е. А., Барановский И. Т. Эффективность удобрений на основе осадка сточных вод в звене полевого севооборота // *Плодородие*. 2019. № 4. С. 57–59. doi: 10.25680/S19948603.2019.109.18.
 7. Kutera J. *Wykorzystanie Ścieków W Rolnictwie*. Wyd. 2 ed. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1988. 511 p.
 8. Burghard W., Schneider Th. Bulk density, and content density and stock of carbon, nitrogen and heavy metals in vegetable patches and lawns of allotments gardens in the north-western Ruhr area, Germany // *J. Soils and Sediments*. 2018. V. 18 (2). P. 407–417. doi: 10.1007/s11368-016-1553-8.
 9. Жигарева Ю. В., Мерзлая Г. Е. Агроэкологическая оценка эффективности осадков сточных вод в севообороте с ячменем // *Плодородие*. 2018. № 3. С. 42–44. doi: 10.25680/S19948603.2018.102.13.
 10. *Плодородие почв России: состояние и возможности* / Под ред. В. Г. Сычева. М.: ВНИИА. 2019. 240 с.
 11. *Методические и организационные основы проведения агроэкологического мониторинга в интенсивном земледелии (на базе Географической сети опытов)*. М.: ВИУА. 1991. 356 с.

Поступила в редакцию 21.04.2022
После доработки 24.08.2022
Принята к публикации 07.09.2022

АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ПОДВИЖНЫХ И НЕОБМЕННЫХ ФОРМ КАЛИЯ В ПРОФИЛЕ ПАХОТНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ДЛИТЕЛЬНОГО ОПЫТА ПРИ ВНЕСЕНИИ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ NPK*

Н.Е. Завьялова, доктор биологических наук, **М.Т. Васбиева**, кандидат биологических наук,
Д.Г. Шишков, О.В. Иванова

Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
614532, Пермский край, Пермский район, с. Лобаново, ул. Культуры, 12
E-mail: nezavyalova@gmail.com

Исследования проводили с целью изучения влияния возрастающих доз NPK на изменение агрохимических показателей, обменных и необменных форм калия по профилю дерново-подзолистой почвы. Обобщены результаты исследований, полученные в стационарном полевом опыте 1978 г. закладки на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Предуралья. Схема опыта предусматривала применение возрастающих доз полного минерального удобрения от 30 до 150 кг д.в./га в полевом восьмипольном севообороте. Внесение NPK по 60...150 кг д.в./га совместно с запашкой соломы способствовало сохранению исходного уровня запасов органического углерода в пахотном слое почвы. Распределение органического углерода вглубь по профилю резко убывающее. Применение (NPK)_{30...150} привело к существенному накоплению в пахотном слое почвы минерального азота. При внесении высоких доз (NPK)_{120...150} увеличение количества минерального азота отмечено по всему метровому слою, запасы возросли в 4,0...4,2 раза. Минеральное удобрение в дозе 90...150 кг д.в./га привело к повышению содержания подвижных соединений фосфора в слое 0...80 см. Запасы фосфатов в метровом слое почвы возросли на 1,2...1,9 т/га. Содержание легкообменных соединений калия в пахотном слое почвы увеличилось при длительном внесении NPK по 60...150 кг д.в./га (в 1,8...3,2 раза), подвижных – при применении NPK по 90...150 кг д.в./га (в 1,2...1,4 раза, относительно исходного уровня). Однако при внесении NPK наблюдали снижение содержания необменной формы калия в метровом слое почвы. Принципиальных различий в характере формирования метрового профиля рассматриваемых вариантов опыта в зависимости от различных доз NPK не установлено. Сопоставляя распределение основных элементов питания по профилю дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы, следует отметить, что основные изменения обусловлены внесением минеральных удобрений и произошли в пределах верхнего 0...40 см слоя.

AGROCHEMICAL INDICATORS, CONTENT AND RESERVES OF MOBILE AND NON-EXCHANGEABLE POTASSIUM FORMS IN THE PROFILE OF ARABLE SODDY-PODZOLIC SOIL OF LONG-TERM EXPERIENCE AT INTRODUCTION OF INCREASING DOSES OF NPK

Zavyalova N.E., Vasbieva M.T., Shishkov D.G., Ivanova O.V.

Perm Federal Research Center, Ural Branch Russian Academy of Sciences,
614532, Permskii krai, Permskii raion, s. Lobanovo, ul. Kul'tury, 12
E-mail: nezavyalova@gmail.com

The aim of the work is to study the effect of increasing doses of NPK on the change in agrochemical parameters, exchangeable and non-exchangeable forms of potassium along the profile of sod-podzolic soil. The results of studies obtained in a stationary field experiment in 1978 of laying on sod-podzolic heavy loamy soil of the Cis-Urals are summarized. We studied the introduction of increasing doses of complete mineral fertilizer from 30 to 150 kg AI/ha in a field eight-field crop rotation. It has been established that the application of NPK at the rate of 60-150 kg a.i./ha, together with the plowing of straw, contributed to the preservation of the initial level of organic carbon reserves in the arable soil layer. The distribution of organic carbon in depth along the soil profile sharply decreases. The use of (NPK)₃₀₋₁₅₀ led to a significant accumulation of mineral nitrogen in the soil in the arable layer. With the introduction of high doses (NPK)₁₂₀₋₁₅₀, an increase in the amount of mineral nitrogen was noted throughout the entire meter layer, the reserves increased by 4.0-4.2 times. The use of mineral fertilizer at a dose of 90-150 kg of AI/ha led to an increase in the content of mobile phosphorus compounds in the 0-80 cm layer. Phosphate reserves in the 1-meter soil layer increased by 1.2-1.9 t/ha. The content of readily exchangeable potassium compounds in the arable soil layer increased with long-term application of NPK at 60-150 kg of a.i./ha (by 1.8-3.2 times), mobile – with the use of NPK at 90-150 kg of a.i. / ha (1.2-1.4 times – relative to the initial level). However, when NPK was introduced, a decrease in the content of the non-exchangeable form of potassium in a meter-long soil layer was observed. Fundamental differences were not established in the nature of the formation of the meter profile of the considered variants of the experiment, depending on various doses of NPK. Comparing the results on the distribution of the main nutrients along the profile of soddy-podzolic heavy loamy soil, it should be noted that the main changes occurred within the upper 0-40 cm layer and were caused by the application of mineral fertilizers.

Ключевые слова: кислотность почвы, подвижные формы элементов питания, миграция по профилю, формы калия.

Key words: soil acidity, mobile forms of nutrients, profile migration, potassium forms.

Исследования проводили в Предуралье, которое исходя из природно-хозяйственного районирования, относится к южно-таежной лесной зоне, где преобладают дерново-подзолистые почвы. Почвы данного типа характеризуются низким уровнем естественного плодородия. Систематическое продолжительное применение минеральных удобрений является мощным фактором воздействия на агрохимические свойства

дерново-подзолистых почв и урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур. При выявлении роли агротехнических приемов на процессы трансформации и миграции элементов питания необходимо исследовать их внутрипочвенное распределение, которое для разных типов почв специфично и отражает их типовые различия [1,2]. Формирование профиля в конкретных климатических условиях зависит, прежде всего, от гранулометри-

Табл. 1. Изменение содержания $C_{орг}$ по профилю почвы при длительном применении возрастающих доз полного минерального удобрения

Вариант	Содержание, %						Запасы, т/га			
	перед закладкой, 0...20 см	VI ротация					перед закладкой, 0...20 см	VI ротация		
		глубина слоя, см						глубина слоя, см		
		0...20	20...40	40...60	60...80	80...100		0...20	0...40	0...100
Без удобрений	1,24	1,12	0,76	0,42	0,28	0,19	32	29	50	77
(NPK) ₃₀	1,20	1,13	0,57	0,55	0,44	0,32	31	29	45	85
(NPK) ₆₀	1,24	1,21	0,80	0,39	0,32	0,26	32	32	53	82
(NPK) ₉₀	1,29	1,33	0,86	0,57	0,45	0,39	34	34	58	101
(NPK) ₁₂₀	1,16	1,34	0,71	0,52	0,34	0,29	30	35	54	89
(NPK) ₁₅₀	1,23	1,37	0,80	0,44	0,33	0,32	32	36	57	91
HCP ₀₅	–	0,19	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	$F_{\phi} < F_T$	–	5	6	$F_{\phi} < F_T$

ческого и химического состава почв, от распределения главных элементов-органогенов (азота, фосфора, калия, кальция, магния) в генетическом профиле дерново-подзолистой почвы и от количества и качества поступающего в почву органического вещества. Установлено, что интенсивное применение удобрений, периодическое известкование и культура севооборота влияют на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы на всю глубину метрового профиля, но наиболее существенные изменения происходят в верхнем пахотном (0-20 см) и подпахотном (20-40 см) слоях. Масштабы и направление изменения свойств почвы в пределах метрового профиля тесным образом связаны с интенсивностью и типом окультуривания [3,4]. Характер изменения агрохимических свойств почвы обусловлен способом ее использования. Основные изменения происходят в пахотном слое и зависят от интенсивности антропогенного воздействия. Длительное экстенсивное использование пашни приводит к подкислению почвы и потере элементов питания [5,6]. На перемещение биофильных элементов по профилю оказывает влияние гранулометрический состав почвы, промывной водный режим, вносимые удобрения, возделываемые культуры и другие природные и антропогенные факторы [7,8].

Цель исследований – изучить влияние возрастающих доз NPK на изменение агрохимических показателей, обменных и необменных форм калия по профилю дерново-подзолистой почвы.

Методика. Полевой стационарный опыт был заложен в 1978 г. на опытном поле Пермского НИИСХ (филиала ПФИЦ УрО РАН) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве. Схема опыта включала 6 уровней минерального питания: (NPK)₀ – контроль; (NPK)₃₀; (NPK)₆₀; (NPK)₉₀; (NPK)₁₂₀; (NPK)₁₅₀. Исследования проводили в восьмипольном севообороте со следующим чередованием культуры: чистый пар, озимая рожь, картофель, пшеница с подсевом клевера, клевер 1 г.п., клевер 2 г.п., ячмень, овес. Минеральные удобрения вносили под зерновые культуры и картофель, на клевере изучали последствие. В опыте использовали мочевины или аммиачную селитру, суперфосфат и хлористый калий. Известь вносили перед закладкой опыта в дозе 1,0 Нг. Общая площадь делянки – 120 м², учетная – 76,4 м². Опыт заложен в 2-х полевых закладках, размещение вариантов рендомизированное. В течение четырёх ротаций восьмипольного севооборота солому с поля удаляли, органические удобрения в почву не вносили, уровень органического углерода определяло только количество пожнивно-корневых остатков возделываемых культур. С середины пятой ротации севооборота солому с поля перестали отчуждать.

Почвенные образцы для исследований отбирали в 2021 г. после уборки по слоям до глубины 1 метр с шагом 20 см. Вегетационный период 2021 г. был аномально засушливым, что могло отразиться на результатах агрохимических исследований. Май и июнь 2021 г.

Табл. 2. Изменение показателей кислотности, суммы обменных оснований и степени насыщенности основаниями по профилю почвы при длительном применении возрастающих доз полного минерального удобрения

Вариант	Перед закладкой, 0...20 см	VI ротация				
		глубина слоя, см				
		0...20	20...40	40...60	60...80	80...100
pH_{KCl}						
Без удобрений	5,7	5,2	4,9	4,8	4,8	6,0
(NPK) ₃₀	5,8	5,8	5,3	5,0	4,9	6,4
(NPK) ₆₀	6,0	4,6	4,8	4,7	4,8	6,1
(NPK) ₉₀	5,9	4,7	4,6	4,5	4,5	4,7
(NPK) ₁₂₀	5,8	4,7	4,6	4,5	4,5	4,7
(NPK) ₁₅₀	5,7	4,5	4,6	4,4	4,4	4,7
HCP ₀₅	–	0,3	0,4	0,3	0,3	0,5
Нг, смоль(экв)/100 г						
Без удобрений	2,2	2,5	2,7	2,8	2,8	1,4
(NPK) ₃₀	2,5	2,3	2,9	2,6	1,8	0,9
(NPK) ₆₀	2,0	3,8	3,3	3,1	2,8	1,7
(NPK) ₉₀	2,0	4,0	3,5	3,5	2,9	2,5
(NPK) ₁₂₀	2,4	3,4	3,3	3,4	2,7	1,9
(NPK) ₁₅₀	2,2	5,1	3,8	3,7	3,1	2,4
HCP ₀₅	–	0,2	0,4	0,5	0,3	0,6
S, смоль(экв)/100 г						
Без удобрений	20,0	17,0	18,3	24,0	27,7	40,7
(NPK) ₃₀	16,7	21,4	24,9	27,6	35,4	47,8
(NPK) ₆₀	18,2	16,7	19,3	25,5	27,7	43,1
(NPK) ₉₀	21,5	15,7	18,5	23,0	25,7	29,6
(NPK) ₁₂₀	20,0	16,7	21,1	25,4	32,7	39,0
(NPK) ₁₅₀	20,3	16,0	20,6	24,5	26,1	27,3
HCP ₀₅	–	3,4	2,8	1,9	3,1	7,0
V, %						
Без удобрений	90	87	87	90	91	97
(NPK) ₃₀	87	90	90	91	95	98
(NPK) ₆₀	90	81	85	89	91	96
(NPK) ₉₀	92	79	84	87	90	92
(NPK) ₁₂₀	89	85	86	88	92	95
(NPK) ₁₅₀	90	76	85	87	89	92
HCP ₀₅	–	3	3	2	2	2

выдались сухими и жаркими. Высокая температура воздуха и недостаток осадков привели к большому дефициту влаги в почве. ГТК составил 1,0, при средне-многолетней величине этого показателя 1,4. В июле наблюдали немногочисленные, но обильные дожди ливневого характера. Гидротермический коэффициент по декадам сильно изменялся, в 1 декаде он был равен 2,9, во 2 декаде – 0,2, в 3 декаде – 4,3. В августе на территории Пермского края установилась жаркая и сухая погода. Большая часть осадков выпала в первой декаде этого месяца, затем незначительная их часть в третьей декаде. Сумма осадков составила 23,9 мм, или 31 % от среднемноголетней нормы, ГТК – 0,4.

