

4.1.3. АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ (СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.1:581.2

DOI: 10.53914/issn2071-2243_2025_1_42

EDN: LQEOVZ

Новые генотипы озимой пшеницы, устойчивые к твердой головне

Ирина Васильевна Ефремова¹, Гавриил Михайлович Мелькумов²,
Анатолий Фёдорович Климкин^{3✉}, Елизавета Айрапетовна Мелькумова⁴,
Дмитрий Николаевич Голубцов⁵

^{1, 3, 4, 5} Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
Воронеж, Россия

² Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

³ aklimkin.73@yandex.ru

Аннотация. Для выявления генотипов озимой пшеницы, устойчивых к такому опасному заболеванию, как твердая головня, на искусственном инфекционно-провокационном фоне на базе ФГБНУ Воронежский ФАНЦ проведены исследования по определению поражаемости моногенных линий культуры расами местной популяции патогена. С 2018 по 2020 г. изучено 444 сортообразца. С использованием международных и местных сортов-индикаторов установлены гены устойчивости (Bt) к твердой головне озимой пшеницы. Выделены моногенные линии EAR63A (Bt₆) и Orofen (Bt₈), проявившие высокую устойчивость ко всем расам местной популяции патогена. В 2018 и 2019 гг. отмечено снижение восприимчивости линии Estacao (Bt₂) с 43,4 до 19,7%, которая по показателю 2020 г. стала практически устойчивой (3,1%). Другие моногенные линии – Адисиба (Bt₃), Карафутто (Bt₄) и Местная 117 (Bt₅) – за 3 года испытаний показали среднюю восприимчивость, которая плавно снижалась в 2018 и 2019 гг., а в 2020 г. уменьшилась на треть. У линий Норенheimer (Bt₁) и Contey (Bt₇) отмечено увеличение анализируемого показателя до слабой восприимчивости. По данным анализа сортов местной селекции на искусственном инфекционном фоне отмечена агрессивность рас твердой головни, в результате чего проявилась высокая восприимчивость – в пределах от 56,8 до 95,8%. Выделены сортообразцы и комбинации скрещиваний озимой пшеницы, обладающие различной степенью устойчивости к твердой головне, включая иммунитет: формы Лютесценс – 3328, 3329, 2235, Черноземка 88 × Одесская 267 (221). В 2020 г. отобраны гибридные образцы с номерами 168, 170, 173 и 174. Из большой выборки растений выделены комбинации скрещиваний, обладающие высокой устойчивостью к патогену (Лютесценс 4899 × Лагуна, Черноземка 115 × Лютесценс 2243), а также доноры устойчивости к патогену, которые вовлечены в селекционный процесс и проходят сортоиспытание в полевых условиях.

Ключевые слова: озимая пшеница, твердая головня, поражаемость, инфекционный фон, патоген, устойчивость
Для цитирования: Ефремова И.В., Мелькумов Г.М., Климкин А.Ф., Мелькумова Е.А., Голубцов Д.Н. Новые генотипы озимой пшеницы, устойчивые к твердой головне // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т. 18, № 1(84). С. 42–49. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_1_42–49.

4.1.3. AGRICULTURAL CHEMISTRY, AGRONOMIC SOIL SCIENCE, PROTECTION AND QUARANTINE OF PLANTS (AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

New genotypes of winter wheat resistant to bunt smut

Irina V. Efremova¹, Gavriil M. Melkumov², Anatoliy F. Klimkin^{3✉},
Elizaveta A. Melkumova⁴, Dmitriy N. Golubtsov⁵

^{1, 3, 4, 5} Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

² Voronezh State University, Voronezh, Russia

³ aklimkin.73@yandex.ru

Abstract. In order to identify the genotypes of winter wheat resistant to such a dangerous disease as bunt smut on an artificial infectious and provocative background, studies were conducted on the basis of Voronezh Federal Agricultural Scientific Centre to determine the incidence of monogenic crop lines by races of the local pathogen population. From 2018 to 2020, 444 cultivars were studied. The genes of resistance (Bt) to winter wheat bunt smut have been established using international and local indicator varieties. The monogenic EAR63A (Bt₆) and Orofen (Bt₈) lines have been isolated, which showed high resistance to all races of the local pathogen population. In 2018 and 2019, the susceptibility of the Estacao line (Bt₂) decreased from 43.4 to 19.7%, which became almost stable (3.1%) in 2020. Other monogenic lines, Adisiaba (Bt₃), Karafuto (Bt₄) and Mestnyi 117 (Bt₅), showed

