

Электрофоретическое исследование состава запасных белков зерновых культур

Т. А. АСЕЕВА¹, А. В. ЛЮБИМОВА², К. В. ЗЕНКИНА¹, И. Б. ТРИФУНТОВА¹

¹Хабаровский федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, обособленное подразделение Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, ул. Клубная, 13, с. Восточное, Хабаровский р-н, Хабаровский край, 680521, Российская Федерация

²Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Малыгина, 86, Тюмень, 625026, Российская Федерация

Резюме. Исследования проводили с целью определения биотипного состава запасных белков зерновых культур дальневосточной селекции для сохранения их генетической структуры и оперативного выявления биологических и механических примесей. Запасные белки яровой пшеницы, овса и тритикале изучали в 2022–2025 гг. в лабораторных условиях методом нативного и SDS электрофореза. В сортах пшеницы дальневосточной селекции Анфея и Далира присутствует аллель с локуса *Glu-B1* с комбинацией высокомолекулярных субъединиц 7+9, отвечающий за хлебопекарные свойства. Выявлен аллель *d* локуса *Glu-D1* с субъединицами 5+10, маркирующий высокие адаптивные параметры генотипов. Сорт Хабаровчанка отличается присутствием аллеля с локуса *Glu-B1* с субъединицами 7+9 и аллеля *e* локуса *Glu-D1* с субъединицами 2+10. Сорта овса охарактеризованы в основном как гетерогенные – Маршал (5 биотипов), Кардинал (7 биотипов), Дальневосточный золотой (10 биотипов), Дерсу Узала (7 биотипов), гомогенный только сорт Дальневосточный кормовой (1 биотип). При анализе авенинов овса обнаружены новые блоки компонентов, которые могут быть специфичными для региона: у сорта Маршал – *Bnew* и *Cnew*; у Кардинала – *Anew14*, *Bnew7* и *Bnew12*; у Дальневосточного золотого – *Cnew*; у Дальневосточного кормового – *Anew*; у Дерсу Узала – *Anew7*, *Bnew12*. Выделены селекционные линии тритикале, отличающиеся спектрами глиадинов – 105-20, 109-20, 125-20, 208-20, 217-20, 218-20 и 237-20, и генотипы, характеризующиеся широким разнообразием комбинаций высокомолекулярных и низкомолекулярных глютеинов и секалинов (с частотой встречаемости от 50 до 98 %) – 103-20, 104-20, 105-20, 184-20, 185-20, 188-20, 196-20, 209-20, 212-20, 218-20. Для идентификации, сохранения генетической структуры и поддержания сортовой чистоты генотипов зерновых культур дальневосточной селекции целесообразно отслеживание биотипного состава запасных белков методом электрофореза.

Ключевые слова: пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.), овес посевной (*Avena sativa* L.), тритикале (*Triticosecale Wittm.* ex. A. Camus), электрофорез, глютеин, глиадин, авенин, секалин

Сведения об авторах: Т. А. Асеева, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН, директор (e-mail: aseeva59@mail.ru); А. В. Любимова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; К. В. Зенкина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник; И. Б. Трифунтова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник.

Для цитирования: Электрофоретическое исследование состава запасных белков зерновых культур / Т. А. Асеева, А. В. Любимова, К. В. Зенкина и др. // Достижения науки и техники АПК. 2026. Т. 40. № 3. С. 37–42. doi: 10.53859/02352451_2026_40_3_37.

Electrophoretic study of the composition of storage proteins of grain crops

T. A. Aseeva¹, A. V. Lyubimova², K. V. Zenkina¹, I. B. Trituntova¹

¹Far Eastern Research Institute of Agriculture, Khabarovsk Federal Scientific Center, Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Klubnaya, 13, s. Vostochnoe, Khabarovskii r-n, Khabarovskii krai, 680521, Russian Federation

²Federal Research Center Tyumen' Scientific Center, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Malygina, 86, Tyumen', 625026, Russian Federation

Abstract. The study was conducted to determine the biotype composition of storage proteins in Far Eastern grain crops to preserve their genetic structure and quickly identify biological and mechanical impurities. Storage proteins in spring wheat, oats, and triticale were studied in laboratory conditions from 2022 to 2025 using native and SDS electrophoresis. Far Eastern wheat varieties Anfeya and Dalira contain an allele from the *Glu-B1* locus with a combination of high-molecular-weight subunits 7+9, which is responsible for bread-making properties. A *d* allele of the *Glu-D1* locus with subunits 5+10 was identified, indicating high adaptive genotype parameters. The Khabarovchanka variety is distinguished by the presence of the *c* allele of the *Glu-B1* locus with subunits 7+9 and the *e* allele of the *Glu-D1* locus with subunits 2+10. Oat varieties are characterised mainly as heterogeneous: Marshal (5 biotypes), Cardinal (7 biotypes), Dalnevostochny Zolotoy (10 biotypes), Dersu Uzala (7 biotypes), only the Dalnevostochny Kormovoy variety is homogeneous (1 biotype). During the analysis of oat avenins, new blocks of components were discovered that may be region-specific: in the Marshal variety – *Bnew* and *Cnew*; in Cardinal – *Anew14*, *Bnew7*, and *Bnew12*; in Dalnevostochny Zolotoy – *Cnew*; in Dalnevostochny Kormovoy – *Anew*; in Dersu Uzala – *Anew7*, *Bnew12*. Triticale breeding lines with different gliadin spectra were identified: 105-20, 109-20, 125-20, 208-20, 217-20, 218-20 and 237-20, and genotypes characterised by a wide variety of combinations of high-molecular and low-molecular glutenins and secalins (with a frequency of occurrence from 50 to 98%): 103-20, 104-20, 105-20, 184-20, 185-20, 188-20, 196-20, 209-20, 212-20, 218-20. To identify, preserve the genetic structure, and maintain the varietal purity of the genotypes of grain crops bred in the Far East, it is advisable to monitor the biotypic composition of storage proteins using electrophoresis.