Основные агрохимические показатели почвы определяли в соответствии с ГОСТами и методиками ЦИНАО. Содержание различных форм калия изучали с использованием следующих методов: легкоподвижной – в 0,01M CaCl₂ вытяжке, подвижной (обменный) по Кирсанову, необменной по Гедройцу. Концентрацию необменных соединений рассчитывали по разности между содержанием калия в 10 %-ной HCl вытяжке и количеством подвижных форм этого элемента, определенных по методу Кирсанова.

Результаты и обсуждение. За 43 года проведения длительного стационарного опыта произошло изменение всех агрохимических показателей исследуемой дерново-подзолистой почвы. Содержание органического углерода в варианте без удобрений и при внесении NPK в дозе 30 кг д.в./га снизилось на 9...10 % (табл. 1). Применение NPK в дозах 60...150 кг д.в./га способствовало формированию большего количества биомассы пожнивных и корневых остатков, что привело к сохранению или даже некоторому повышению органического углерода в пахотном (0...20 см) слое почвы при внесении максимальных доз. С возрастанием дозы минерального удобрения наблюдали увеличение запасов C_{орг} в верхнем слое (0...20 см) почвы с 29 т/га в варианте без удобрений до 36 т/га при максимальной дозе NPK. Значимого влияния на содержание углерода в глубинных горизонтах почвы это не оказало, оно постепенно убывало.

Сельскохозяйственное использование почвы без внесения удобрений в течение длительного периода исследований привело к подкислению почвенного раствора в пахотном слое на 0,5 ед. рН_{KCl} (табл. 2). С возрастанием дозы физиологически кислых удобрений с 30 до 150 кг д.в./га отмечено существенное подкисление почвы в пахотном слое до рН_{KCl} 4,5. В варианте без удобрений и с умеренными дозами NPK вглубь по профилю до 80 см наблюдали тенденцию к увеличению концентрации ионов водорода, а в слое 80...100 см она уменьшалась (рН_{KCl} – 6,0...6,4). При более высоких дозах удобрений величина показателя рН_{KCl} практически не изменялась по агрохимическим горизонтам (рН_{KCl} – 4,4...4,7).

В вариантах стационарного полевого опыта при внесении NPK по 60...150 кг д.в./га выявлено достоверное повышение гидролитической кислотности в пахотном и подпахотном слоях исследуемой почвы с возрастанием дозы минеральных удобрений в 1,4...2,0 раза. Экспериментальные данные указывают на снижение суммы обменных оснований, по сравнению с исходным содержанием, на 15...43 % в верхнем (0...20 см) слое, что связано с их вымыванием в нижележащие горизонты при подкислении почвы, а также выносом сельскохозяйственными культурами. Отмечено высокое содержание обменных оснований в глубинных горизонтах почвы, особенно в слое 80...100 см, что обусловлено не только выщелачиванием кальция и магния из пахотного слоя,

но и особенностями почвообразующей породы, богатой этими элементами.

Тенденция распределения обменного кальция и магния по профилю дерново-подзолистой почвы повторяет закономерности, установленные для суммы обменных оснований. В целом, внесение возрастающих доз NPK оказало слабое влияние на запасы этих элементов, запасы CaO в метровом слое составили 3,3...4,5 т/га, запасы MgO – 519...672 кг/га.

Минеральный азот почвы, который представлен нитратной и аммиачной формой, в слое 0...20 см закономерно увеличивался при внесении возрастающих доз NPK от 10,3 до 59,1 мг/кг. Наблюдали его миграцию в нижележащие слои почвы с постепенным убыванием до 80 см и некоторое его накопление в слое 80...100 см. Такое перемещение минерального азота по профилю связано с его подвижностью и промывным водным режимом исследуемой почвы (табл. 3).

При внесении (NPK)₃₀ наблюдали рост содержания минерального азота в слоях 40...60 (в 1,7 раза) и 80...100 см (в 2,9 раза). В слое 40...60 см отмечено увеличение количества аммонийного азота, а в слое 80...100 см – нитратного. При внесении (NPK)₆₀ достоверное повышение содержания минерального азота установлено в слоях 20...40, 40...60 и 80...100 см, в варианте (NPK)₉₀ – в слое 0...20 см и 40...60 см – в 1,5...3,0 раза. При этом наблюдали равномерное накопление, как нитратного, так и аммонийного азота. При внесении (NPK)₁₂₀ и (NPK)₁₅₀ количество минерального азота возрастало по всему метровому слою – в 3,3...5,7 раза.

Запасы минерального азота в почве при внесении NPK в дозах от 60 до 150 кг д.в./га в слое 0...40 увеличились в 2...5 раз (с 47 до 100...219 кг/га), в слое 0...100 – в 2...4 раза (с 89 до 179...375 кг/га). При использовании высоких доз (NPK)_{120...150} происходило избыточное накопление нитратов и обменного аммония по профилю почвы, что может привести к загрязнению сопредельных сред.

Перед закладкой полевого опыта почва характеризовалась высоким содержанием подвижных соединений фосфора. В процессе сельскохозяйственного использования, через пять ротаций севооборота в варианте без удобрений в слое 0...20 см произошло его снижение на 20 %, так как потребность культур в этом минеральном элементе обеспечивалась благодаря естественному плодородию. С увеличением дозы вносимых удобрений содержание подвижных соединений фосфора в верхнем слое почвы увеличивалось до 530 мг/кг, что в 3,1 раза выше исходного уровня (табл. 4). Содержание подвижных соединений фосфора уменьшалось постепенно с глубиной до 60 см, в слое 60...80 см наблюдали его накопление при внесении NPK в возрастающих дозах.

На глубине 80...100 см определено очень высокое содержание P₂O₅ независимо от варианта опыта, что связано с влиянием почвообразующей породы, богатой этим элементом. Известно, что в дерново-подзолистых почвах основная часть неиспользованного фосфора удобрений превращается со временем в труднодоступные фосфаты оксидов железа и алюминия [9, 10].

Различный уровень минерального питания растений в изучаемых вариантах длительного стационарного опыта оказал значительное влияние на калийный режим почвы. Содержание легкообменных соединений калия, наиболее доступных для растений, в слое 0...20 см увеличилось с ростом дозы удобрения в 3,2 раза (табл. 5). Распределение этой формы калия по профилю постепенно убывающее. Статистически значимое уменьшение легкообменных соединений калия

Табл. 3. Изменение содержания минерального азота по профилю почвы при длительном применении возрастающих доз полного минерального удобрения

Вариант	Содержание, мг/кг					Запасы, кг/га		
	глубина слоя, см					0...20	0...40	0...100
	0...20	20...40	40...60	60... 80	80...100			
N_{мин}								
Без удобрений	10,3	7,7	5,1	4,5	3,9	27	47	89
(NPK) ₃₀	12,9	8,1	8,7	6,6	11,3	34	56	137
(NPK) ₆₀	17,8	19,8	11,0	8,5	12,4	46	100	198
(NPK) ₉₀	29,9	11,8	10,0	6,8	6,2	78	110	179
(NPK) ₁₂₀	45,2	26,3	17,8	16,4	19,2	117	189	352
(NPK) ₁₅₀	59,1	31,8	17,0	16,1	17,6	154	219	375
HCP ₀₅	8,3	5,8	3,2	9,0	3,6	20	38	53
N-NO₃								
Без удобрений	5,0	5,3	4,0	3,0	2,6	13	27	57
(NPK) ₃₀	8,4	5,7	3,7	3,9	9,0	22	37	89
(NPK) ₆₀	5,7	8,5	4,7	4,7	7,1	15	38	88
(NPK) ₉₀	13,3	6,5	5,5	3,5	3,6	34	52	90
(NPK) ₁₂₀	14,7	11,0	8,3	10,8	14,4	38	68	172
(NPK) ₁₅₀	47,1	21,0	10,2	8,5	9,6	123	163	253
HCP ₀₅	7,2	2,6	1,9	1,4	1,7	18	30	39
N-NH₄								
Без удобрений	5,3	2,4	1,1	1,5	1,3	14	20	32
(NPK) ₃₀	4,6	2,4	5,0	2,8	2,3	12	18	49
(NPK) ₆₀	12,2	11,3	6,3	3,8	5,4	32	62	109
(NPK) ₉₀	16,7	5,3	4,5	3,3	2,6	43	58	89
(NPK) ₁₂₀	30,5	15,3	9,5	5,6	4,8	79	121	181
(NPK) ₁₅₀	12,0	10,8	6,8	7,6	8,0	31	56	122
HCP ₀₅	2,6	7,2	3,1	9,9	3,8	30	33	57

в слое 20...40 см отмечено при внесении минимальной дозы NPK (в 2 раза ниже, чем в контроле), что связано, прежде всего, с некомпенсированным выносом калия возделываемыми культурами.

При максимальной в опыте дозе минерального удобрения установлено увеличение содержания легкообменной формы калия в подпахотном горизонте в 3,2 раза, в слое 80...100 см – в 2,8 раза, что объясняется избыточным внесением калия с удобрениями и его накоплением в почвенном растворе [11]. В других вариантах опыта, несмотря на значительные изменения доз вносимого калийного удобрения, различия по содержанию этой формы калия наблюдали только в верхнем горизонте почвы.

Без применения минеральных удобрений содержание подвижных соединений калия по Кирсанову в слое

0...20 см уменьшилось за 43 года ведения опыта со 190 до 129 мг/кг (на 32 %). Внесение NPK по 90...150 кг д.в./га привело к увеличению подвижной формы K₂O в пахотном слое, относительно исходного уровня, на 16...41 %.

С глубиной содержание подвижных соединений калия постепенно уменьшается. При высоких дозах NPK выявлено его передвижение в более глубокие слои. На глубине 20...40 см содержание подвижных форм этого элемента при внесении NPK по 90 и 150 кг д.в./га выше в 1,2...1,4 раза, в остальных вариантах оно сопоставимо с контролем. Внесение минеральных удобрений увеличило запасы подвижных соединений калия в метровом слое почвы при длительном внесении (NPK)₁₅₀ в 1,3 раза.