an average susceptibility over 3 years of testing, which gradually decreased in 2018 and 2019, and decreased by a third in 2020. The Hopenheimer (Bt1) and Contey (Bt7) lines showed an increase in the analyzed indicator to low susceptibility. According to the analysis of locally selected varieties, the aggressiveness of bunt smut was noted against an artificial infectious background, resulting in a high susceptibility ranging from 56.8 to 95.8%. Cultivars and combinations of crosses of winter wheat with varying degrees of resistance to bunt smut, including immunity, have been identified, i.e. 3328, 3329, 2235 forms of *Lutescens*, Chernozemka 88 × Odesskaya 267 (221). In 2020, hybrid samples with numbers 168, 170, 173 and 174 were selected. From a large sample of plants, combinations of crosses with high resistance to the pathogen (*Lutescens* 4899 × Laguna, Chernozemka 115 × *Lutescens* 2243), as well as donors of resistance to the pathogen, which are involved in the breeding process, and also undergo variety testing in the field, have been identified.

Keywords: winter wheat, bunt smut, infectivity, infectious background, pathogen, resistance

For citation: Efremova I.V., Melkumov G.M., Klimkin A.F., Melkumova E.A., Golubtsov D.N. New genotypes of winter wheat resistant to bunt smut. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2025;18(1):42-49. (In Russ.). https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_1_42-49.

Введение
Проблема устойчивости озимой пшеницы к твердой головне в настоящее время весьма актуальна. Применение новых технологий, направленных на увеличение производства зерна с меньшими затратами ручного труда, предусматривает активное использование пестицидов. Химические обработки, кроме того, что повышают себестоимость производства, наносят вред окружающей среде, в том числе и растениям, в тканях которых остаточные количества химических средств защиты накапливаются и могут попадать в готовую пищевую продукцию, нанося вред здоровью человека. Селекция устойчивых сортов озимой пшеницы является экологически безопасным направлением защиты от болезней и отвечает требованиям органического земледелия. По мнению многих ученых-фитопатологов, внедрение устойчивых сортов вполне оправдывает все затраты на их создание, так как даже умеренная устойчивость оказывается ценной, а окупаемость комплексно-устойчивых сортов составляет 1:300 [1, 7, 13, 15].

Селекция на устойчивость к болезням – трудоемкий процесс, так как приходится рассматривать сложные нюансы системы растение – патоген в конкретных почвенно-климатических условиях произрастания культуры. При этом у возбудителя болезни активно происходят расообразовательные процессы с появлением новых более вирулентных и агрессивных рас [2, 8, 12].

Ю.В. Зеленева, В.В. Плахотник и В.П. Судникова в условиях Центрально-Черноземного региона изучали структуру патогенных свойств популяции *Tilletia caries* на озимой пшенице [6].

И.В. Гусев и В.В. Чекмарев описали способы контроля развития твердой головни пшеницы [3].

По результатам оценки коллекционных образцов озимой пшеницы на устойчивость к патогену Н.В. Шишкиным с соавт. и Ю.Г. Левченко удалось создать исходный материал для селекционно-генетических изысканий [11, 18, 19].

Пшеница – самоопыляемая культура, в связи с чем растения имеют одинаковую генетическую защиту, поэтому новые вирулентные расы патогена начинают доминировать, и болезнь становится более вредоносной, что приводит к эпифитотиям.

Для диагностики развития твердой головни озимой пшеницы целесообразно проводить мониторинг состояния посевов, который позволяет прогнозировать заболевание не только на искусственном инфицированном фоне, но и в полевых условиях [14].

Недостаточное количество осадков и неравномерность их выпадения, а также температурные градиенты почвы в период оптимальных сроков сева и вегетации озимой пшеницы в Центрально-Черноземном регионе обуславливают периодичность проявления болезни по годам [16, 13].

В связи с тем, что головневые грибы являются биотрофами, при любой технологии возделывания культуры изначальным приемом является протравливание семян

малотоксичными многокомпонентными фунгицидами системного или системно-контактного действия, которые могут использоваться и на искусственном инфекционном фоне [5, 13, 17].