Keywords: common wheat (*Triticum aestivum* L.); oat (*Avena sativa* L.); triticale (*Triticosecale Wittm.* ex. A. Camus); electrophoresis; glutenin; gliadin; avenin; secalin.

Author Details: T. A. Aseeva, D. Sc. (Agr.), corresponding member of the RAS, director (e-mail: aseeva59@mail.ru); A. V. Lyubimova, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow; K. V. Zenkina, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow; I. B. Trifuntova, Cand. Sc. (Agr.), senior research fellow.

For citation: Aseeva TA., Lyubimova AV, Zenkina KV, et al. [Electrophoretic study of the composition of storage proteins of grain crops]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2026;40(3):37–42. Russian. doi: 10.53859/02352451_2026_40_3_37.

Синтез проламинов пшеницы – глиадинов – контролируют шесть основных локусов: *Gli-A1*, *Gli-B1*, *Gli-D1*, *Gli-A2*, *Gli-B2*, *Gli-D2* и шесть дополнительных: *Gli-A3*, *Gli-B3*, *Gli-A5*, *Gli-B5*, *Gli-6* (*Gli-A6*), *Gli-7* (*Gli-A7*). Синтез низкомолекулярных глютеинов

осуществляют контроль четыре локуса (*Glu-B2*, *Glu-A3*, *Glu-B3*, *Glu-D3*), высокомолекулярных глютеинов – три локуса (*Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-D1*). Важная особенность глиадинов и глютеинов пшеницы это способность формировать белковый комплекс – клейковину. Глиадины,

выступая низкомолекулярными белками, отвечают за показатели текучести клейковины, а глюteniны – за её упругость. Полимеры глютеина состоят из высокомолекулярных (HMW-GS) и низкомолекулярных субъединиц глютеина (LMW-GS), которые составляют около 30 и 60 % полимера соответственно [1].

Зерно овса содержит много глобулинов (> 50 %), очень мало проламинов и глютеинов (около 10 %). Проламины овса (авенины) имеют более низкую молекулярную массу (17...34 kDa) и меньше остатков пролина, чем у других злаков [2].

Triticale, первоначально называвшаяся *Triticosecale rimpai*, а позже переименованная в *x Triticosecale Wittmack* – амфиплоидный гибрид между пшеницей (*Triticum turgidum* spp. *Durum* или *Triticum aestivum*) и рожью (*Secale cereale*). Уровень пloidности тритикале может варьировать от тетраплоидного ($2n=14=AARR$) до гексаплоидного ($2n=42=AABBRR$) и октоплоидного ($2n=56=AABBDDRR$). Гексаплоидные сорта наиболее широко используют во всем мире из-за лучшей геномной стабильности и плодovitости цветков, по сравнению с октоплоидами, которые имеют конечное более благоприятное потребительское качество благодаря наличию D-генома. К серьезным проблемам селекции и семеноводства тритикале относятся несбалансированность элементов генотипа, высокая доля перекрестного опыления и, как следствие, расщепление и появление спонтанных гибридов в посевах этой культуры [3].

Цель исследований – определить биотипный состав запасных белков образцов зерновых культур селекции Дальневосточного НИИСХ для сохранения их генетической структуры и оперативного выявления биологических и механических примесей.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в лаборатории геномных исследований Дальневосточного НИИСХ в 2022–2025 гг. Объекты исследований: 15 сортов и линий пшеницы – Хабаровчанка, Приамурская, Елизавета, Анфея, Зарянка, Далира, Лира-98, 19/1-14, 48/2-14, 29/8-06, 43/3-14, 26/2-14, 22/2-16, 21/2-01, 60/3-09; 14 сортов и линий овса – Экспресс, Премьер, Тигровый, Маршал, Кардинал, Передовик, Дальневосточный Золотой, Дальневосточный Кормовой, Дерсу Узала, 434-07, 318-06, 433-18, 313-18, 352-18; 20 образцов тритикале – Укро, 102-20, 103-20, 104-20, 105-20, 106-20, 109-20, 125-20, 184-20, 185-20, 188-20, 190-20, 196-20, 208-20, 209-20, 212-20, 217-20, 218-20, 224-20, 237-20.

Для одномерного электрофореза глиадинов, глютеинов и авенинов применяли ранее описанные методики [4, 5, 6]. Для анализа использовали 100 индивидуальных зерновок. Электрофорез проводили в вертикальных электрофоретических камерах модели VE-20 (Helicon, Россия) с размерами формируемых пластин $178 \times 175 \times 1,5$ мм.