Содержание необменных соединений калия в исследуемой почве значительно выше, чем подвижных (обменных). В пахотном слое величина этого показателя

Табл. 4. Изменение содержания подвижных соединений фосфора по профилю почвы при длительном применении возрастающих доз полного минерального удобрения

Варианты	Содержание, мг/кг					Запасы, т/га				
	перед закладкой, 0...20 см	VI ротация					перед закладкой, 0...20 см	VI ротация		
		глубина слоя, см						глубина слоя, см		
	0...20	20...40	40...60	60... 80	80...100	0...20	0...40	0...100		
Без удобрений	240	192	167	139	236	376	0,6	0,5	0,9	3,3
(NPK) ₃₀	160	329	150	214	273	456	0,4	0,9	1,3	4,2
(NPK) ₆₀	206	339	200	174	368	454	0,5	0,9	1,4	4,5
(NPK) ₉₀	194	371	225	188	328	428	0,5	1,0	1,6	4,5
(NPK) ₁₂₀	231	446	210	199	346	461	0,6	1,2	1,7	4,9
(NPK) ₁₅₀	173	530	242	252	356	423	0,4	1,4	2,0	5,2
HCP ₀₅	–	123	41	51	91	F _φ <F _τ	–	0,3	0,3	0,8

Табл. 5. Изменение содержания легкообменных, подвижных и необменных соединений калия по профилю почвы при длительном внесении возрастающих доз NPK

Варианты	перед закладкой, 0...20 см	Содержание, мг/кг					Запасы ¹			
		VI ротация					перед закладкой, 0...20 см	VI ротация		
		глубина слоя, см						глубина слоя, см		
		0...20	20...40	40...60	60...80	80...100	0...20	0...40	0...100	
Легкообменные соединения										
Без удобрений	–	10,9	8,0	3,2	1,5	1,3	–	28	50	68
(NPK) ₃₀	–	10,2	3,9	2,2	3,3	1,5	–	27	37	58
(NPK) ₆₀	–	19,9	10,5	4,9	5,4	1,5	–	52	80	116
(NPK) ₉₀	–	29,4	10,4	6,8	3,7	1,7	–	76	105	141
(NPK) ₁₂₀	–	19,3	8,1	5,0	2,1	1,6	–	50	72	98
(NPK) ₁₅₀	–	35,3	15,0	6,7	4,6	3,6	–	92	132	177
HCP ₀₅	–	5,9	2,7	F _ф <F _т	F _ф <F _т	1,5	–	15	22	30
Подвижные соединения										
Без удобрений	190	129	116	98	91	82	0,5	0,3	1,0	2,6
(NPK) ₃₀	140	133	115	108	89	66	0,4	0,3	1,0	2,6
(NPK) ₆₀	182	178	116	93	86	84	0,5	0,5	1,1	2,7
(NPK) ₉₀	185	230	140	122	102	98	0,5	0,6	1,4	3,3
(NPK) ₁₂₀	168	195	135	116	96	77	0,4	0,5	1,0	2,8
(NPK) ₁₅₀	166	234	161	125	111	91	0,4	0,6	1,5	3,5
HCP ₀₅	–	17	13	18	19	F _ф <F _т	–	0,1	0,1	0,2
Необменные соединения										
Без удобрений	–	1040	1065	1435	1400	1230	–	2,7	5,6	18,0
(NPK) ₃₀	–	1015	1160	1270	1100	1050	–	2,6	5,8	16,2
(NPK) ₆₀	–	980	1000	1200	1050	1025	–	2,5	5,2	15,3
(NPK) ₉₀	–	1070	1155	1115	1040	1065	–	2,8	5,9	15,8
(NPK) ₁₂₀	–	992	1025	1250	1230	1060	–	2,6	5,3	16,2
(NPK) ₁₅₀	–	1165	1250	1230	1140	985	–	3,0	6,4	16,7
HCP ₀₅	–	72	125	199	236	136	–	0,2	0,4	1,6

¹запасы легкообменных соединений представлены в кг/га, подвижных и необменных – т/га.

теля изменялась от 980 до 1165 мг/кг в зависимости от вариантов опыта. Достоверно более высокое содержание необменных соединений калия в 1,1...1,2 раза, относительно контрольного варианта, определено только в варианте (NPK)₁₅₀ в слоях 0...20 и 20...40 см и объясняется бездефицитным калийным балансом при длительном внесении высоких доз калийного удобрения в составе NPK. Наибольшее содержание необменной формы калия отмечено в глубинных слоях не удобренной почвы, в вариантах с удобрениями величина этого показателя ниже на 7...15 %. Возможно такая ситуация связана с неоднородностью почвенного покрова или с использованием необменной формы калия на пополнение его подвижной (обменной) формы в связи с большим выносом этого элемента культурами севооборота. Если придерживаться последнего предположения, то в питании растений участвует калий не только пахотного и подпахотного горизонтов, но и калий из необменной формы более глубоких слоев почвы. На метровой глубине во всех вариантах опыта наблюдали снижение содержания необменных соединений калия. Их запасы в пахотном слое составили 2,5...3,0 т/га, в слое 0...100 см – 15,3...18,0 т/га.

Соотношение содержания необменных соединений калия к подвижным (обменным) отражает степень истощенности почвы, ее текущее калийное состояние и специфику трансформации форм этого элемента [7]. Чем выше эта величина, тем сильнее почва истощена в отношении подвижных соединений калия. В условиях нашего опыта это соотношение в слое 0...20 см варьировало в интервале 4,7...8,1 и имело тенденцию к

снижению с возрастанием дозы NPK. Изменение соотношения $K_{необ} : K_{подв}$ в сторону снижения при внесении NPK в дозах от 60 до 150 кг д.в./га наблюдали по всему метровому слою.

Таким образом, длительное сельскохозяйственное использование почвы без применения удобрений привело к подкислению почвенного раствора в слое 0...20 см на 0,5 ед. pH, снижению содержания органического углерода – на 10 %, уменьшению подвижных соединений фосфора – на 20 %, подвижных соединений калия – на 32 %, относительно их содержания в исходной почве.

Внесение NPK по 60...150 кг д.в./га способствовало сохранению исходного уровня запасов органического углерода в пахотном слое почвы. Содержание минерального азота в пахотном слое почвы при внесении (NPK)_{30...150} увеличилось в 1,3-5,7 раза. Наблюдали его миграцию в нижележащие слои почвы с постепенным убыванием до 80 см и некоторым накоплением в слое 80...100 см. При внесении (NPK)_{120...150} увеличение количества минерального азота отмечено по всему метровому слою, запасы возросли в 4,0...4,2 раза, по сравнению с вариантом без удобрений.

Повышение содержания подвижных соединений фосфора в почве наблюдали в слое 0...80 см при внесении более высоких доз полного минерального удобрения 90...150 кг д.в./га. Его запасы в метровом слое почвы повысились с 3,3 до 4,5...5,2 т/га, относительно контроля. Возможно, при длительном применении фосфорных удобрений произошло постепенное максимально возможное насыщение этим элементом верхнего слоя почвы, что способствовало его миграции по профилю. В вариантах

с более низкими дозами 30 и 60 кг д.в./га увеличение содержания подвижных соединений фосфора отмечено в отдельных слоях почвы, что может быть связано, как с применением удобрений, так и с неоднородностью почвенного профиля.

Содержание легкообменных соединений калия увеличивалось с ростом дозы удобрения в слое 0...20 см с 10,2 мг/кг при (НРК)₃₀ до 35,3 мг/кг при (НРК)₁₅₀, их распределение по профилю постепенно убывающее. Внесение НРК по 90...150 кг д.в./га привело к увеличению содержания подвижной формы калия в пахотном слое на 16...41 %. При длительном внесении НРК отмечено снижение содержания необменной формы калия в метровом слое почвы.

Литература

1. Пчелкин В.У. Почвенный калий и калийные удобрения. М.: «Колос», 1966. 336 с.
2. Шафран С.А., Кирпичников Н.А. Научные основы прогнозирования содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах // *Агрохимия*. 2019. № 4. С. 3–10
3. Гаркуша И.Ф. Изменение дерново-подзолистых почв под влиянием окультуривания // *Почвоведение*. 1955. № 4. С. 33–47.
4. Доспехов Б.А., Кирюшин Б.Д., Братерская А.Н. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы по профилю под влиянием 62-летнего применения удобрений и периодического известкования // *Известия ТСХА*. 1975. Вып. 6. С. 30–40.
5. Глазовская М.А., Кречетов П.П., Черницова О.В. Общие закономерности накопления и возобновление запасов элементов – органоенов в дерново-подзолистых почвах хвойно-широколиственных лесов // *Почвоведение*. 2004. №12. С.1430–1439.
6. Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф., Морачевская Е.В. Изменение свойств и калийного состояния дерново-подзолистой почвы при 40-летнем применении агрохимических средств // *Агрохимия*. 2013. № 10. С.3–12.
7. Иванов Д.А., Карасева О.В., Рублюк М.В. Мониторинг агрохимических свойств различных угодий в пределах агроландшафта // *Агрохимия*. 2020. №1. С.27–30.
8. Якименко В.Н. Баланс калия, урожайность культур и калийное состояние почвы в длительном полевом опыте в лесостепи Западной Сибири // *Агрохимия*. 2019. № 10. С. 16–24.
9. Касицкий Ю.И. Общие вопросы установления оптимального уровня содержания подвижного фосфора в почвах // *Агрохимия*. 1988. № 10. С. 129–140.
10. Завьялова Н.Е., Сторожева А.Н. Влияние длительного применения минеральных удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // *Агрохимия* 2015. № 9. С.33–40.
11. Якименко В.Н. Изменение содержания форм калия по профилю почвы при различном калийном балансе в агроценозах // *Агрохимия*. 2007. №3. С.5–11.

Поступила в редакцию 20.06.2022
 После доработки 09.08.2022
 Принята к публикации 12.09.2022

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА 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

Исследования проводили с целью определения параметров оптимизации и повышения эффективности работы пневмомеханического шелушителя. Рассматривали движение зерна в рабочем пространстве пневмомеханического шелушителя, образованном вращающимся лопастным ротором и реверсивной декой, которая вращается вокруг него в обратном направлении. Работу выполняли с учетом ранее проведенных исследований, в которых рассматривали тангенциальное движение зерна и воздушного потока в пространстве между ротором и декой. Математическую модель движения зерна строили в двумерной постановке и решали в лагранжевой системе координат с учетом скоростей и дифференциальных характеристик движения воздушного потока, описанных в эйлеровой системе координат. Траектория движения зерновки, в том числе ее скорость и угол контакта при соударении со стенкой деки зависят от рабочих скоростей вращения ротора и деки, угла срыва зерновки с вращающегося ротора и ее коэффициента парусности. При увеличении угловой скорости вращения деки ω_2 меняется угол наклона вектора скорости зерновки α при её соударении со стенкой деки. Изменяя величину угла срыва β можно регулировать угол соударений зерновки с декой. Скорость движения зерновки и угол её соударения с декой зависят от физических параметров самой зерновки. Поэтому угол срыва β и угловая скорость вращения деки ω_2 могут быть использованы как параметры оптимизации пневмомеханического шелушителя.

RESULTS OF NUMERICAL CALCULATION OF GRAIN MOVEMENT IN A PNEUMATIC MECHANICAL HULLER

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, Moskva, Leninskii prosp., 14
²Kazan State Agrarian University,
420015, Kazan', ul. K. Marksa, 65
E-mail: zigan66@mail.ru

The research aimed to determine the parameters of optimisation and increase the efficiency of the pneumatic-mechanical peeler. We considered the movement of grain in the working space of a pneumatic-mechanical peeler formed by a rotating bladed rotor and a reversible deck that rotates around it in the opposite direction. The work was carried out taking into account previous studies, which considered the tangential movement of grain and air flow in the space between the rotor and the deck. The mathematical model of grain movement was built in a two-dimensional formulation and calculated in the Lagrangian coordinate system, considering the velocities and differential characteristics of the air flow described in the Euler coordinate system. The trajectory of the grain movement, including its speed and contact angle upon impact on the deck wall, depend on the operating speeds of rotation of the rotor and deck, the angle of separation of the grain from the rotating rotor and its windage coefficient. With an increase in the angular velocity of rotation of the deck ω_2 , the angle of inclination of the grain velocity vector α changed when it collided with the wall of the deck. By changing the value of the stall angle β , it is possible to control the angle of collision of the grain with the deck. The speed of grain movement and the angle of its impact with the deck depend on the physical parameters of the grain itself. Therefore, the stall angle β and the angular speed of rotation of the deck ω_2 can be used as parameters for optimizing the pneumatic-mechanical peeler.

Ключевые слова: пневмомеханический шелушитель, траектория зерна, лагранжевая система координат, эйлеровая система координат, численные расчеты.

Key words: pneumatic-mechanical peeler; grain trajectory; Lagrangian coordinate system; Euler coordinate system; numerical calculations.

Как известно, один из вариантов рабочего органа машины для пневмомеханического шелушения зерна – лопастной диск (ротор), который вращается внутри закрытой сверху цилиндрической деки, имеющей обратное вращение вокруг ротора [1, 2, 3]. На ротор подается зерновой материал, разгоняемый и выбрасываемый в направлении деки, при ударе о которую происходит шелушение [4, 5]. Ранее было рассмотрено тангенциальное движение воздушного потока в пространстве между ротором и декой, которые вращаются в противоположных направлениях. Исходя из технологических соображений, объем поступающего

потока воздуха в рабочую зону дозируется с помощью конструктивных элементов шелушителя. Поэтому радиальной и вертикальной составляющими скоростей воздушного потока можно пренебречь. Формула для описания движения воздушного потока при выполнении указанных допущений была выведена ранее [6].

Эффективность шелушения зерновых культур при ударе о внутреннюю стенку деки зависит от многих факторов. В первую очередь, необходимо обеспечить требуемую силу удара, достаточную для разбивания оболочки зерновки. Как известно, наибольшая сила возникает при вертикальном падении тел. Поэтому

важно определение закономерностей влияния различных факторов на траекторию движения зерновки, в том числе на ее скорость и угла контакта при соударении со стенки деки. Все эти характеристики сильно зависят от скоростей вращения рабочих узлов, угла срыва зерновки с вращающегося диска и ее коэффициента парусности.

Из-за вращения диска и деки во встречных направлениях, между ними возникают две зоны с противоположными направлениями движения воздушного потока. Они оказывают сильное влияние на траекторию полета зерен. Кроме того, на неё влияет угол срыва зерновки с диска, поскольку от величины этого показателя зависит время нахождения зерновки в зоне обратного вращения потока воздуха. Управляя положением нулевой линии и временем нахождения движущейся частицы в разных зонах, можно влиять на скорость и направление полета зерновки в момент ее удара о движущуюся стенку деки. Это основополагающие характеристики в процессе шелушения.