Методика эксперимента

Для объективной постановки опыта исследования проводились на искусственном инфекционно-провокационном фоне твердой головни озимой пшеницы на базе ФГБНУ «Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева».

Материалом для исследований служили сортообразцы лаборатории селекции озимой пшеницы: конкурсного (КСИ) и предварительного сортоиспытания (ПСИ), а также контрольного питомника (КП). За три года исследований (с 2018 по 2020 г.) изучено 444 сортообразца.

Посев озимой пшеницы осуществляли в более поздние сроки (после 25 сентября) ручной сеялкой РС-20 на глубину 5 см. Делянки 3-рядковые метровой длины. Повторность 3-кратная.

Семена перед посевом заспорили согласно общепринятой методике [10].

Индикатором эффективности и равномерности проявления болезни служил районированный восприимчивый сорт Одесская 267, который высевался через каждые 10 вариантов опыта.

Учет пораженности (П.) образцов твердой головней проводили в фазе молочно-восковой спелости зерна по предложенной формуле:

$$П. = (Б.к. / В.к.) \times 100\%,$$

где Б.к. – больные колосья на делянке, шт.;

В.к. – всего колосьев на делянке, шт.

Для определения типа устойчивости пшеницы к видам твердой головни на искусственном инфекционно-провокационном фоне использовали специализированную шкалу оценки образцов [9].

Результаты и их обсуждение

При любой технологии возделывания озимой пшеницы, как традиционной, так и современной, изначальным приемом против головневых болезней является протравливание семян.

Твердая, мокрая или вонючая головня озимой пшеницы периодически встречается в Центральном Черноземье [6, 13]. Это опасное заболевание вызывается биотрофным базидиомицетом *Tilletia caries* (DC.) Tul. & C. Tul. Гриб заражает проростки во время прорастания семян озимой пшеницы. Впоследствии мицелий развивается вместе с культурой, диффузно проникая во все органы и ткани растений. Признаки поражения обнаруживаются в фазе молочной спелости, где в пораженном колосе вместо зерен формируются «головневые мешочки». Внутри завязей образуется черная масса хламидоспор, липкая, дурно пахнущая испорченным сеledочным рассолом из-за наличия газообразного вещества триметиламина – $(CH_3)_3N$, образующегося в результате распада азотистых соединений растений озимой пшеницы. Формирующийся колос легковесный, прямостоячий, при этом колосовые чешуи растопырены. При обмолоте пораженного зерна хламидоспоры прилипают к поверхности здоровых семян и сохраняются на них до посева. После высева такого зерна в почву хламидоспоры прорастают и образуют базидии с базидиоспорами, которые и заражают проростки семян.

Развитие *T. caries* тесно связано как с абиотическими, так и биотическими условиями окружающей среды, что приводит к патогенезу твердой головни озимой пшеницы. Это определяется такими свойствами, как патогенность, вирулентность и агрессивность патогена. Патогенность обуславливает заболевание озимой пшеницы данным возбудителем. Вирулентность является качественной, а агрессивность – количественной

мерой патогенности. При благоприятных для патогена условиях минимальное количество инокулюма (заразного начала) способно привести к эпифитотии – массовому развитию болезни.

По данным изучения реакции моногенных линий озимой пшеницы, обладающих аллелями гена устойчивости, на расовый состав местной популяции твердой головки, выявлена различная степень их поражаемости (табл. 1).

Таблица 1. Поражаемость моногенных линий озимой пшеницы расами местной популяции твердой головки

Сорт-индикатор	Число колосьев								
	2018 г.			2019 г.			2020 г.		
	всего, шт.	пораженные		всего, шт.	пораженные		всего, шт.	пораженные	
		шт.	%		шт.	%		шт.	%
Hopenheimer (Bt ₁)	262	93	35,5	233	69	29,6	351	74	21,1
Estacao (Bt ₂)	203	88	43,4	198	39	19,7	323	10	3,1
Адисибя (Bt ₃)	308	123	39,9	175	29	16,6	406	110	27,1
Карафуту (Bt ₄)	352	176	50,0	180	91	50,5	318	114	35,9
Местная 117 (Bt ₅)	334	146	43,8	246	88	35,8	326	102	31,3
ЕАР63А (Bt ₆)	247	11	4,5	198	12	6,1	315	15	4,8
Contey (Bt ₇)	214	106	49,6	245	42	17,2	365	80	22,0
Orofen (Bt ₈)	222	13	5,9	197	24	12,2	328	12	3,7

С использованием международных и местных сортов-индикаторов установлены гены устойчивости (Bt) к твердой головке озимой пшеницы.