Перед анализом глиадинов зерновки размалывали, помещали в отдельные 1,5 мл пробирки типа Eppendorf и добавляли 150 мкл 70 %-ного этанола. Далее проводили экстракцию глиадинов при 40 °C в течение 40 мин. После экстракции к супернатанту приливали 300 мкл загрузочного буфера (60 г сахарозы, 0,1 г метиленового зеленого и 100 мл алюминий-лактатного буфера (1,5 г лактата алюминия растворяли в 1 л бидистиллированной воды и доводили молочной кислотой до pH 3,1). Пробирки встряхивали на вортексе в течение 10 с, затем центрифугировали 5 мин. со скоростью 10000 оборотов в мин. Экстракт белка (23 мкл) заносили в полиакриламидный гель. Состав геля:

8,33 г акриламида; 0,42 г N,N'-метилен-бис-акриламида; 1,0 мг $Fe_2(SO_4)_3 \times 9H_2O$; 0,1 г аскорбиновой кислоты; все реактивы растворяли в 100 мл алюминий-лактатного буфера. Для полимеризации к 100 мл раствора геля приливали 35 мкл 15 %-ной перекиси водорода. Электрофорез проводили при постоянном напряжении 500 V в течение 7,0...7,5 ч. Гели фиксировали и окрашивали в 10 %-ном растворе трихлоруксусной кислоты с добавлением 0,05 % Кумасси бриллиантового голубого R-250 в этаноле. В качестве стандарта использовали зерновки сорта мягкой пшеницы Безостая 1. Идентификацию аллелей проводили для 5 глиадинкодирующих локусов (ГКЛ) с использованием каталога генетической номенклатуры [7].

Глютеины экстрагировали из муки отдельных зерновок путем добавления 250 мкл экстрагирующего буфера, с последующим инкубированием в течение 2 ч при комнатной температуре, с периодическим перемешиванием. К экстракту добавляли 50 мкл алкилирующего раствора (26 %-ный водный раствор акриламида) и помещали в кипящую водяную баню на 2 мин. После охлаждения 10 мкл белкового экстракта фракционировали в системе концентрирующего и разделяющего гелей. Разделение белков осуществляли при напряжении 200 V в течение 6,5 ч. Фиксацию и окрашивание осуществляли в красителе, содержащем 55 г трихлоруксусной кислоты, 65 мл ледяной уксусной кислоты, 180 мл метанола и 25 мл водного раствора Кумасси R-250 и Кумасси G-250, доведенном до 1 литра водой. Идентификацию аллелей глютеинкодирующих локусов проводили по каталогу [8], в качестве стандарта использовали сорт пшеницы Чайниз Спринг.

Зерна овса для электрофореза авенинов очищали от пленок, размалывали, помещали в отдельные 1,5 мл пробирки и добавляли 90 мкл 70 %-ного этанола. Экстракцию проводили при 40 °C в течение 40 мин. К образцам приливали по 300 мкл загрузочного буфера (60 г сахарозы, 0,1 г метиленового зеленого, 100 г мочевины растворяли в 100 мл алюминий-лактатного буфера). Электрофорез проводили в вертикальных пластинах 13,2 % полиакриламидного геля, содержащего 13,17 г акриламида, 0,66 г N,N'-метилен-бис-акриламида, 7,17 г мочевины, 2,0 мг $Fe_2(SO_4)_3 \times 9H_2O$, 80,0 мг аскорбиновой кислоты и 0,26 г лактата алюминия; все реактивы растворяли в 100 мл алюминий-лактатного буфера. Электрофорез проводили в течение 4,0...4,5 ч при постоянном напряжении 500 V. В качестве стандарта использовали смесь муки сортов Вятский голозерный и Тюменский голозерный в соотношении 2:1, суммарная формула получаемого спектра – *Avr 2.4,7.1,3*. Аллельные варианты блоков компонентов овса, контролируемых авенинкодирующими локусами, определяли в соответствии с каталогом [9]. Отсутствующие в каталоге блоки обозначали пометкой «new».

Показатели структуры популяции сортов селекции Дальневосточного НИИСХ – внутривидовое разнообразие (μ), доля редких морф (h), а также генное разнообразие (H) – рассчитывали на основании информации о частоте встречаемости аллелей глиадинкодирующих локусов [10]. Внутривидовое разнообразие позволяет оценить степень разнокачественности особей в популяции, чем ближе этот показатель к общему числу вариаций признака (m), тем равномернее распределены аллели в популяции. Показатель доли редких морф позволяет оценить стабильность анализируемой популяции, при этом низким значениям внутривидового разнообразия всегда соответ-

ствуют высокие значения доли редких морф.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Arlequin Ver 3.5.2.2 и пакета программ MS Excel.

Результаты и обсуждение. В результате электрофоретического анализа компонентов глютеина (см. рисунок, табл. 1) в исследованных образцах мягкой пшеницы выявлено 2 аллеля локуса *Glu-A1* (*b* и *c*), 2 аллеля локуса *Glu-B1* (*a* и *c*) и 3 аллеля локуса *Glu-D1* (*e*, *d* и *a*). Три из исследованных образцов были гетерогенными по составу глютеинирующих локусов, – Зарянка, 21/2-01 и 60/2-09, – имели по два аллеля по локусам *Glu-B1* и *Glu-D1*.

Большая часть генотипов пшеницы имела одинаковую формулу глютеина *Glu-A1b B1c D1d* – 13 шт. Исключение составили сорта Хабаровчанка, Анфея и вторые биотипы образцов Зарянка, 21/2-01 и 60/2-09. По локусу *Glu-A1* наибольшую в эксперименте частоту встречаемости имеет аллель *b*. Считается, что аллели этого локуса не оказывают значительного влияния на хлебопекарные свойства, но в некоторых случаях они тесно сопряжены с улучшенными хлебопекарными характеристиками зерна. При этом аллель *b* предпочтительней, чем *c*. По локусу *Glu-B1* наиболее часто встречается аллель *c*, оказывающий положительное влияние на качество теста. То же самое можно отметить и для аллеля *d* локуса *Glu-D1*, для которого предполагают связь с качественными и адаптивными признаками. Преобладание этих аллелей обусловлено влиянием многолетних селекционных отборов при создании сортов пшеницы.