Движение зерновки после ее срыва с ротора можно считать горизонтальным, поскольку расстояние между вращающимися ротором и декой относительно не большое. С другой стороны, вращающийся ротор, своей лопастью придаёт зерну большую скорость полета, достаточную для его шелушения. В таких условиях возможное осаждение зерновки в вертикальном направлении не существенно. Поэтому математическая модель движения зерна строится в двухмерной постановке [7, 8, 9].

Цель исследований – определение параметров оптимизации и повышения эффективности работы пневмомеханического шелушителя.

Методика. Для описания движения дисперсных частиц в воздушном потоке существует разные подходы [10, 11, 12]. Мы в своей работе решали векторное уравнение движения зерновки в лагранжевой системе координат с учетом скоростей и дифференциальных характеристик движения воздушного потока, описанных в эйлеровой системе координат [13, 14, 15]. Согласно такому подходу, уравнение движения зерновки в рабочем пространстве аппарата можно представить в виде следующего дифференциального уравнения:

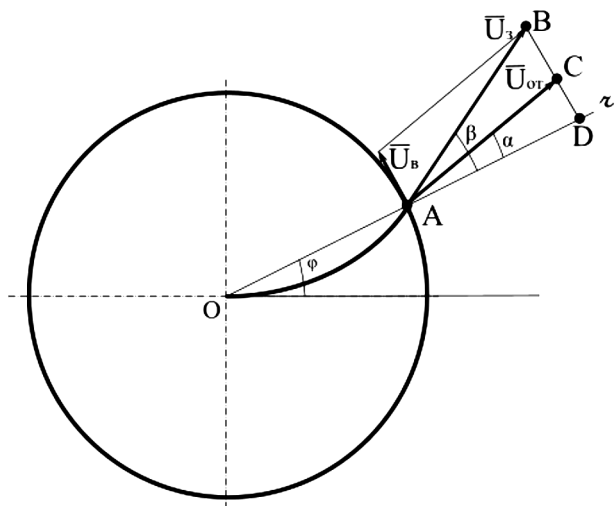


Рис. 1. К расчету траектории движения зерна $\vec{U}_3, \vec{U}_B, \vec{U}_{OT}$ – вектора скоростей зерна, воздушного потока и относительной скорости, м/с; α – угол наклона относительной скорости, рад; β – угол срыва зерна с кромки диска, рад; (r, φ) – полярные координаты.

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

где \vec{U}_3, \vec{U}_B – вектора скоростей зерна и воздушного потока, м/с; $k=3c_p \rho_a^2 / 4d\rho_z$ – коэффициент парусности зерновки, 1/м (где c_p – коэффициент сопротивления воздушному потоку, зависящий от формы зерна и свойств его поверхности; ρ_a – плотность воздуха, кг/м³; ρ_z – плотность зерновки, кг/м³; d – эквивалентный диаметр зерновки, м).

Скорость зерна представим в виде суммы скорости воздушного потока и относительной скорости $\vec{U}_3 = \vec{U}_B + \vec{U}_{OT}$. 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 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.

Если относительную скорость представить как вектор $\vec{U}_{OT} = (u \cos \alpha, u \sin \alpha) = u\vec{e}$, то уравнение (1) запишется в виде:

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

Здесь $\vec{e} = (e_1, e_2) = \cos \alpha \cdot \vec{i} + \sin \alpha \cdot \vec{j}$ – единичный вектор относительной скорости; \vec{i} и \vec{j} – орты цилиндрической системы координат (r, φ) .

После подстановки зависимости $\vec{U}_3 = \vec{U}_B + u\vec{e}$, с учетом стационарности воздушного потока, уравнение (2) примет следующий вид:

$$\left(\frac{du}{dt} + ku^2\right)\vec{e} + u\frac{d\vec{e}}{dt} = -(\vec{U}_B \cdot \vec{v})\vec{U}_B - (\vec{U}_{OT} \cdot \vec{v})\vec{U}_B.$$

С помощью известных формул векторного анализа правую часть этого уравнения можно расписать в ортогональной системе координат. Для моделирования движения зерновки в пневмомеханическом шелушителе, полученное векторное уравнение было расписано в цилиндрической системе координат (r, φ) . После ряда трудоемких преобразований были получены следующие обыкновенные дифференциальные уравнения для модуля относительной скорости и угла ее направления:

$$\frac{du}{dt} = -ku^2 - (P_r + E_r) \cos \alpha - (P_\varphi + E_\varphi) \sin \alpha, \quad (3)$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = (P_r + E_r) \frac{\sin \alpha}{u} - (P_\varphi + E_\varphi) \frac{\cos \alpha}{u}, \quad (4)$$

где

$$P_r = V_B \frac{\partial V_B}{\partial r} + \frac{W_B}{r} \frac{\partial V_B}{\partial \varphi} - \frac{W_B^2}{r},$$

$$P_\varphi = V_B \frac{\partial W_B}{\partial r} + \frac{W_B}{r} \frac{\partial W_B}{\partial \varphi} + \frac{V_B W_B}{r},$$

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

$$E_\varphi = u \left[\cos \alpha \frac{\partial W_B}{\partial r} + \frac{\sin \alpha}{r} \frac{\partial W_B}{\partial \varphi} + \sin \alpha \frac{V_B}{r} \right],$$

где через V_a, W_a обозначены компоненты вектора скорости воздушного потока, направленные по осям r и φ .

Для численного решения системы уравнений (3), (4) необходимо задавать начальные условия $u(0)$ и $\alpha(0)$ при $t=0$. Состояния векторов скоростей воздушного потока \vec{U}_B , зерновки \vec{U}_3 и относительной скорости \vec{U}_{OT} в начале полета (см. рис. 1). В момент

срыва зерна с вращающегося диска угол β , то есть направление вектора скорости зерна \vec{U}_3 известен. Это угол наклона касательной к лопасти на кромке ротора, который задается как исходная характеристика аппарата. Тангенциальная составляющая воздушного потока \vec{U}_B перпендикулярна к радиусу вектора Or . Угла наклона вектора относительной скорости зерна $\vec{U}_{от}$ в начале полета необходимо вычислить. На рис. 1 он обозначен как $\alpha = \angle CAD$. Из прямоугольного треугольника ABD имеем $\angle ABD = 90^\circ - \beta$. Тогда углы треугольника ABC определяются следующими соотношениями: $\angle BAC = \beta - \alpha$, $\angle ABC = 90^\circ - \beta$, следовательно, $\angle ACB = 180^\circ - \angle ABC - \angle BAC = 90^\circ + \alpha$. Стороны треугольника равны модулям соответствующих векторов скоростей: $BC = |\vec{U}_B|$, $AC = |\vec{U}_{от}|$, $AB = |\vec{U}_3|$.

Запишем для треугольника ABC теорему косинусов:

$$|\vec{U}_{от}|^2 = |\vec{U}_B|^2 + |\vec{U}_3|^2 - 2|\vec{U}_B| \cdot |\vec{U}_3| \cos \angle ABC.$$

Отсюда находим:

$$u(0) = \sqrt{|\vec{U}_B|^2 + |\vec{U}_3|^2 - 2|\vec{U}_B| \cdot |\vec{U}_3| \sin \beta}. \quad (5)$$

Теперь применим теорему синусов:

$$\frac{\sin \angle ABC}{|\vec{U}_{от}|} = \frac{\sin \angle BAC}{|\vec{U}_B|}.$$

С учетом равенства $\sin(90^\circ - \beta) = \cos \beta$ это соотношение примет вид:

$$\sin(\beta - \alpha) = \frac{|\vec{U}_B|}{|\vec{U}_{от}|} \sin(90^\circ - \beta). \quad (6)$$

Итак, для вычисления направления вектора относительной скорости зерновки, в момент ее срыва с диска, окончательно получим:

$$\alpha(0) = \beta - \arcsin\left(\frac{|\vec{U}_B|}{u(0)} \cos \beta\right). \quad (7)$$

Проведем предварительный анализ построенных начальных условий (5) и (7). При уменьшении угла β , значение функции $\sin \beta$ то же уменьшается. Поэтому, как следует из формулы (5), при уменьшении угла срыва модуль относительной скорости $u(0)$ возрастает. В предельном случае $\beta \rightarrow 0$ получим зависимость $u^2 = |\vec{U}_B|^2 + |\vec{U}_3|^2$. Следовательно, когда вектора \vec{U}_B и \vec{U}_3 перпендикулярны, при увеличении любого из них относительная скорость возрастает. Если $\beta = 0$, то формула (6) примет вид:

$$\sin(-\alpha) = \frac{|\vec{U}_B|}{|\vec{U}_{от}|}$$

Поэтому, поскольку функция $\sin(\alpha)$ является нечетной, угол наклона $\alpha(0)$ в момент срыва зерновки с диска будет отрицательным.

Если зерновка срывается по направлению касательной к ротору, то формула (5) преобразуется к виду $u(0) = \vec{U}_3 - \vec{U}_B$, а зависимость (7) примет вид $\alpha(0) = \beta$. Следовательно, при условии $\beta = 90^\circ$ направление векторов скоростей зерновки \vec{U}_3 и воздушного потока \vec{U}_B совпадают, а относительная скорость равна их разности.

Результаты проведенного анализа свидетельствуют, что построенные зависимости (5) и (7) обоснованы, они согласуются с реальной картиной движения зерновки на границах возможного диапазона задания начальных условий. Таким образом, относительная скорость зерновки u и угла ее направления α могут быть вычислены с использованием дифференциальных уравнений (3)-(4) при начальных условиях (5) и (7).

Для расчета траектории движения зерна по известным значениям модуля относительной скорости

и угла ее направления необходимы соответствующие уравнения по радиальным и угловым координатам. Движение зерновки по тангенциальному направлению происходит благодаря ее окружной скорости и описывается дифференциальным уравнением:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{W_B + u \sin \alpha}{r}. \quad (8)$$

Перемещение зерновки в сторону деки по радиальному направлению является следствием двух скоростей – V_3 и W_3 . Вклад радиальной составляющей скорости V_3 тривиальный и описывается уравнением:

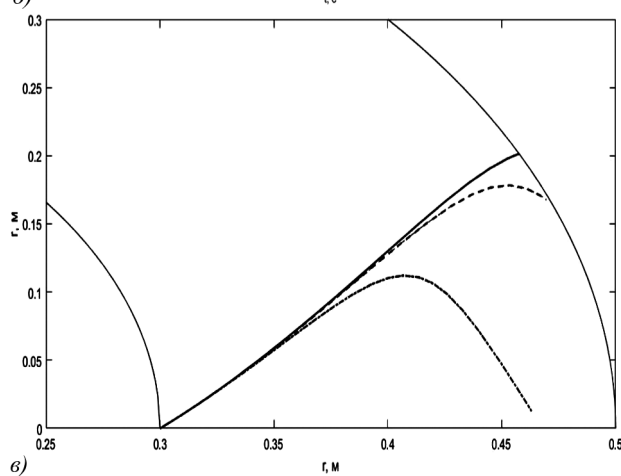
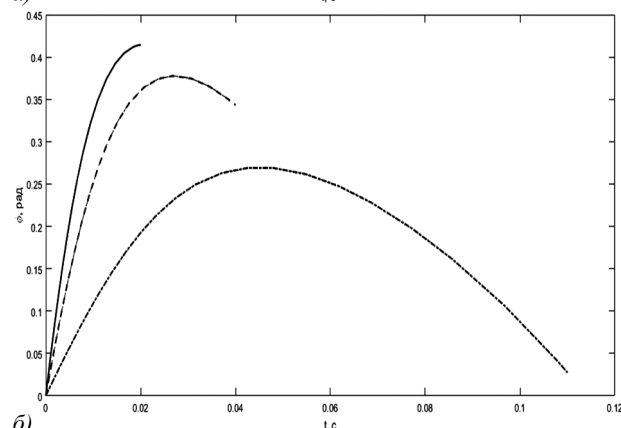
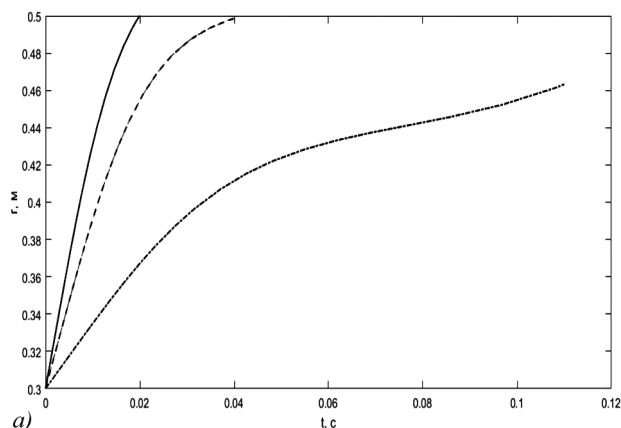


Рис. 2. Изменение радиальной (а) и угловой (б) координат зерновки, а также траектории зерна (в) при различных скоростях вращения диска для $\omega_2 = -15 \text{ с}^{-1}$, $\beta = 45^\circ$, $k=7$: сплошная линия – $\omega_1 = 60 \text{ с}^{-1}$, пунктирная линия – $\omega_1 = 40 \text{ с}^{-1}$, штрихпунктирная линия – $\omega_1 = 15 \text{ с}^{-1}$.