Выделены моногенные линии ЕАР63А (Bt₆) и Orofen (Bt₈). Отмечено снижение восприимчивости к патогену линии Estacao (Bt₂) в 2018 г. с 43,4 до 19,7% в 2019 г., которая по показателю 2020 г. стала практически устойчивой (3,1%). Другие моногенные линии – Адисибя (Bt₃), Карафуту (Bt₄) и Местная 117 (Bt₅) – за 3 года испытаний показали среднюю восприимчивость, которая плавно снижалась в 2018 и 2019 гг., а в 2020 г. уменьшилась на треть. У линий Hopenheimer (Bt₁) и Contey (Bt₇) отмечено увеличение анализируемого показателя до слабой восприимчивости.

Сорта местной селекции за 3 года изучения проявили сильную восприимчивость (от 56,8 до 95,8 %) к твердой головке (табл. 2).

Таблица 2. Агрессивность рас твердой головки на сортах озимой пшеницы местной селекции

Сорт	Число колосьев								
	2018 г.			2019 г.			2020 г.		
	всего, шт.	пораженные		всего, шт.	пораженные		всего, шт.	пораженные	
		шт.	%		шт.	%		шт.	%
Одесская 267*	2263	1885	83,3	3236	2277	71,7	5311	4154	78,2
Степная 135	201	87	43,3	308	113	36,7	408	390	95,8
Червоная	207	189	91,4	279	211	75,7	416	305	73,3
Базальт	232	174	75,0	275	156	56,8	363	246	67,6
Черноземка 88	240	224	93,4	265	232	87,4	350	238	68,7
Крастал	227	211	93,0	323	215	66,0	357	335	93,9
Лагуна	219	203	92,7	327	286	87,3	283	244	86,3

Примечание: * – стандарт.

Сорт озимой пшеницы Степная 135, районированный еще в 1948 г., оказался толерантным к местной популяции патогена в 2018 и 2019 гг., что необходимо учитывать в селекционно-генетических исследованиях.

В ходе проведения испытаний (2018–2020 гг.) из большого количества сортов, сортообразцов и комбинаций скрещивания озимой пшеницы выделены формы, отличающиеся либо высокой устойчивостью к твердой головне, либо наличием иммунитета, так как видимых признаков поражения не обнаружено (табл. 3–5).

Таблица 3. Сортообразцы озимой пшеницы с высокой степенью устойчивости к твердой головне в 2018 г.

Сортообразец	Число колосьев			Сортообразец	Число колосьев		
	всего, шт.	пораженные			всего, шт.	пораженные	
		шт.	%			шт.	%
Лютесценс 3328	152	0	0,0	Лютесценс 3329	216	0	0,0
Лютесценс 3281	292	8	2,8	Лютесценс 3335	294	0	0,0
Черноземка 88 × Одесская 267 (221)	178	0	0,0	Эритроспермум 3210	231	21	9,1
Черноземка 88 × Одесская 267 (222)	194	2	1,1	АФ-7 × Лютесценс 2402	172	8	4,7
Черноземка 88 × Одесская 267 (228)	209	18	8,7	Черноземка 88 × Л. 92h24Г4 (322)	212	7	3,4
Одесская 267 × Лагуна (274)	234	6	2,6	Черноземка 88 × Л. 92h24Г4 (325)	206	18	8,8

Таблица 4. Сортообразцы озимой пшеницы с высокой степенью устойчивости к твердой головне в 2019 г.

Сортообразец	Число колосьев			Сортообразец	Число колосьев		
	всего, шт.	пораженные			всего, шт.	пораженные	
		шт.	%			шт.	%
Лютесценс 3167	277	22	8,0	Л. 48-99 кГ 3721 × Лагуна	197	1	0,6
Лютесценс 3272	291	22	7,6	Черноземка 115 × Лютесценс 2243	236	1	0,5
Лютесценс 3287	302	19	6,3	Черноземка 115 × Лютесценс 2243	270	8	3,0
Черноземка 88 × Лютесценс 1996	239	6	2,6	Черноземка 115 × Лютесценс 2243	206	7	3,4
Одесская 267 × Л. 91-92к Г20-6-4ГЗ	207	8	3,9	380	268	5	1,9
Л. 48-99 кГ 3721 × Лагуна	189	10	5,3	383	233	7	3,1