В результате анализа компонентного состава глиадинов образцов пшеницы установлено, что все они гетерогенные и содержат от 2 до 10 биотипов. Всего было выделено 78 биотипов с частотой встречаемости от 1 до 97 %. Максимальное количество биотипов выявлено в образцах 48/2-14 – 10 шт.; Зарянка – 9 шт.; 43/3-14, 21/2-01 – 7 шт.; Лира 98 и Хабаровчанка – по 6 биотипов.

Частота встречаемости биотипов сорта Хабаров-

Таблица 1. **Высокомолекулярные субъединицы глютеина (ВСМГ) и аллельный состав глютеинирующих локусов исследованных образцов пшеницы дальневосточной селекции**

Сорт/ образец	Число биотипов, шт.	Глютеинирующие локусы <i>Glu-1</i>					
		<i>A1</i>		<i>B1</i>		<i>D1</i>	
		ВСМГ	аллель	ВСМГ	аллель	ВСМГ	аллель
Хабаровчанка	1	<i>null</i>	<i>c</i>	7+9	<i>c</i>	2+10	<i>e</i>
Приамурская	1	2	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
Елизавета	1	2	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
Анфея	1	2	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
19/1-14	1	<i>null</i>	<i>c</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
48/2-14	1	2	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
29/8-06	1	2	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
43/3-14	1	2	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
Зарянка	2	2	<i>b</i>	7+9/7	<i>c/a</i>	5+10/2+12	<i>d/a</i>
26/2-14	1	2	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
22/2-16	1	2	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
21/2-01	2	2	<i>b</i>	7+9/7	<i>c/a</i>	5+10/2+12	<i>d/a</i>
Далира	1	2	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
Лира 98	1	2	<i>b</i>	7+9	<i>c</i>	5+10	<i>d</i>
60/2-09	2	2	<i>b</i>	7+9/7	<i>c/a</i>	5+10/2+12	<i>d/a</i>

чанка варьирует от 63 до 2 %. Анализ полученных генетических формул глиадина биотипов сорта показал, что по первой гомеологической группе (локусы *Gli-A1*, *Gli-B1* и *Gli-D1*) наиболее часто встречались аллели *Gli-A1g* (33,3 %), *Gli-B1e* (66,7 %), *Gli-D1f* (66,7 %). По 6 гомеологической группе (локусы *Gli-A2* и *Gli-D2*) преобладали аллели *Gli-A2m* (50 %) и *Gli-D2n* (50 %). По глютеинирующим локусам сорт Хабаровчанка гомогенный. В локусе *Glu-A1* идентифицирован аллель *c* (нуль-аллель). В локусе *Glu-B1* установлено присутствие аллеля *c* с комбинацией высокомолекулярных субъединиц 7+9. В локусе *Glu-D1* идентифицирован аллель *e* с субъединицами 2+10.

Сорт яровой мягкой пшеницы Анфея по глиадин-кодирующим локусам гетероген и состоит из 4 биотипов с частой встречаемости до 94 %. В этом сорте по первой гомеологической группе наиболее часто встречались аллели *Gli-A1m* (50 %), *Gli-B1e* (75 %), *Gli-D1f* (100 %). По 6 гомеологической группе (локусы *Gli-A2* и *Gli-D2*) преобладали аллели *Gli-A2m* (75 %) и *Gli-D2q* (100 %). Аллель *Gli-A2m* характерен для сортов из Канады и Франции. По глютеинирующим локусам сорт гомоген. В локусе *Glu-A1* идентифицировано 2 высокомолекулярные субъединицы аллеля *b*. Преобладание аллелей *b* и *c* локуса *Glu-A1* характерно для сортов из многих стран, таких как Россия, Украина, Беларусь. В локусе *Glu-B1* установлено присутствие ал-

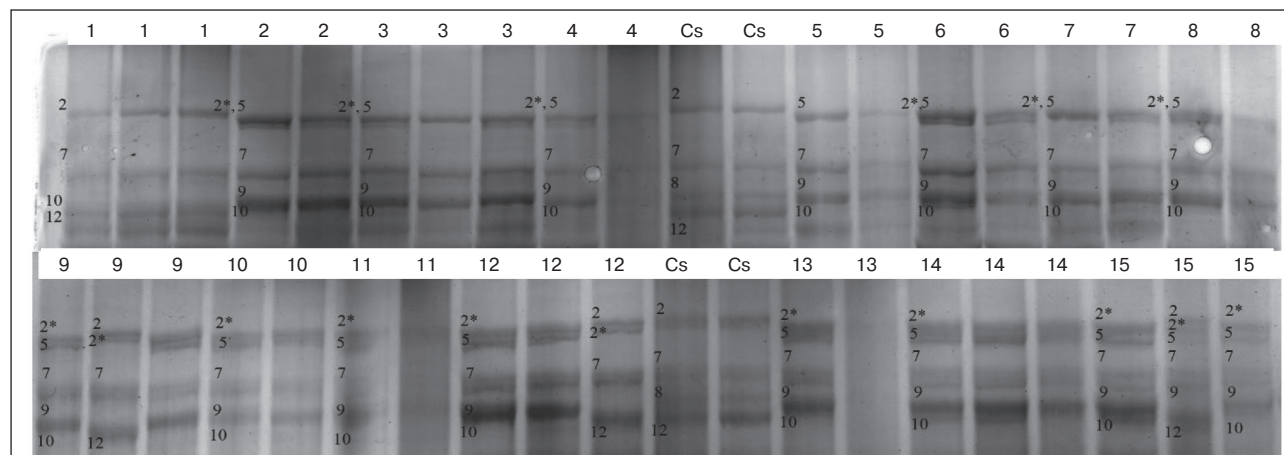


Рисунок. Электрофореграмма глютеинов образцов мягкой пшеницы: 1...15 – исследуемые образцы; Cs – сорт-стандарт Чайниз спринг.