$$\frac{dr_1}{dt} = V_B + u \cos \alpha.$$

Движение зерновки в тангенциальном направлении сопровождается ее удалением от центра вращения. Для вычисления вклада тангенциальной составляющей скорости зерновки в ее перемещение по радиальному направлению можно использовать уравнение [7]:

$$\frac{dr_2}{dt} = (W_B + u \sin \alpha) \frac{\sin \varphi}{\cos^2 \varphi}.$$

Перемещения по радиальной координате, вызванные радиальными и тангенциальными составляющими скоростей зерновки, складываются: $r = r_1 + r_2$. Поэтому

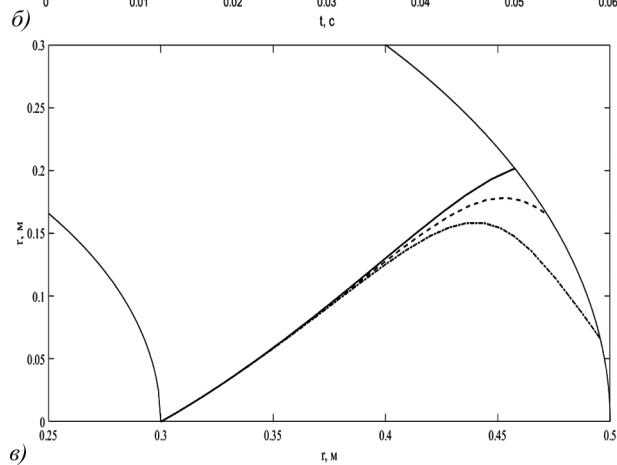
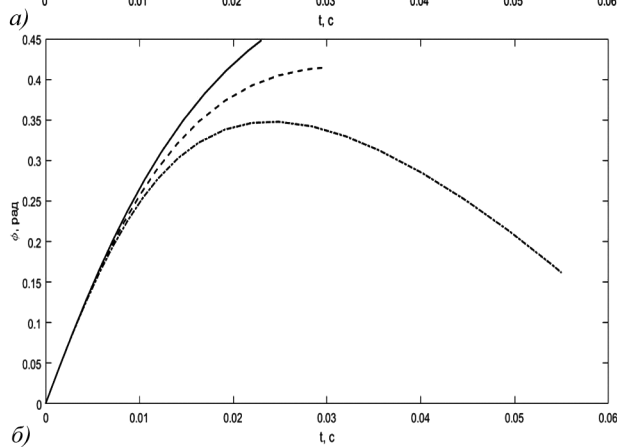
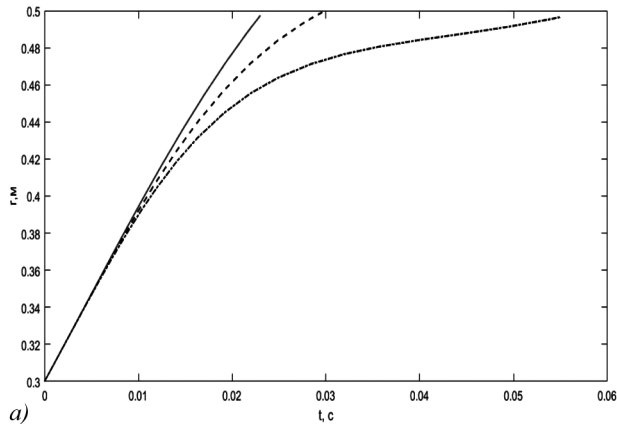


Рис. 3. Изменение радиальной (а) и угловой (б) координат зерновки, а также траектории ее движения (в) при различных скоростях вращения деки для $\omega_1 = 40 \text{ с}^{-1}$, $\beta = 45^\circ$, $k=7$: сплошная линия – $\omega_2 = -10 \text{ с}^{-1}$, разрывная линия – $\omega_2 = -15 \text{ с}^{-1}$, штрихпунктирная линия – $\omega_2 = -20 \text{ с}^{-1}$.

для расчета движение зерновки по радиальному направлению получим уравнение:

$$\frac{dr}{dt} = V_B + u \cos \alpha + (W_B + u \sin \alpha) \frac{\sin \varphi}{\cos^2 \varphi}. \quad (9)$$

Уравнения (8) и (9) решаются при следующих начальных условиях:

$$t = 0: \quad r = R_1, \quad V_3 = V_3(0) + u(0) \cos \alpha(0), \quad (10)$$

$$\varphi = \varphi_{\text{вр}}, \quad W_3 = \omega_1 R_1 + u(0) \sin(\alpha(0)).$$

Таким образом, траектория движения зерновки может быть рассчитана с использованием системы обыкновенных дифференциальных уравнений (3), (4),

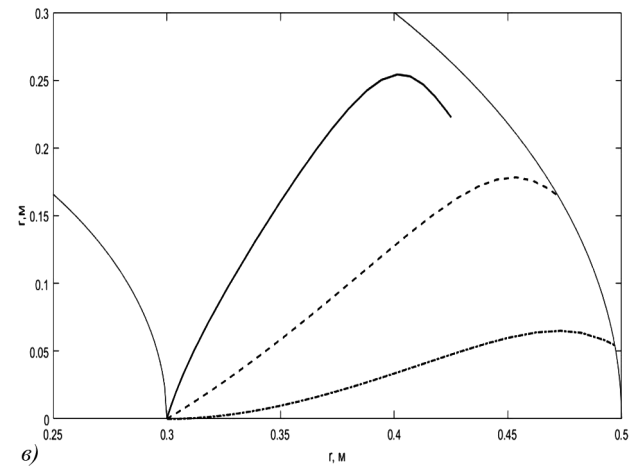
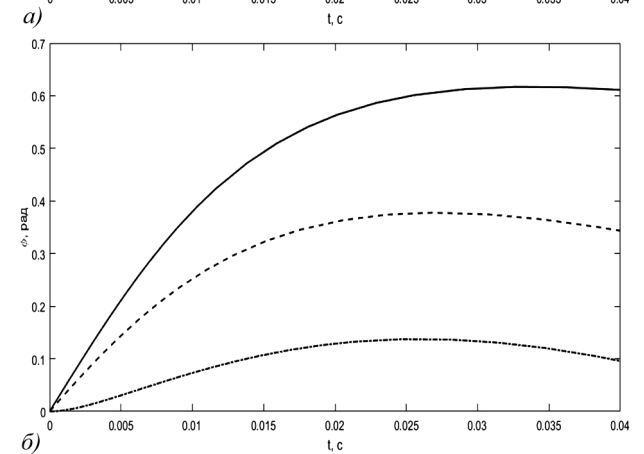
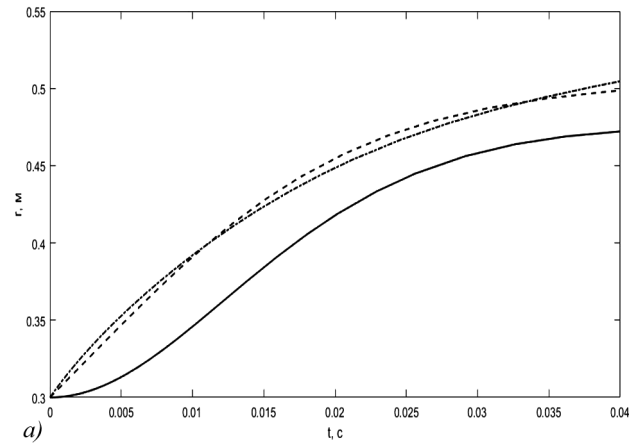


Рис. 4. Изменение радиальной (а) и угловой (б) координат зерновки, а также траектории ее движения (в) при различных значениях угла срыва для $\omega_1 = 40 \text{ с}^{-1}$, $\omega_2 = -15 \text{ с}^{-1}$, $k=7$: сплошная линия – $\beta = 90^\circ$, пунктирная линия – $\beta = 45^\circ$, штрихпунктирная линия – $\beta = 0^\circ$.

(8) и (9) при начальных условиях (5), (7), (10), которые могут быть решены численно.

Результаты и обсуждение. Численными расчетами были определены изменения радиальных и угловых координат, а также характерные формы траектории движения зерновки, в зависимости от скоростей вращения диска и деки, угла срыва и коэффициента парусности зерна. Согласно расчетам, проведенным по уравнениям (8) и (9), параметры движения зерновки зависят, прежде всего, от скорости вращения диска. На начальном участке движения, чем больше скорость вращения, тем быстрее растут координаты r и φ (рис. 2). Однако после попадания в зону движения воздушного потока в обратном направлении, интенсивность удаления зерновки от центра замедляется. При небольших скоростях вращения диска угловая координата начинает уменьшаться (см. рис. 2б), следовательно, зерновка увлекается воздушным потоком в обратном направлении.

При больших значениях скорости вращения диска ω_1 траектория доходит до стенки деки без значительных искривлений (рис. 2в). Искривление траектории связано с наличием обратного потока воздушной массы, интенсивность которого зависит от скорости вращения деки.

Анализ зависимости формы траектории и координат местоположения зерновки от скорости вращения деки ω_2 указывает на то, что при ее увеличении искривления координатных линий r и φ усиливаются (рис. 3), соответственно, меняется угол наклона вектора скорости зерновки в момент ее соударения со стенкой деки.

На поведение зерновки в рабочей зоне шелушителя сильно влияет угол срыва β (рис. 4). Особенно сильные изменения происходят с угловой координатой φ . Путем подбора угла β можно регулировать величину угла соударения зерновки с декой. Следовательно, конструктивный параметр β и режимный параметр ω_2 могут быть использованы как параметры оптимизации пневмомеханического шелушителя.

Результаты проведенного анализа показывают, что движения и угол соударения зерновки с декой могут сильно меняться при изменении ее физических параметров, которые в математической модели участвуют через коэффициент парусности k . По мере его увеличения возрастает искривление траектории (рис. 5). При этом степень влияния парусности зер-

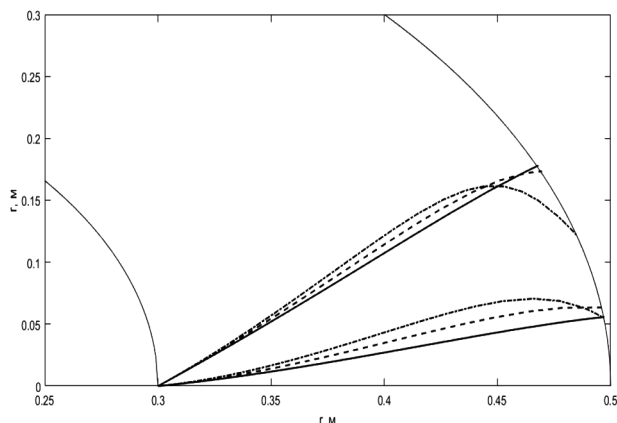


Рис. 5. Зависимость траектории зерна от коэффициента парусности для $\omega_1 = 30 \text{ с}^{-1}$, $\omega_2 = 15 \text{ с}^{-1}$: сплошная линия — $k=2$, пунктирная линия — $k=4$, штрихпунктирная линия — $k=6$ (в верхней группе $\beta=45^\circ$, в нижней — $\beta=10^\circ$).

новки увеличивается по мере роста угла срыва β . Это объясняется тем, что при больших углах срыва время нахождения и размер участка траектории зерновки в зоне обратного потока увеличивается.

Таким образом, при увеличении угловой скорости вращения деки ω_2 меняется угол наклона вектора скорости зерновки α при её соударении со стенкой деки. На зерновку, находящуюся в рабочей зоне шелушителя сильное влияние оказывает угол срыва β . Изменяя его величину можно регулировать угол соударений зерновки с декой. Необходимо отметить зависимость скорости движения зерновки и угла её соударения с декой и от физических параметров самой зерновки. Поэтому угол срыва β и угловая скорость вращения деки ω_2 могут быть использованы как параметры оптимизации пневмомеханического шелушителя.

Литература.