Таблица 5. Сортообразцы озимой пшеницы с высокой степенью устойчивости к твердой головне в 2020 году

Сортообразец	Число колосьев			Сортообразец	Число колосьев		
	всего, шт.	пораженные			всего, шт.	пораженные	
		шт.	%			шт.	%
289 J2 × 2007(168)	381	0	0,0	289 J2 × 2007(173)	314	0	0.0
289 J2 × 2007(170)	309	0	0,0	289 J2 × 2007(174)	325	0	0,0
Лютесценс 3398	319	13	4,2	Лютесценс 3375	359	20	6,5
Лютесценс 2129 × Лютесценс 2402(191)	303	20	6,7	Лютесценс 2402 × Лютесценс 2243(267)	363	5	1,5

В 2018 г., при сильном поражении стандарта и сортов местной селекции (табл. 3), из 147 образцов выделено 12 практически устойчивых к твердой головне.

Высокую степень устойчивости в 2019 г. из 132 образцов КСИ, ПСИ и КП проявили всего лишь 10 (табл. 4), которые необходимо использовать в селекционной работе против твердой головки озимой пшеницы.

По результатам анализа полученного фактического материала (табл. 3–5) установлено, что при использовании искусственного инфекционно-провокационного фона твердой головки выделены доноры устойчивости к данному патогену из районированных и перспективных сортов озимой пшеницы.

Сортообразцы группы Лютесценс широко используются в гибридных прямых и обратных скрещиваниях лаборатории селекции озимой пшеницы. Полученный селекционный материал успешно проходит сортоиспытание в естественных условиях проявления болезни.

Выводы

На основе анализа опубликованных литературных источников, большого фактического материала сортов и комбинаций скрещиваний, а также собственных результатов испытания озимой пшеницы на искусственном инфекционно-провокационном фоне в отношении твердой головки выделены перспективные источники устойчивости для дальнейшей селекционной работы.

С помощью международных и отечественных сортов-индикаторов установлены гены устойчивости (Bt) к твердой головне озимой пшеницы.

При изучении расового состава выявлена их вирулентность в отношении местной популяции твердой головки. Выделены моногенные линии ЕАР 63А (Bt₆) и Orofen (Bt₈), обладающие высокой степенью устойчивости к большинству рас патогена.

В течение трех лет испытаний (2018–2020 гг.) у разных сортов-индикаторов отмечены колебания признака устойчивости в сторону его увеличения в 2020 г.

На сортах озимой пшеницы местной селекции установлена агрессивность рас твердой головки. На жестком инфекционном фоне выделены доноры, отличающиеся разной степенью устойчивости, включая иммунитет.

Сортообразцы озимой пшеницы группы Лютесценс в естественных полевых условиях широко используются в гибридных скрещиваниях и проходят сортоиспытание на данный признак.

Список источников

1. Воронкова А.А. Генетико-иммунологические основы селекции пшеницы на устойчивость к ржавчине: монография. Москва: Колос, 1980. 191 с.
 2. Гешеле Э.Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Колос, 1978. 206 с.
 3. Гусев И.В., Чекмарев В.В. Твердая головня пшеницы и способы контроля развития патогена // Colloquium-journal. 2020. № 1-2(53). С. 46–48.
 4. Дубровская Н.Н. Оценка действия фунгицидов против возбудителя твердой головки пшеницы на искусственном инфекционном фоне // Colloquium-journal. 2019. № 17-2(41). С. 15–16.
 5. Дубровская Н.Н., Чекмарев В.В., Корабельская О.И. и др. Способы оценки эффективности фунгицидов в отношении возбудителей корневых гнилей и твердой головки пшеницы на искусственном инфекционном фоне // Наука без границ. 2019. № 7(35). С. 48–54.
-