леля с комбинацией высокомолекулярных субъединиц 7+9. При изучении сопряженности аллелей глютеинон яровой мягкой пшеницы с климатическими условиями выявлена связь с аллеля с засухоустойчивостью. В локусе *Glu-D1* идентифицирован аллель *d* с субъединицей (5+10). Аллель *d* распространен среди генотипов пшеницы, произрастающих во влажных условиях, и коррелирует с повышенными хлебопекарными свойствами.

В сорте Далира выявлено всего 2 биотипа, отличающихся между собой аллелями *e* и *s* локуса *Gli-B1*. По глютеининкодирующим локусам сорт Далира идентичен сорту Анфея.

Появление в сортах местной селекции аллелей проламинкодирующих локусов, широко распространенных в стране или даже мире, может быть связано с включением в селекционные программы селекционных центров разных регионов одних и тех же генотипов в качестве родительских форм. Например, к ним относятся сорта Безостая 1, Мироновская 808, Саратовская 29 и др. Однако это может привести к снижению генетического разнообразия популяций сортов и даже к генетической эрозии. При этом снижается устойчивость популяции к различным неблагоприятным природно-климатическим факторам среды.

Внутрипопуляционное и генное разнообразие были максимальными в эксперименте по локусу *Gli-A1* ($9,60 \pm 1,02$ (при $m=18$) и $0,86 \pm 0,02$ соответственно). Чуть ниже были значения для локуса *Gli-D1* – $6,32 \pm 0,69$ ($m=12$) и $0,79 \pm 0,03$. Минимальным генным разнообразием характеризовались локусы *Gli-A2* и *Gli-B1* – $0,77 \pm 0,03$ и $0,77 \pm 0,03$ соответственно. Необходимо отметить, что значения генного разнообразия (*H*) по всем проанализированным локусам характеризовались, как высокие, а среднее генное разнообразие по 5 локусам составило 0,79. Это свидетельствует об отсутствии процессов генетической эрозии в исследуемой популяции мягкой пшеницы, а также об эффективной селекционной работе с культурой и включении в селекционный процесс новых генотипов.

Максимальное значение доли редких морф в эксперименте отмечено по локусу *Gli-A2* – $0,69 \pm 0,05$. Самое низкое значение *h* отмечено по двум локусам *Gli-A1* и *Gli-D1*, у которых оно было одинаковым и составляло $0,47 \pm 0,06$. В результате, показатель доли редких морф по глиадинкодирующим локусам в популяции мягкой пшеницы селекции Дальневосточного НИИСХ характеризуется средними и высокими значениями. В совокупности с данными о внутрипопуляционном разнообразии это свидетельствует о неравномерном распределении аллелей проламинкодирующих локусов в популяции. При этом, чем больше редких признаков в популяции, тем выше ее генетическая изменчивость и, как следствие, адаптивный потенциал. В результате действия неблагоприятных факторов происходит гибель наименее приспособленных особей, что ведет к снижению

внутрипопуляционного разнообразия. Одновременно с этим, в результате реакции популяции на негативные факторы, возрастает ее генетическая изменчивость.

В целом, внутрипопуляционное разнообразие по 5 проламинкодирующим локусам характеризуется как низкое (локусы *A2* и *B1*) или среднее. Показатель доли редких морф имеет средние или высокие значения, что свидетельствует о высоком адаптивном потенциале анализируемых сортов. Генное разнообразие по всем локусам имеет высокие значения. То есть полученные данные отражают эффективную селекционную работу по пшенице и включение в селекционный процесс новых генотипов. Анализ аллельного состава глютеининкодирующих локусов свидетельствует, что сорта мягкой пшеницы селекции Дальневосточного НИИСХ несут аллели, тесно сцепленные с показателями высокого качества теста и адаптивности: *Glu-B1c*, *Glu-D1d*.

В ходе идентификации блоков компонентов авенина сортов овса местной селекции, синтез которых контролируют локусы *Avn A*, *Avn B* и *Avn C*, выявлено несколько блоков, отсутствующих в каталоге генетической номенклатуры. В белковых формулах их маркировали сочетанием *new* (табл. 2).

При анализе запасных белков сорта овса Маршал установлено, что сорт гетерогенный и состоит из пяти биотипов, при этом преобладал по частоте встречаемости биотип с формулой *Avn A4 Bnew C4*. Остальные типы спектра встречались единично. У локусов *Avn B* и *Avn C* выявлены новые аллельные варианты блоков компонентов, отсутствующие в каталоге номенклатуры. Сорт овса Кардинал также гетерогенный и состоит из 7 биотипов. Новые блоки отмечены в локусах *Avn A* и *Avn B*. Аллели *Anew14*, *Bnew7* и *Bnew12*, выявленные у этого сорта, не встречались нам прежде в сортах из других регионов России. При анализе сорта Дальневосточный золотой выявлено 10 биотипов с частотой встречаемости от 1 до 81 %. В ходе идентификации блоков компонентов авенина установлено, что для основного биотипа сорта характерен новый блок, контролируемый аллелем локуса *Avn C*. Сорт Дальневосточный кормовой по компонентному составу авенина гомогенный и состоит из одного биотипа. В этом сорте также обнаружен новый блок, контролируемый аллелем локуса *Avn A*. В ходе исследования сорта Дерсу Узала выявлено 7 биотипов с частотой встречаемости от 1 до 75 %. Основным биотип этого сорта в спектре имеет новые, ранее не описанные блоки, контролируемые аллелями локусов *Avn A* и *Avn B*.