1. Анисимов А.В., Рудик Ф.Я. Результаты теоретического определения конструктивных и кинематических параметров рабочих органов шелушительной машины // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. № 4. С. 594–608.
2. Моделирование в среде SolidWorks Flow Simulation гидродинамики процессов шелушения и шлифования при переработке зерна / Э.П. Дяченко, Л.М. Титова, Н.П. Дяченко и др. // Вестник машиностроения. 2016. № 2. С. 55–58.
3. Салыхов Д.В., Невзоров В.Н., Мацкевич И.В. Совершенствование технологии переработки зерна пшеницы на роторно-лопастном шелушителе // Вестник КрасГАУ. 2020. № 3(156). С. 157–163.
4. Тишанинов К.Н. Теория взаимодействия частиц потока зерна // Наука в центральной России. 2015. № 1(13). С. 76–87.
5. Курманов А.К., Камышева Н.А. Математическая модель процесса дробления зерна в измельчителе ударно-центробежного типа // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. 2020. № 4. С. 131–135.
6. 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.
7. Моделирование траектории движения зерна по рабочим органам пневмомеханического шелушителя / Ю.Ф. Лачуга, Р.И. Ибятов, Б. Г. Зиганшин и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 4. С. 73–76.
8. Лаптев А.Г., Башаров М.М., Лаптева Е.А. Турбулентная миграция тонкодисперсных частиц в эмульсиях и суспензиях в напорных гидроциклонах // Инженерно-физический журнал. 2020. Т. 93. № 4. С. 819–824.
9. Лаптев А.Г., Башаров М.М. Математическая модель переноса и осаждения тонкодисперсных частиц в турбулентном потоке эмульсий и суспензий // Инженерно-физический журнал. 2018. Т. 91. № 2. С. 377–386.
10. Нигматуллин Р.И. Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987. Ч.1. 464 с.
11. Движение частицы при нелинейных колебаниях газа в открытой трубе в безударно-волновом режиме / Д.А. Губайдуллин, Р.Г. Зарипов, Л.А. Ткаченко и др. // Инженерно-физический журнал. 2015. Т. 88. № 4. С. 843–847.

12. Губайдуллин Д.А., Осипов П.П., Закиров А.Н. Диаграммы направления дрейфа частицы в стоячей волне с учетом силы Бассэ // Инженерно-физический журнал. 2015. Т. 88. № 3. С. 601–608.
13. Метод расчета траектории движения зерна в пневмомеханическом шлушителе / Ю.Ф. Лачуга, Р.И. Ибяттов, Ю.Х. Шогенов и др. // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 6. С. 64–67.
14. Некрасов А.К., Некрасова Е.И., Холтанов 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. Упрощенная модель движения капли в газовом потоке / А.М. Бренер, Н.П. Болгов, М.Т. Казиев и др. // Теоретические основы химической технологии. 1987. Т. 21. № 1. С. 126–130.

Поступила в редакцию 17.05.2022
После доработки 03.07.2022
Принята к публикации 22.08.2022

ОЦЕНКА ПОБОЧНЫХ ЭФФЕКТОВ КОНСЕРВИРОВАННОЙ ЦВЕТНОЙ КАПУСТЫ В МОДЕЛЬНОЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЕ

А.В. Самойлов, кандидат биологических наук, **Н.М. Сураева**, доктор биологических наук, **М.В. Зайцева**, аспирант

*Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, 142703, Московская обл., Видное, ул. Школьная, 78
E-mail: a.samoilov@fneps.ru*

В пищевых продуктах из растений семейства крестоцветных (Brassicaceae) кроме полезных для здоровья известных макроэлементов, многочисленных фитохимических соединений и природных антиоксидантов могут присутствовать компоненты, оказывающие токсическое воздействие на организм человека. В контексте оценки безопасности продуктов из этих овощей особый интерес представляет анализ отсроченных во времени проявления эффектов. В первую очередь обращают внимание на генотоксичный и мутагенный потенциал указанных соединений, однако возможны и нарушения, связанные с метаболическими процессами роста и развития тканей и органов. Цель исследования – оценка побочных эффектов воздействия овощного продукта в условиях биотестирования. В качестве объекта исследования было выбрано консервированное пюре для детского питания из цветной капусты. Оценку неблагоприятных побочных эффектов проводили с использованием растительного модельного организма – лука репчатого. Корни лука репчатого сначала инкубировали в 0,1 %-ном и 0,25 %-ном водных растворах экстрактов этого пюре, затем переносили в воду с целью дальнейшего восстановительного прорастания. В ходе опыта фиксировали такие показатели, как масса корней, митотический индекс и хромосомные нарушения в клетках апикальной меристемы. Частота патологий митоза в опытных образцах достоверно не отличалась от контрольных значений. Прирост массы корней был достоверно в 2 раза ниже после обработки корней 0,25 %-ым экстрактом, однако скорость прироста в этих образцах в течение восстановительного периода была в 1,5 раза выше, чем в контроле. При анализе процесса пролиферации в меристеме корней опытных образцов были выявлены негативные эффекты, связанные с достоверным увеличением до 28 % доли делящихся клеток, по сравнению с контролем. Полученные результаты свидетельствуют о необратимом митотоксичном эффекте экстракта пюре в условиях теста.

ASSESSMENT OF TOXIC SIDE EFFECTS OF CANNED CAULIFLOWER IN A MODEL PLANT TEST SYSTEM

Samoylov A.V., Suraeva N.M., Zaytseva M.V.

*Russian Research Institute of Canning Technology – Branch of V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems for RAS, 142703, Moskovskaya obl., Vidnoe, ul. Shkol'naya, 78
E-mail: a.samoilov@fneps.ru*

Health-promoting known macronutrients, numerous phytochemicals and natural antioxidants are presents in plants. In addition compounds that have a toxic effect on the human body may also be present in food products from plants of the cruciferous family (Brassicaceae). Analysis of time-delayed manifestations of the effects of toxic effects is of particular interest in the context of assessing the safety of products from these vegetables. First of all, genotoxic and mutagenic potential of some substances contained in these plants is drawn to the attention, however, disturbances associated with the metabolic processes of growth and development of tissues and organs are also possible. The aim of this study was to evaluate the side effects of the impact of a vegetable product under bioassay conditions. Canned cauliflower puree for baby food was chosen as the object of the study. The assessment of adverse side effects was carried out using a plant model organism onion. Onion roots were first incubated in 0,1 % and 0,25 % aqueous solutions of the extracts of this puree, and then transferred to water for the purpose of further regenerative germination. Such indicators as root mass, mitotic index, and chromosomal abnormalities in the cells of the apical meristem were recorded. It was found that the frequency of pathologies of mitosis in the experimental samples did not differ significantly from the control values. The increase in root mass was significantly twice lower after root treatment with 0,25 % extract, however, the growth rate in these samples during the recovery period was one and a half times higher than in the control. When analyzing the proliferation process in the meristem of the roots of the experimental samples, negative effects were revealed associated with a significant increase of up to 28 % in the proportion of dividing cells compared to the control. These results indicated an irreversible mitotoxic effect of the puree extract under the conditions of this test.

Ключевые слова: безопасность, консервированное пюре, Brassicaceae, биотестирование, токсичность, необратимость побочных эффектов.

Key words: safety, canned puree, Brassicaceae, biotesting, toxicity, irreversibility of side effects.

В последние десятилетия особое внимание в отношении качественных характеристик овощей уделяли фитохимическим соединениям и пищевым волокнам. По рекомендации Всемирной организации здравоохранения в ежедневном рационе человека должны присутствовать не менее 400 г овощей и фруктов [1]. Благодаря биоактивным веществам продукция растительного происхождения служит ценным источником природных антиоксидантов, которые участвуют в защите организма человека от повреждения активными

формами кислорода [2, 3]. Эпидемиологические данные свидетельствуют о том, что диета, богатая овощами и фруктами, оказывает положительный эффект на здоровье человека. Так, рацион с высокой долей овощей коррелирует с меньшим риском возникновения и развития сердечно-сосудистых заболеваний [4], связан с улучшением состояния желудочно-кишечного тракта, профилактикой против развития диабета [5, 6]. В исследованиях на клеточных линиях раковых клеток было выяснено, что природное фитохимическое соединение

индол-3-карбинол может действовать как химиопротективное средство, оказывая влияние на гормональный гомеостаз, ход клеточного цикла и пролиферацию клеток [7]. Наличие этих и многих других соединений с доказанной антиоксидантной активностью снижает проявление симптомов дегенеративных заболеваний, способствует уменьшению болевого синдрома и аллергических проявлений [8, 9].

Однако в овощах также могут содержаться вещества небезопасные для человека. Так, потребление шпината, ревеня, петрушки и других продуктов, содержащих оксалаты, может стать причиной образования камней в почках, снижения темпов роста костей, вызывать почечную токсичность, диарею [10]. Клубни картофеля содержат такие ядовитые гликоалкалоиды, как соланин и чаконин, воздействующие на нервную систему человека и приводящие к тяжелым расстройствам пищеварения, диарее, головным болям, слабости, судорогам, когнитивным нарушениям [11]. При введении в корм сельскохозяйственных животных большого количества рапса продукты распада глюкозинолатов, тиоцианаты, препятствуют усвоению йода и синтезу гормонов щитовидной железы, вызывая гипотиреоз [12]. Известны данные, указывающие на генотоксичный потенциал экстрактов лекарственных растений. В исследовании с оценкой аква-метанольного и н-гексанового экстрактов растения *K. laciniata* с использованием теста Эймса была выявлена значительная мутагенность обоих экстрактов. При этом аква-метанольный экстракт проявлял большую активность при воздействии на штамм TA-102 в максимальной дозе 150 мг (мутагенный индекс 54,7). Далее в МТТ-тесте на линии клеток почек хомячка ВНК-21 также было зафиксировано, что оба экстракта цитотоксичны с IC_{50} равным 321,9 и 638,5 мкг/мл для акваметанольного и н-гексанового экстрактов соответственно [13].

Кроме того, любой из компонентов пищевых матриц может оказывать негативное влияние на здоровье, будучи включенным в индивидуальную диету, в случае избыточного или частого употребления с вероятным последующем накоплением в организме токсичных продуктов обмена, генетических нарушений или способностью вызывать аллергические реакции [14]. Поэтому анализ проявления отсроченного во времени токсического воздействия веществ, содержащихся в продуктах питания, важный аспект оценки безопасности их употребления, так как возникающие в таком случае необратимые физиологические и биохимические изменения могут негативно отразиться на тех или иных обменных процессах и работе органов человека. Особый интерес вызывает обратимость возникающих генотоксических проявлений после воздействия ксенобиотиков, опасность которых связана, прежде всего, с возможностью наследования этих нарушений через половые клетки. Результаты анализа отсроченных эффектов одного из метаболитов растений – бензойной кислоты – с использованием Аллиум-теста свидетельствуют, что это соединение может инициировать появление необратимых хромосомных нарушений в клетках меристемы корней лука *Allium cepa* [15]. Некоторые эксперты рассматривают оценку генотоксичности тех или иных веществ в качестве предварительного этапа их скрининга на канцерогенность [16].

Для изучения токсичности растительных пищевых и лекарственных компонентов разработаны различные модели, в которых в качестве биоиндикаторов предусмотрены штаммы микроорганизмов, клеточные линии млекопитающих и лабораторные животные.

Однако использование растительных тестов имеет ряд преимуществ. Они удобны в исполнении, экономичны, отличаются высокой чувствительностью, при этом их результаты хорошо коррелируют с аналогичными данными полученными на других моделях [17]. Чаще всего для оценки неблагоприятных генотоксичных и метаболических эффектов ксенобиотиков используются Аллиум-тест [18, 19, 20].

В культуре потребления в России широко распространены такие овощи из семейства крестоцветных (*Brassicaceae*), как цветная капуста, брокколи и белокочанная капуста. Одна из самых ярких особенностей этого ботанического семейства – наличие нескольких видов вторичных метаболитов с характерным вкусом, а также доказанной биоактивностью. Наиболее полно изучены глюкозинолаты и продукты их распада – изотиоцианаты и индолы [21, 22, 23]. Кроме того, перечисленные виды обладают уникальными профилями фенольных соединений, каротиноидов и других групп менее изученных веществ (фитоалексины, терпены, фитостероиды и токоферолы). Так, в брокколи, редисе и капусте брюссельской были найдены флавоноиды (кверцетин, цианидин), фенольные кислоты (хлорогеновая и феруловая кислоты), многочисленны глюкозинолаты (глюкобрафин, глюкоберин), изотиоцианаты (сульфорафен, сульфорафан и индол-3-карбинол) [7]. Учитывая немалый объем потребления цветной капусты особенно в консервированном виде для детского питания, а также принимая во внимание приведенные данные о характере токсичности и генотоксичности различных растительных соединений, представляются актуальными исследования по изучению отсроченных эффектов негативного воздействия этого продукта.

Цель исследования – изучение характера токсического воздействия (обратимое или необратимое) экстракта пюре из цветной капусты на проростки массы, цитологические и цитогенетические показатели корней *Allium cepa*.

Методика. В качестве объекта исследования было выбрано обезличенное консервированное пюре для детского питания из цветной капусты российского производства, приобретенное в местной торговой сети. Подготовку образцов осуществляли согласно ранее разработанной методике [24]. Для этого на первом этапе готовый продукт распределяли тонким слоем на поверхности поддона и сушили в вакуумном шкафу при температуре 65 °С и давлении 88,3 кПа в течение 210 мин. Затем высушенный порошок экстрагировали горячей (70 °С) бутилированной водой. Раствор с концентрацией экстракта 0,25 % разливали по пробиркам и центрифугировали при 1000 g. Далее отбирали жидкость над осадком и очищали ее от нерастворимых частиц с помощью бумажного фильтра. Полученный раствор экстракта разбавляли бутилированной водой до концентрации 0,1 %.