6. Зеленева Ю.В., Плахотник В.В., Судникова В.П. Структура патогенных свойств популяции возбудителя твердой головни пшеницы (*Tilletia caries* (D.C.) Tul.) в Центрально-Черноземном регионе // Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. 2017. Т. 22, № 2. С. 399–403. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-2-399-403.
7. Зеленева Ю.В., Судникова В.П., Плахотник В.В. и др. Выявление источников устойчивости пшеницы к твердой головне // Защита и карантин растений. 2019. № 8. С. 44–45.
8. Жуковский П.М. Генетические основы происхождения биологических рас гибридного паразита и поиска устойчивого генотипа растения-хозяина // Генетика. 1965. № 6. С. 137–148.
9. Кривченко В.И., Мягкова Д.В. Методы изучения пшеницы на устойчивость к пыльной и твердой головне // Методы фитопатологических и энтомологических исследований в селекции растений: Научные труды ВАСХНИЛ. Москва: Колос, 1977. С. 25–31.
10. Кривченко В.И., Хохлова А.П. Головные болезни зерновых культур // Изучение генетических ресурсов зерновых культур по устойчивости к вредным организмам: методическое пособие. Москва: Россельхозакадемия, 2008. С. 32–85.
11. Левченко Ю.Г., Тархов А.С., Аблова И.Б. Создание нового исходного материала для селекции озимой мягкой пшеницы на устойчивость к возбудителям твердой головни // Рисоводство. 2018. № 2(39). С. 32–37.
12. Одинцова И.Г. Методы оценки общей и специфической устойчивости растений к болезням // Научные труды ВАСХНИЛ. Ленинград: Колос 1977. С. 129–139.
13. Ожога О.Н., Мелькумова Е.А. Распространенность головневых болезней на озимой пшенице в Воронежской области и приемы ограничения их вредоносности // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2020. Т. 13, № 1(64). С. 90–98. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.90.
14. Поставая О.В., Вислобокова Л.Н., Чекумарев В.В. Прогноз развития твердой головни озимой пшеницы на искусственном инфекционном фоне // Зерновое хозяйство России. 2013. № 2. С. 60–62.
15. Судникова В.П., Плахотник В.В., Зеленева Ю.В. и др. Методология выявления источников устойчивости к твердой головне пшеницы (*Tilletia caries* (D. C.) Tul.) // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 6. С. 66–71.
16. Чевердин Ю.И. Изменение свойств почв юго-востока Центрального Черноземья под влиянием антропогенного воздействия: монография. Воронеж: Истоки, 2013. 335 с.
17. Чекумарев В.В. Эффективность протравителей против твердой головни пшеницы // Защита и карантин растений. 2012. № 8. С. 27–28.
18. Шишкин Н.В., Дерова Т.Г., Марченко Д.М. Результаты оценки коллекционных образцов озимой пшеницы на устойчивость к твердой головне // Зерновое хозяйство России. 2015. № 2. С. 60–63.
19. Шишкин Н.В., Дерова Т.Г., Марченко Д.М. Создание исходного материала для селекции устойчивых к твердой головне сортов озимой пшеницы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 113. С. 1543–1554.

References

1. Voronkova A.A. Genetic and immunological foundations of wheat breeding for rust resistance: monograph. Moscow: Kolos Publishers; 1980. 191 p. (In Russ.).
2. Geshele E.E. Fundamentals of phytopathological assessment in plant breeding. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow: Kolos Publishers; 1978. 208 p. (In Russ.).
3. Gusev I.V., Chekmarev V.V. Wheat smut bunt and ways to control the development of the pathogen. *Colloquium-journal*. 2020;1-2(53):46-48. (In Russ.).
4. Dubrovskaya N.N. To evaluate the effect of fungicides against the pathogen smut bunt of wheat on an artificial infectious background. *Colloquium-journal*. 2019;17-2(41):15-16. (In Russ.).
5. Dubrovskaya N.N., Chekmarev V.V., Korabelskaya O.I. et al. Methods for evaluating the effectiveness of fungicides against root rot pathogens and smut bunt of wheat on an artificial infectious background. *Science without borders*. 2019;7(35):48-54. (In Russ.).
6. Zeleneva Yu.V., Plakhotnik V.V., Sudnikova V.P. The structure of pathogenic properties of the population of the wheat ball smut agent *Tilletia caries* (D.C.) Tul. in the Central Chernozem region. *Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*. 2017;22(2):399-403. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-2-399-403. (In Russ.).
7. Zeleneva Yu.V., Sudnikova V.P., Plakhotnik V.V. et al. Identification of sources of wheat resistance to the bunt smut. *Plant Protection and Quarantine*. 2019;8:44-45. (In Russ.).
8. Zhukovsky P.M. Genetic basis of the origin of biological races of a hybrid parasite and the search for a stable genotype of the host plant. *Russian Journal of Genetics*. 1965;6:137-148. (In Russ.).
9. Krivchenko V.I., Myagkova D.V. Methods of studying wheat for resistance to dusty and smut bunt. *Methods of phytopathological and entomological research in plant breeding: Proceedings of the All-Russian Academy of Agricultural Sciences named after V.I. Lenin*. Moscow: Kolos Publishers; 1977:25-31. (In Russ.).