Для основных биотипов проанализированных сортов овса были рассчитаны частоты встречаемости аллелей авенинкодирующих локусов. По локусу *Avn A* максимальную частоту встречаемости имел аллель *A11* – 50,0 %, чуть реже встречался аллель *A2* – 42,9 %. Реже всего в спектрах основных биотипов выявляли аллель *Anew* – 7,1 %. По локусу *Avn B* были выявлены три аллеля: *B11*, *B4* и *B7* с частотой встречаемости 79, 14 и 7 % со-

Таблица 2. Белковые формулы авенинов сортов овса дальневосточной селекции

Сорт	Формула авенинов
Экспресс	$Avn A2+2+2+4+new +2+new+4+4+new B1+4+1+4+4+1+1+8+new +4 C6+new+new+3+3+2+1+1+new+1$
Тигровый	$Avn A2+new+2+4+new+new B new+5+4+new+5+4 C2+3+2+2+4+3$
Премьер	$Avn A2+new+2+4+2+2+2 B1+4+4+new+1+1+new2 C2+2+2+2+5+6+3$
Маршал	$Avn A4+4+4+2+4 Bnew+4 +4+4+new C4+6+3+new+6$
Кардинал	$Avn A2+new14+2+4+2+2+2 B1+4+4+new7+1+1+new12 C2+2+2+2+5+6$
Передовик	$Avn A2+11 B11 C2$
Дальневосточный Золотой	$Avn A11+11+2+11+11+2+11 B11+4+8+4+11+4+4+11+4+11 C4+2+2+5+2+6+3+2+3+new$
Дальневосточный Кормовой	$Avn Anew B11 C1$
Дерсу Узала	$Avn A11+2+2+11+11+2+new7 B11+11+4+11+7+new12 C2+6+3+4+6+2+4$

ответственно. Наибольшее в эксперименте аллельное разнообразие было выявлено для локуса *Avn C*, по которому у основных биотипов идентифицировано 5 аллельных вариантов: *C1*, *C2*, *C6*, *C4* и *Slnew*. Максимальной частотой встречаемости характеризовался аллель *C2*, идентифицированный в 57 % биотипов. Остальные аллели имели частоту от 7 (*C1*, *Slnew*) до 14 % (*C6*, *C4*). Среднее генное разнообразие на locus составило 0,60 для локуса *Avn A*, 0,38 для *Avn B* и 0,67 для *Avn C*.

Для сортов ярового овса посевного дальневосточной селекции разработаны эталонные спектры проламинов и составлены полные белковые формулы авенинов. Только один из 9 исследованных сортов был гомогенным. Для остальных сортов выявлено от 2 до 10 биотипов.

В результате анализа компонентного состава глиадинов 20 образцов тритикале установлено, что только один из них состоит из одного биотипа (209-20), остальные линии гетерогенные и содержат от 2 до 13 биотипов. Частота встречаемости биотипов в гетерогенных образцах варьировала от 97 до 1 %, при этом большинство из них были минорными и имели распространенность менее 10 %. Однако часть проанализированных селекционных линий тритикале различались между собой только наличием минорных биотипов.

При сравнительном анализе основных биотипов образцов тритикале выделено две группы с одинаковым компонентным составом проламинов основных биотипов: 1 группа – 102-20, 103-20, 104-20, 106-20, 209-20, 212-20 и 224-20; 2 группа – 184-20, 185-20, 188-20, 190-20 и 196-20. Уникальными типами спектров глиадинов основных биотипов характеризуются образцы Укро, 105-20, 109-20, 125-20, 208-20, 217-20, 218-20 и 237-20.

Совпадение типов спектра у проанализированных образцов, вероятно, связано с наличием у них общих родительских генотипов. При этом сходство электрофоретических спектров не означает полной идентичности сортов. В этом случае все проанализированные образцы тритикале различаются между собой по наличию и частоте встречаемости минорных биотипов.

В ходе определения компонентного состава глютеинов образцов тритикале установлено, что два из них гомогенные – 102-20 и 237-20. У остальных образцов количество биотипов составляет от 2 до 5. Частота встречаемости биотипов варьирует от 3 до 98 %. Для трех выделенных фракций (высокомолекулярные глютеины, 75K γ-секалины и низкомолекулярные глютеины) характерна высокая степень генетического разнообразия в популяциях тритикале, выраженная в наличии различных вариантов аллелей, которые встречаются с высокой частотой. Образцы тритикале 102-20, 103-20, 106-20, 109-20, 125-20 и 184-20, 188-20, 190-20, 208-20, 209-20, 217-20, 218-20, 224-20 и 237-20 имеют одинаковые аллели, контролирующие синтез высокомолекулярных глютеинов и секалинов. Для большинства образцов, за исключением 109-20, 184-20, 185-20, 217-20, и отдельных биотипов 106-20, 196-20, 125-20, 212-20 и 218-20 характерен один и тот же аллель, контролирующий синтез 75K γ-секалинов.