В работе использовали модифицированный вариант классического биотестирования с луком репчатый [25]. Для процедуры были отобраны луковицы сорта Штутгартен Ризен одинаковой массы (5...7 г) и диаметра (до 3 см), с которых предварительно удаляли сухую чешую. Перед тем как поместить лук-севок в тестируемые растворы, донце каждой луковицы зачищали ножом для ускорения прорастания корней. Луковицы помещали в пробирки с бутилированной водой на сутки в термостат (24±1 °С) для предварительного проращивания. Затем отбирали образцы с наибольшим количеством проросших корней длиной не менее 1 см и помещали в растворы экстракта пюре двух указанных ранее кон-

центраций (опыт) и бутилированную воду (контроль). В каждом варианте опытных и контрольных групп использовали по десять луковиц. Инкубацию в растворах проводили еще в течение суток. Затем половина луковиц извлекали, срезали корни и измеряли их массу. Для оценки обратимости токсических эффектов в биосистеме вторая половина луковиц после экспозиции в экстрактах овощного пюре перемещали в бутилированную воду еще на 24 ч. Отрезанные кончики корней луковиц всех опытных и контрольных вариантов помещали в фиксатор Кларка. Для анализа цитогенетических параметров апикальной меристемы корней лука использовали моментальные давленные препараты [25, 26]. Определяли митотический индекс (МИ) и количество хромосомных aberrаций (ХА):

$$\text{МИ}(\%) = \frac{\text{количество клеток в митозе}}{\text{общее количество проанализированных клеток}};$$

$$\text{ХА}(\%) = \frac{\text{количество просмотренных хромосомных aberrаций}}{\text{общее количество проанализированных клеток (делящиеся клетки)}}.$$

На один вариант опыта в среднем было просмотрено порядка 7000 клеток.

Статистическую обработку результатов проводили в программах Microsoft Excel 2016 и Statistica 12. Для показателя прироста массы корней использовали двухфакторный дисперсионный анализ (ANOVA) с последующим апостериорным сравнением средних по критерию Тьюки ($p \leq 0,05$). Перед предварительно проводили анализ данных на нормальное распределение по критерию Шапиро-Уилка ($p \leq 0,05$) и гомогенность распределения дисперсий по критерию Левана ($p \leq 0,05$). Анализ показателей митотического индекса и частоты хромосомных aberrаций, характеризующихся биномиальным распределением, осуществляли с использованием точного критерия Фишера ($p \leq 0,05$).

Результаты и обсуждение. Дозозависимую задержку в приросте массы корней в опытных образцах, по сравнению с контрольными, наблюдали до и после восстановительного проращивания (рис. 1). Однако скорость прироста массы в опытных образцах в течение восстановительного периода превышала величину

этого показателя в контроле. В итоге после прекращения воздействия экстракта в концентрации 0,1 %, статистически достоверных различий не наблюдали. В образцах с более высокой дозой экстракта (0,25 %) масса корней значимо отличалась от контроля. Таким образом, хотя полученные результаты и продемонстрировали обратимый характер токсичного действия исследуемого экстракта на прирост массы корней, полное восстановление наблюдали только при обработке 0,1 %-ным экстрактом.

В работе по оценке прироста массы корней лука после обработки бензойной и сорбиновой кислотами в условиях восстановительного проращивания также была отмечена достоверная разница, по сравнению с контролем, при небольших дозах консервантов (50 и 100 мг/л) [15]. Как известно [27], этот показатель отражает весь комплекс адаптационных реакций организма на внешний стресс. Поэтому при оценке потенциальной токсичности тех или иных ксенобиотиков, возможно, следует обращать внимание на уровень его восстановления (полный или частичный).

Известно, что как снижение, так и увеличение скорости деления меристемных клеток в биотесте может свидетельствовать о наличии неблагоприятных процессов [27]. После обработки корней экстрактом митотический индекс достоверно уменьшался, по сравнению с контролем, а после восстановительного проращивания, наоборот, был выше контрольных значений (рис. 2). Доля делящихся клеток в меристеме корней в образцах с концентрацией экстракта 0,1 % и 0,25 % после восстановительного проращивания была выше, чем в контроле, на 28 % и 16,5 %, соответственно.

Полученные данные свидетельствуют о необратимом негативном эффекте на процесс пролиферации клеток. При оценке токсичных эффектов лимонной кислоты на корни чеснока был обнаружен похожий результат. После обработки корней этой кислотой в дозе 200 мг/л и последующего этапа восстановительного проращивания в течение суток уровень митотического индекса также был значительно выше контрольных значений [28]. В на-

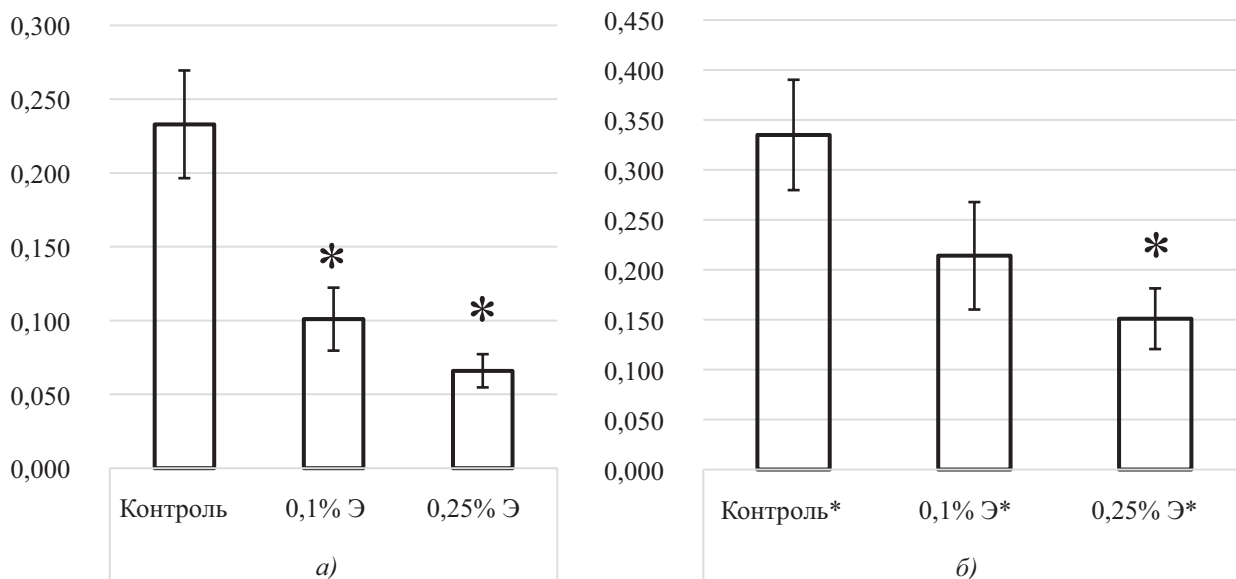


Рис. 1. Масса корней, г/луковицу: а) без последующего проращивания в воде; б) с последующим проращиванием в воде; Э – раствор водного экстракта пюре из цветной капусты, *варианты опыта, статистически достоверно отличающиеся от контроля (планки погрешности обозначают величину стандартного 95 %-ного интервала, значения F-статистики: $F_{1,11}=39,2$ ($p \leq 0,001$) и $F_{1,11}=43,0$ ($p \leq 0,001$) для факторов «последующее проращивание» и «концентрация экстракта» соответственно).

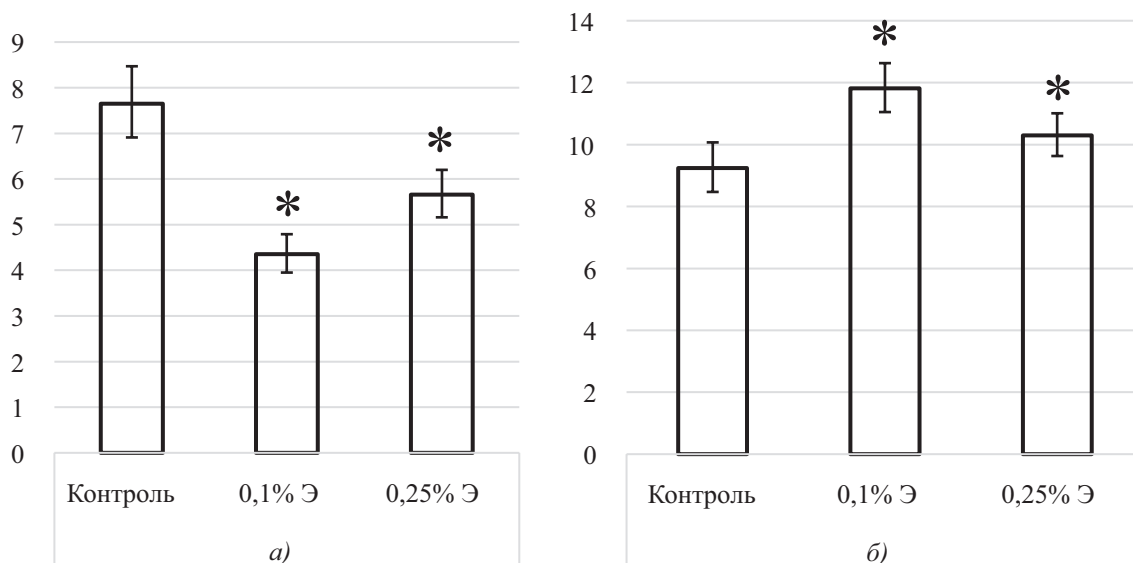


Рис. 2. Митотический индекс, %: а) без последующего проращивания в воде; б) с последующим проращиванием в воде; Э – раствор водного экстракта пюре из цветной капусты, *варианты опыта, статистически достоверно отличающиеся от контроля (планки погрешности обозначают величину стандартного 95 %-ного интервала по методу Уилсона с коррекцией непрерывности).

учной литературе обсуждался механизм этого явления, и было выдвинуто предположение, что токсическое воздействие могло индуцировать задержку пролиферации клеток меристемы в профазе и метафазе, что и приводило к увеличению доли делящихся клеток [29]. Однако

митозе. При этом слипание и фрагментация хромосом, как и в нашем исследовании, были наиболее частыми aberrациями [30]. При анализе развития побочных токсичных эффектов в корнях лука после их обработки водными растворами яблочных соков от различных про-

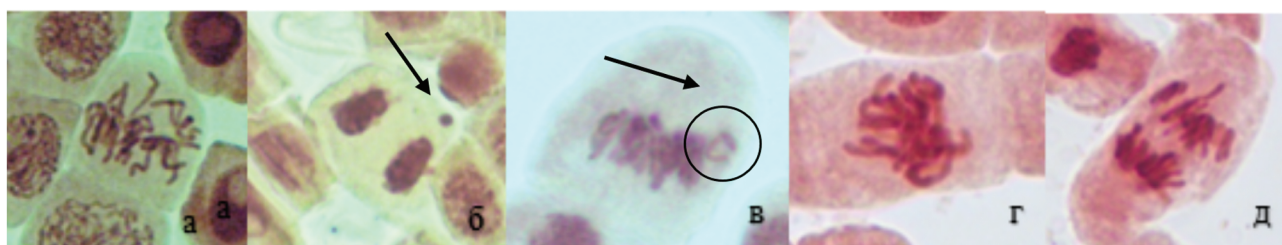


Рис. 3. Препараты клеток меристемы корней лука с характерными патологиями митоза: а) дезорганизация хромосом в метафазе, б) микродро, в) отрыв хромосомы в метафазе, г) слипание хромосом в метафазе, д) дезорганизация хромосом в анафазе.

при анализе аналогичных данных в нашем исследовании указанной закономерности обнаружить не удалось.

При анализе препаратов апикальной меристемы отмечали следующие виды патологий деления: дезорганизация, слипание, отставание хромосом в метафазе и анафазе, небольшая часть нарушений приходилась на образование микроядер и фрагментов хромосом в делящихся клетках (рис. 3).

Результаты анализа частоты патологий митоза, выявленных при тестировании экстрактов из пюре цветной капусты свидетельствуют, что уровни хромосомных aberrаций до и после восстановительного проращивания, как в опытных, так и в контрольных образцах статистически не различались (см. табл.). Наиболее часто встречающимися нарушениями во всех вариантах опыта были слипание хромосом в метафазе и дезорганизация хромосом в анафазе (до 42 % и 36 % соответственно). Следует отметить, что при анализе цитогенетических эффектов в Аллиум-тесте двух часто используемых пищевых консервантов – бензоата натрия и метабисульфита натрия – были зарегистрированы необратимые эффекты в отношении уровня хромосомных aberrаций при

Оценка последствий побочных эффектов воздействия экстрактов пюре из цветной капусты на показатели генотоксичности корней лука

Вариант	Хромосомные aberrации, % в расчете на*	
	общее число клеток	делящиеся клетки
До восстановительного проращивания		
Контроль	0,22/0,37/0,61 ^a	2,93/4,84/7,79 ^a
0,1 % Э	0,14/0,22/0,34 ^{ab}	3,30/5,16/7,90 ^{ab}
0,25 % Э	0,29/0,42/0,60 ^{ac}	5,28/7,48/10,45 ^{ab}
После восстановительного проращивания		
Контроль	0,15/0,27/0,46 ^a	1,66/2,90/4,94 ^a
0,1 % Э	0,17/0,28/0,45 ^a	1,43/2,33/3,73 ^a
0,25 % Э	0,15/0,25/0,40 ^a	1,52/2,45/3,87 ^a

* данные представлены в следующем формате: нижняя граница 95 %-ного интервала по методу Уилсона/среднее значение/верхняя граница 95 %-ного интервала по методу Уилсона (с коррекцией непрерывности), Э – раствор водного экстракта пюре из цветной капусты, одинаковыми буквами обозначены данные, не различающиеся статистически (p ≤ 0,05).