10. Krivchenko V.I., Khokhlova A.P. Smut diseases of grain crops. In: Study of genetic resources of grain crops for resistance to harmful organisms: guidance manual. Moscow: Russian Academy of Agricultural Sciences Publishers; 2008:32-85. (In Russ.).
11. Levchenko Yu.G., Tarkhov A.S., Ablova I.B. Development of new starting material for breeding soft winter wheat for resistance to kernel smut. *Rice Growing*. 2018;2(39):32-37. (In Russ.).
12. Odintsova I.G. Methods for assessing general and specific resistance of plants to diseases. *Proceedings of the All-Russian Academy of Agricultural Sciences named after V.I. Lenin*. Leningrad: Kolos Publishers; 1977:129-139. (In Russ.).
13. Ozhoga O.N., Melkumova E.A. Prevalence of smut diseases in winter wheat in Voronezh Oblast and methods of limiting their harmfulness. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2020;13(1):90-98. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2020.1.90. (In Russ.).
14. Postovaya O.V., Vislobokova L.N., Chekmarev V.V. Forecast of development of pathogen of winter wheat smut on artificial infectious background. *Grain Economy of Russia*. 2013;2:60-62. (In Russ.).
15. Sudnikova V.P., Plakhotnik V.V., Zeleneva Yu.V. et al. Methodology for identification of sources of resistance to wheat smut (*Tilletia caries* (D.C.) Tul. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2018;6:66-71. (In Russ.).
16. Cheverdin Yu.I. Changes in soil properties of the south-east of the Central Chernozem region under anthropogenic impact: monograph. Voronezh: Istoki Publishers; 2013. 335 p. (In Russ.).
17. Chekmarev V.V. Effectiveness of the disinfectants against *Tilletia caries*. *Plant protection and quarantine*. 2012;8:27-28. (In Russ.).
18. Shishkin N.V., Derova T.G., Marchenko D.M. Assessment results of collection samples of winter wheat on tolerance to smut (*Tilletia caries*). *Grain Economy of Russia*. 2015;2:60-63. (In Russ.).
19. Shishkin N.V., Derova T.G., Marchenko D.M. Creation of initial material for breeding winter wheat varieties resistant to smut. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2015;113: 1543-1554. (In Russ.).

Информация об авторах

И.В. Ефремова – соискатель кафедры земледелия и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», irina.v.efremova@mail.ru.

Г.М. Мелькумов – кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и микологии медико-биологического факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», agaricbim86@mail.ru.

А.Ф. Климкин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», aklimkin.73@yandex.ru.

Е.А. Мелькумова – доктор биологических наук, профессор кафедры земледелия и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», zemleled@agronomy.vsau.ru.

Д.Н. Голубцов – кандидат биологических наук, доцент кафедры земледелия и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», dima.golubtsof@gmail.com.

Information about the authors

I.V. Efremova, Candidate Degree Seeking Applicant, the Dept. of Soil Management and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, irina.v.efremova@mail.ru.

G.M. Melkumov, Candidate of Biological Sciences, Docent, the Dept. of Botany and Mycology of the Faculty of Medicine and Biology, Voronezh State University, agaricbim86@mail.ru.

A.F. Klimkin, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Soil Management and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, aklimkin.73@yandex.ru.

E.A. Melkumova, Doctor of Biological Sciences, Professor, the Dept. of Soil Management and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, zemleled@agronomy.vsau.ru.

D.N. Golubtsov, Candidate of Biological Sciences, Docent, the Dept. of Soil Management and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, dima.golubtsof@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 20.01.2025; одобрена после рецензирования 26.02.2025; принята к публикации 05.03.2025.

The article was submitted 20.01.2025; approved after reviewing 26.02.2025; accepted for publication 05.03.2025.

© Ефремова И.В., Мелькумов Г.М., Климкин А.Ф., Мелькумова Е.А., Голубцов Д.Н., 2025