Наибольшую в эксперименте частоту встречаемости среди высокомолекулярных глютеинов и секалинов имела комбинация компонентов, обозначенная нами как 1 – 52 % от всех исследованных генотипов. Самыми редкими были сочетания 8 – 109-20 (3 биотип), 125-20 (8 биотип), 9 – 125-20 (3 биотип), 10 – 218-20 (3 биотип).

Во фракции 75K γ-секалинов выявлено 3 комбинации белковых компонентов. Комбинации 1 и 2 имели

одинаковую частоту встречаемости среди образцов. Фракция 3 выявлена только у образца 184-20 (1 и 2 биотип). Во фракции низкомолекулярных глютеинов и секалинов выявлено 8 комбинаций компонентов. Самыми редкими оказались комбинации 7 и 8, выявленные в образце 109-20 (4 и 5 биотип).

Образцы тритикале дальневосточной селекции объединены в группы, имеющие одинаковый компонентный состав глютеинов и секалинов:

первая группа – Укро (2 биотип), 188-20 (2 биотип), 209-20 (2 биотип);

вторая группа – 102-20 (1 биотип), 103-20 (1 биотип), 104-20 (3 биотип), 106-20 (1 биотип), 208-20 (1 биотип), 224-20 (1 биотип), 190-20 (1 биотип);

третья группа – 125-20 (1 биотип), 185-20 (3 биотип);

четвертая группа – 103-20 (2 биотип), 104-20 (2 биотип), 109-20 (1 биотип), 185-20 (2 биотип), 208-20 (2 биотип), 217-20 (1 биотип), 237-20 (1 биотип), 190-20 (2 биотип), 188-20 (3 биотип).

Для остальных образцов тритикале характерны уникальные сочетания комбинаций высокомолекулярных и низкомолекулярных глютеинов и секалинов, из которых выделены генотипы с наибольшей частотой встречаемости (50...98 %) – это основные биотипы образцов 103-20, 104-20, 105-20, 184-20, 185-20, 188-20, 196-20, 209-20, 212-20, 218-20.

На сегодняшний день запасные белки тритикале остаются недостаточно изученными. Также, эта культура считается генетически нестабильной из-за особенностей своего происхождения (объединение геномов пшеницы и ржи). Затруднения в поддержании генетической стабильности сортов тритикале в процессе возделывания может вызвать и склонность этой культуры к открытому цветению, что приводит к спонтанному перепылению. С другой стороны, включение одних и тех же генотипов в скрещивания привело к тому, что получаемые гибриды и селекционные линии схожи по аллельному составу проламин- и глютеинкодирующих локусов, что свидетельствует о необходимости расширения генетического разнообразия путем привлечения новых географических отдаленных форм.

Выводы. В результате изучения биотипного состава зерновых культур селекции Дальневосточного НИИСХ методом электрофореза запасных белков установлено, что основная часть сортов и селекционных линий гетерогенны.

Сорта мягкой пшеницы содержат от 2 до 10 биотипов с частотой встречаемости от 1 до 97 %. По первой гомеологической группе преобладают аллели *Gli-A1b*, *Gli-B1e*; *Gli-D1f*, по шестой – *Gli-A2m* и *Gli-D2b*. Среднее генное разнообразие (H) в исследованной популяции составляет 0,79±0,04 и характеризуется как высокое. По глютеинкодирующим локусам сорта пшеницы мягкой несут аллели в локусах *Glu-B1c*, *Glu-D1d*, отвечающие за высокое качество теста и параметры адаптивности.

Большинство сортов овса (89 %) содержат от 2 до 10 биотипов. Для всех трех авенинокодирующих локусов обнаружены новые аллельные варианты, отсутствующие в каталоге генетической номенклатуры. Часть из новых аллелей отмечены только в сортах дальневосточной селекции.

Образцы тритикале были гетерогенными по компонентному составу глиадинов. Выделены две группы с одинаковым составом проламинов основных биотипов. Уникальные спектры глиадинов отмечены у образцов тритикале 105-20, 109-20, 125-20, 208-20, 217-20, 218-20 и 237-20. Редкими сочетаниями вы-

сокомолекулярных глютеинов и секалинов характеризовались основные биотипы селекционных линий 103-20, 104-20, 105-20, 184-20, 185-20, 188-20, 196-20, 209-20, 212-20, 218-20.

Рекомендуется систематический контроль биотипного состава сортов зерновых культур методом электрофореза проламинов для поддержания постоянства их генетической структуры, своевременного отслеживания биологического и механического засорения в процессе возделывания и расширения имеющихся знаний о гетерогенности сортовых популяций по запасным белкам зерна.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследования выполнены в рамках реализации Соглашения Минобрнауки РФ о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидий от 17 апреля 2025 г. № 75-15-2025-188

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Литература.