изводителей также наблюдали значительное повышение хромосомных aberrаций вплоть до шестикратных значений во всех опытных группах, по сравнению с контролем [31]. Таким образом, различные пищевые компоненты в силу своей структуры и состава влияли на развитие побочных генотоксических эффектов. Однако результаты наших исследований продемонстрировали отсутствие побочных генотоксических эффектов консервированного пюре из цветной капусты.

Таким образом, в условиях Allium-теста отмечены частично отсроченные эффекты воздействий 0,25 %-ным раствором экстракта консервированного пюре из цветной капусты в отношении прироста массы корней. Наиболее очевидные побочные негативные последствия обработки корней экстрактом в концентрациях 0,1 % и 0,25 % наблюдали при оценке пролиферативного потенциала клеток меристемы корней. Генотоксических и мутагенных нарушений в этих клетках обнаружить не удалось. Тем не менее, учитывая функциональность и возможность длительного употребления продукта, следует принять во внимание обнаруженные побочные эффекты с целью дальнейшего изучения.

Литература

1. World Health Assembly 55. Resolution WHA55.23. Diet, physical activity and health. Geneva, 2002. 75 p.
2. Eggersdorfer M., Wyss A. Carotenoids in human nutrition and health // *Arch. Biochem. Biophys.* 2018. No. 652. P. 18–26. doi: 10.1016/j.abb.2018.06.001.
3. Antioxidants from plants protect against skin photoaging / G. Petruk, R. Del Giudice, M.M. Rigano, D.M. Monti // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity.* 2018. 1454936. URL: <https://www.hindawi.com/journals/omcl/2018/1454936/> (дата обращения: 12.05.2022). doi: 10.1155/2018/1454936.
4. Mullie P., Clarys P. Association between cardiovascular disease risk factor knowledge and lifestyle // *Food and Nutrition Science.* 2011. No. 2. P. 1048–1053. doi:10.4236/fns.2011.210140.
5. Carbone K. *Cultivars: Chemical properties, antioxidant activities and health benefits.* New York: Nova Science Publishers, 2013. 281 p.
6. Phytochemical characterization of five edible purple-reddish vegetables: anthocyanins, flavonoids, and phenolic acid derivatives / A.D. Frond, C.I. Iuhas, I. Stirbu, et al. // *Molecules.* 2019. Vol. 24. No. 8:1536. URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/24/8/1536/html> (дата обращения: 12.05.2022).
7. Anti-cancer and cardioprotective effects of indol-3-carbinol in doxorubicin-treated mice / A.A. Adwas, A.A. Elkhoely, A.M. Kabel, et al. // *J. Infect. Chemother.* 2016. Vol. 22. No. 1. P. 36–43. doi: 10.1016/j.jiac.2015.10.001.
8. Broccoli and radish sprouts are safe and rich in bioactive phytochemicals / N. Baenas, I. Gómez-Jodar, D.A. Moreno, et al. // *Postharvest Boil. Technol.* 2017. No. 127. P. 60–67. doi: 10.1016/j.postharvbio.2017.01.010.
9. Wang C., Wang C. Anti-nociceptive and anti-inflammatory actions of sulfuraphane in chronic constriction injury-induced neuropathic pain mice // *Inflammopharmacology.* 2017. Vol. 25. No. 1. P. 99–106. doi: 10.1007/s10787-016-0307-y.
10. Vegetable food toxicants and their harmful effects on health / A. Sultan, B. Afroza, S. Mufit, et al. // *International journal current microbiology and applied sciences.* 2020. No. 11. P. 1923–1936.
11. Potato glycoalkaloids and adverse effects in humans: an ascending dose study / T. Mensinga, A. Sips, C. Rompelberg, et al. // *Regulatory toxicology and pharmacology.* 2005. Vol. 41. No. 1. P. 66–72. doi: 10.1016/j.yrtph.2004.09.004.
12. Griffiths D.W., Birch A.N.A., Hillmann J.R. Antinutritional compounds in the Brassicaceae – analysis, biosynthesis, chemistry and dietary effects // *Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 1998. Vol. 73. No. 1. P. 1–18. doi: 10.1080/14620316.1998.11510937. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14620316.1998.11510937> (дата обращения: 14.05.2022).
13. Genotoxic and cytotoxic potential of whole plant extracts of *Kalanchoe laciniata* by Ames and MTT assay / A. Sharif, M.F. Akhtar, B. Akhtar, et al. // *EXCLI J.* 2017. No. 16. P. 593–601. doi: 10.17179/excli2016-748.
14. Molecular mechanisms of toxicity of important food-borne phytotoxins / I.M.C.M. Rietjens, M.J.M. Martena, M.G. Boersma, et al. // *Mol. Nutr. Food. Res.* 2005. Vol. 49. No. 2. P. 131–158. doi: 10.1002/mnfr.200400078.
15. Оценка последствий токсических эффектов пищевых консервантов методом биотестирования / А.В. Самойлов, Н.М. Сураева, М.В. Зайцева и др. // *Российская сельскохозяйственная наука.* 2021. № 4. С. 71–75. doi:10.31857/S2500262721040153.
16. (Q)SAR methods for predicting genotoxicity and carcinogenicity: scientific rationale and regulatory frameworks / C. Bossa, R. Benigni, O. Tcheremenskaia, et al. // *Methods Mol Biol.* 2018. No. 1800. P. 447–473. doi: 10.1007/978-1-4939-7899-1_20.
17. In vitro and in vivo evaluation of enzymatic and antioxidant activity, cytotoxicity and genotoxicity of curcumin-loaded solid dispersions / I. Silva de Sá, A.P. Peron, F.V. Leimann, et al. // *Food Chem Toxicol.* 2019. No. 125. P. 29–37. doi: 10.1016/j.fct.2018.12.037.
18. Industrial milk powder in bioassays for evaluation of cytotoxicity and genotoxicity / R.A.M. Moura, M.M.M. Marques, H.M. Pereira, et al. // *Bioscience Journal.* 2017. Vol. 33. No. 6. P. 1622–1631. doi: 10.14393/BJ-v33n6a2017-37266.
19. Chandraker S., Singh P., Pandey B. Clastogenic effect of soft drink on root tip of *Allium cepa* // *International journal of current microbiology and applied sciences.* 2014. Vol. 3. No. 5. P. 200–206.
20. Evaluation of cytogenotoxic effects of cold aqueous extract from *Achyrocline satureioides* by *Allium cepa* L test / M.C. Sabini, L.N. Cariddi, F.M. Escobara, et al. // *Nat Prod Commun.* 2011. Vol. 6. No. 7. P. 995–998. doi: 10.1177/1923478X1100600718.
21. Functional ingredients from Brassicaceae species: overview and perspectives / D. Ramirez, A. Abellán-Victorio, V. Beretta, A. Camargo, D.A. Moreno // *International Journal of Molecular Sciences.* 2020. Vol. 21. No. 6. P. 1998. URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/6/1998> (дата обращения: 11.05.2022). doi: 10.3390/ijms21061998.
22. Argento S., Melilli M.G., Branca F. Enhancing greenhouse tomato-crop productivity by using *Brassica macrocarpa* Guss. leaves for controlling root-knot nematodes // *Agronomy.* 2019. Vol. 9. No. 12. P. 820. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/12/820> (дата обращения: 15.05.2022). doi: 10.3390/agronomy9120820.
23. The glucosinolates and variation of antioxidant compounds in seeds and sprouts of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) and rocket (*Eruca sativa* L.) in relation to temperature and germinative stage / F. Branca, R. Lucia, T. Alessandro, et al. // *Acta Hort.* 2013. No. 1005. P. 271–278. doi:10.17660/ActaHortic.2013.1005.30.
24. Исследование токсичного потенциала экстракта консервированного пюре из цветной капусты в

- модельной растительной тест-системе / А.В. Самойлов, Н.М. Сураева, М.В. Зайцева и др. // Пищевая промышленность. 2021. № 7. С. 32-35. doi: 10.52653/PPI.2021.7.7.013.
25. Fiskesjö G. The *Allium* test as a standard in environmental monitoring // *Hereditas*. 1985. Vol. 102. No. 1. P. 99-112. doi: 10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x.
26. Самойлов А.В., Сураева Н.М., Зайцева М.В. Оценка микроструктурных изменений в переработанных продуктах из зелёного горошка // Пищевые системы. 2021. Т. 4. № 3. С. 213-220. doi:10.21323/2618-9771-2021-4-3-213-219.
27. Leme D.M., Marin-Morales M.A. *Allium cepa* test in environmental monitoring: a review on its application // *Mutat Res*. 2009. Vol. 682. No. 1. P.71-81. doi: 10.1016/j.mrrev.2009.06.002.
28. Cytogenetic effects of citric acid and benzoic acid on *Allium* chromosomes / S. Yilmaz, F. Unal, H. Aksoy, et. al. // *Fresenius Environmental Bulletin*. 2008. Vol. 17. No. 8. P. 1029-1037.
29. Dovgaljuk A.I., Kalinjak T.B., Blum Ya.B., Cytogenetic effects of toxic metals salts on germs apical meristem cells of *Allium cepa* L. / *Tsitol. Genet*. 2001. Vol. 35. No. 2. P. 3–10.
30. Onyemaobi O.I., Williams G.O., Adekoya K.O. Cytogenetic effects of two food preservatives, sodium metabisulphite and sodium benzoate on the root tips of *Allium* // *Ife Journal of Science*. 2012. Vol. 14. No. 1. P.155–165.
31. Bioassay of oxidative properties and toxic side effects of apple juice / A.V. Samoylov, N.M. Suraeva, M.V. Zaytseva, et. al. // *Foods and Raw Materials*. 2022. Vol. 10. No. 1. P. 176-184. doi:10.21603/2308-4057-2022-1-176-184.

Поступила в редакцию 23.05.2022

После доработки 15.07.2022

Принята к публикации 30.08.2022

Правила для авторов

1. Редакция помещает не более двух статей одного автора в год. Это правило не распространяется на академиков и членов-корреспондентов РАН и других академий.

2. Объем статьи не менее **12 стр.**, включая таблицы (не более 4), рисунки (не более 4), библиографию (до 25 названий). Статья, набранная **крупным шрифтом через 1,5 интервала, пересылается по E-mail: nsm2308@yandex.ru**. В ней должны быть указаны **УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, степени, полное название учреждения с адресом, E-mail, реферат** объемом 200-250 слов с указанием цели опытов, объекта исследований, анализа полученных данных), **ключевые слова и все продублировано на английском языке. Таблицы и рисунки в одном файле с текстом. В тексте выделить «Методика» и «Результаты и обсуждение»**. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах, графиках недопустимо. В конце статьи указать номер телефона (служебный, домашний, мобильный) каждого соавтора.

3. Рисунки (графический материал) должны быть выполнены **четко, представлены на отдельном листе в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей, и/или на электронном носителе** (программы «Adobe PhotoShop», «Adobe Illustrator»).

4. **Статья с большим количеством формул (не более 10) представляется на электронном носителе** – (программа «MS Equation» или подобная).

5. При описании методики исследования следует ограничиваться оригинальной ее частью, при элементном анализе приводить только усредненные данные.

6. Используемая литература приводится в порядке очередности упоминания, в тексте – цифровые ссылки в квадратных скобках. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. Доля ссылок на источники старше 10 лет не должна превышать 30 % списка литературы, доля ссылок на публикации в журналах из ядра РИНЦ за последние 8 лет должна составлять не менее 50 % списка литературы. Желательны ссылки на журналы, входящие в базу данных Scopus и Web of Science. **Цитируемость своих работы не более 15%.**

7. При получении статьи редакция рассматривает ее соответствие тематике журнала и посылает на рецензию ведущим специалистам. Возвращение рукописи автору на доработку с копией рецензии не означает, что статья принята к печати. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.

8. Редакция посылает авторам на визу подготовленный к печати экземпляр статьи, который должен быть выслан обратно в течение суток с момента его получения.

Авторам высылается журнал в электронном виде.

С аспирантов плата за публикацию не взимается.

Для получения гонорара за публикацию в англоязычном издании авторы могут обратиться в Российское авторское общество по адресу: 123995, Москва, Б. Бронная, д. 6, стр. 1, тел.: +7 (495) 697-3335; и на сайте РАО: www.rao.ru (подвести курсор на «Правообладатели», далее на «Авторам научных статей»). Здесь находятся документы для получения авторского гонорара.

Журнал рассылается только по подписке, в розничную продажу не поступает.