1. Immunochemical analysis of oat avenins in an oat cultivar and landrace collection / H. G. Ahola, T. Sontag-Strohm, A. H. Schulman, et al. // *Journal of Cereal Science*. 2020. Vol. 95. Article 103053. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521020302095> (дата обращения 07.04.2026). doi: 10.1016/j.jcs.2020.103053.
2. Girard A. L., Awika J. M. Impact of condensed tannin interactions with grain proteins and non-starch polysaccharides on batter system properties // *Food Chemistry*. 2021. Vol. 359. Article 129969. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621009754> (дата обращения 07.04.2026). doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129969.
3. Camerlengo F., Kiszona A. M., Genetic factors influencing triticale quality for food // *Journal of Cereal Science*. 2023. Vol. 113. Article 103744. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521023001170> (дата обращения 07.04.2026). doi: 10.1016/j.jcs.2023.103744.
4. Genetic polymorphism of glutenin subunits with high molecular weight and their role in grain and dough qualities of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) from Northern Kazakhstan / M. Utebayev, S. Dashkevich, K. Kunanbayev, et al. // *Acta Physiologia Plantarum*. 2019. Vol. 41. Article 71. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-019-2862-5> (дата обращения 07.04.2026). doi: 10.1007/s11738-019-2862-5.
5. Lyubimova A. V., Eremin D. I., Renev E. P. Genetic Variation Analysis of Avenin Components in the Population of F2 Common Oat Hybrids // *Agronomy*. 2024. No. 14(12). Article 2899. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/12/2899> (дата обращения 07.04.2026). doi: 10.3390/agronomy14122899.
6. Metakovskiy E. V., Novoselskaya A. Yu. Gliadin allele identification in common wheat. 1. Methodological aspects of the analysis of gliadin pattern by one-dimensional 153 polyacrylamide – gel electrophoresis // *Journal of Genetics and Breeding*. 1991. No. 45. P. 317–324.
7. Payne P. I., Lawrence G. J. Catalogue of alleles for the complex gene loci, *Glu-A1*, *Glu-B1*, and *Glu-D1* which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat // *Cereal Research Communications*. 1983. Vol. 11. No. 1. P. 29–35.
8. Разнообразие высокомолекулярных субъединиц глютеина и оценка генетического сходства яровой мягкой пшеницы, созданной в различных селекционных учреждениях / М. У. Утебаев, Н. А. Боме, Е. С. Земцова и др. // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021. Т. 182. № 1. С. 99–109. doi: 10.30901/2227-8834-2021-1-99-109.
9. Оценка генетического разнообразия глиадинокодирующих локусов у образцов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), созданных в различных селекционных центрах Казахстана и России / М. У. Утебаев, С. М. Дашкевич, О. О. Крадецкая, и др. // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2024. Т. 28. № 3. С. 263–275. doi: 10.18699/vjgb-24-31.
10. Любимова А. В., Еремин Д. И., Кончева Д. А. Изменение показателей генетической структуры популяции сортов овса, возделываемых в Тюменской области, за 90-летний период // *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 12. С.32–41. doi: 10.36718/1819-4036-2022-12-32-41.

References.

1. Ahola HG, Sontag-Strohm T, Schulman AH, et al. Immunochemical analysis of oat avenins in an oat cultivar and landrace collection. *J Cereal Sci* [Internet]. 2020[cited 2026 Apr 7];95:103053. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521020302095>. doi: 10.1016/j.jcs.2020.103053.
2. Girard AL, Awika JM. Impact of condensed tannin interactions with grain proteins and non-starch polysaccharides on batter system properties. *Food Chem* [Internet]. 2021[cited 2026 Apr 7];359:129969. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814621009754>. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129969.
3. Camerlengo F, Kiszona AM. Genetic factors influencing triticale quality for food. *J Cereal Sci* [Internet]. 2023[cited 2026 Apr 7];113:103744. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733521023001170>. doi: 10.1016/j.jcs.2023.103744.
4. Utebayev M, Dashkevich S, Kunanbayev K, et al. Genetic polymorphism of glutenin subunits with high molecular weight and their role in grain and dough qualities of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) from Northern Kazakhstan. *Acta Physiol Plant* [Internet]. 2019[cited 2026 Apr 7];41:71. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-019-2862-5>. doi: 10.1007/s11738-019-2862-5. [Internet].
5. Lyubimova AV, Eremin DI, Renev EP. Genetic Variation Analysis of Avenin Components in the Population of F2 Common Oat Hybrids. *Agronomy* [Internet]. 2024[cited 2026 Apr 7];14(12):2899. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/12/2899>. doi: 10.3390/agronomy14122899.
6. Metakovskiy EV, Novoselskaya AYU. Gliadin allele identification in common wheat. 1. Methodological aspects of the analysis of gliadin pattern by one-dimensional polyacrylamide – gel electrophoresis. *J Genet Breed*. 1991;(45):317-24.
7. Payne PI, Lawrence GJ. Catalogue of alleles for the complex gene loci, *Glu-A1*, *Glu-B1*, and *Glu-D1* which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Res Commun*. 1983;11(1):29-35.
8. Utebaev MU, Bome NA, Zemtsova ES, et al. [Diversity of high-molecular-weight glutenin subunits and assessment of genetic similarity of spring bread wheat developed in different breeding institutions]. *Tr Prikl Bot Genet Sel*. 2021;182(1):99-109. doi: 10.30901/2227-8834-2021-1-99-109. Russian.
9. Utebaev MU, Dashkevich SM, Kradetskaia OO, et al. [Assessment of genetic diversity of gliadin-coding loci in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) accessions developed in various breeding centers of Kazakhstan and Russia]. *Vavilovskii Zhurn Genet Sel*. 2024;28(3):263-75. doi: 10.18699/vjgb-24-31. Russian.
10. Lyubimova AV, Eremin DI, Koncheva DA. [Changes in the genetic structure parameters of the oat variety population cultivated in the Tyumen region over a 90-year period]. *Vestn KrasGAU*. 2022;(12):32-41. doi: 10.36718/1819-4036-2022-12-32-41. Russian.

Поступила в редакцию 27.11.2025 После доработки 15.12.2025 Принята к публикации 28.01.2026