

Научная статья  
УДК 633.13:581.198(571.12)  
DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131



## Аллельное состояние проламин-кодирующих локусов нового сорта овса посевного 'Тоболяк'

А. В. Любимова\*, М. Н. Фомина, Д. И. Еремин, В. С. Мамаева, В. С. Мишечкина,  
Н. А. Брагин, С. А. Белоусов, М. В. Брагина

*Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия*

**Автор, ответственный за переписку:** Анна Валерьевна Любимова, [ostapenkoav88@yandex.ru](mailto:ostapenkoav88@yandex.ru)

**Актуальность.** Для того чтобы наиболее полно раскрыть преимущества сорта и эффективно использовать его в производстве, необходимо обеспечить высокие посевные и сортовые качества семян, что требует улучшения селекционно-семеноводческой работы. Все шире в первичном семеноводстве применяются биотехнологические методы. Высокую эффективность показал метод электрофореза запасных белков семян – проламинов. Целью исследований была оценка биотипного состава и аллельного состояния проламин-кодирующих локусов нового сорта ярового овса 'Тоболяк' для дальнейшего использования в первичном семеноводстве.

**Материалы и методы.** Методом нативного электрофореза было исследовано 1519 семей сорта 'Тоболяк'. Для анализов методом случайной выборки отбирали по три зерновки от каждой семьи. Электрофорез проводили в вертикальных пластинах 13,2-процентного полиакриламидного геля при постоянном напряжении 500 V в течение 4,5–5,0 часов.

**Результаты.** В результате исследования семей сорта 'Тоболяк' выявлено 13 типов спектра авенина с частотой встречаемости от 96,36 до 0,07%. Описан новый блок компонентов авенина, контролируемый аллелем локуса *Avn B*. Данному блоку присвоен номер 8. Установлено, что сорт 'Тоболяк' создан путем скрещивания минорного биотипа сорта 'Таёжник' (*Avn 4.4.2*) и первого биотипа сорта 'Орион' (*Avn 2.8.2*). Основу сорта 'Тоболяк' составляет один генотип с формулой авенина *Avn 4.8.2*. Остальные типы спектров возникли в результате скрещивания различных биотипов сортов 'Таёжник' и 'Орион', а также механического засорения. Для поддержания генетической стабильности сорта 'Тоболяк' рекомендовано использовать в процессе оригинального семеноводства только семьи с первым типом спектра.

**Ключевые слова:** первичное семеноводство, электрофорез, авенин-кодирующие локусы, блоки компонентов авенина, сортовая чистота, биотипный состав сорта

**Благодарности:** работа выполнена по госзаданию № 122011300103-0 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Для цитирования:** Любимова А. В., Фомина М.Н., Еремин Д.И., Мамаева В.С., Мишечкина В.С., Брагин Н.А., Белоусов С.А., Брагина М.В. Аллельное состояние проламин-кодирующих локусов нового сорта овса посевного 'Тоболяк'. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(3):123-131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131

## Allelic state of prolamin-coding loci in the new oat cultivar 'Tobolyak'

Anna V. Lyubimova, Maria N. Fomina, Dmitry I. Eremin, Victoria S. Mamaeva, Valeria S. Mishechkina, Nikolay A. Bragin, Sergei A. Belousov, Maria V. Bragina

*Tyumen Scientific Centre, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia*

**Corresponding author:** Anna V. Lyubimova [ostapenkoav88@yandex.ru](mailto:ostapenkoav88@yandex.ru)

**Background.** In order to fully reveal the advantages of a cultivar and use it effectively in production, it is necessary to ensure high sowing and varietal qualities of seeds, which requires improvement in breeding and seed production. Biotechnological methods are increasingly used in initial seed production. High efficiency was shown by the method of electrophoresis of seed storage proteins – prolamins. The aim of this study was to assess the biotype composition and allelic state of the prolamin-coding loci in the new spring oat cultivar 'Tobolyak' for its further use in initial seed production.

**Materials and methods.** In 2021, 1519 families of cv. 'Tobolyak' were studied using the method of native electrophoresis. Three grains from each family were selected for analyses by random sampling. Electrophoresis was carried out in vertical plates of 13.2% polyacrylamide gel at a constant voltage of 500 V for 4.5–5.0 hours.

**Results and conclusion.** The study of cv. 'Tobolyak' families resulted in identifying 13 types of avenin patterns with a frequency of occurrence from 96.36 to 0.07%. A new block of avenin components controlled by the allele of the *Avn B* locus was described. Number 8 was assigned to this block. It was established that cv. 'Tobolyak' had been developed by crossing a minor biotype of cv. 'Taezhnik' (*Avn 4.4.2*) with the first biotype of cv. 'Orion' (*Avn 2.8.2*). The basis of cv. 'Tobolyak' was one genotype with the *Avn 4.8.2* avenin formula. The remaining biotypes arose as a result of crossing the biotypes of cvs. 'Taezhnik' and 'Orion' as well as through mechanical contamination. To maintain the genetic stability of cv. 'Tobolyak', it is recommended to use only families of the first biotype in the process of original seed production.

**Keywords:** initial seed production, electrophoresis, avenin-coding loci, blocks of avenin components, varietal purity, biotype composition of the cultivar

**Acknowledgements:** the work was carried out within the framework of the state task (No. 122011300103-0) and supported by the West Siberian Interregional Scientific and Educational Center.

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**For citation:** Lyubimova A.V., Fomina M.N., Eremin D.I., Mamaeva V.S., Mishechkina V.S., Bragin N.A., Belousov S.A., Bragina M.V. Allelic state of prolamin-coding loci in the new oat cultivar 'Tobolyak'. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(3):123-131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131

## Введение

Овес посевной (*Avena sativa* L.) – зерновая культура, содержащая большое количество биологически активных веществ, приносящих существенную пользу здоровью. Он характеризуется высоким содержанием пищевых волокон, жизненно важных витаминов (В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub> и витамин Е) и белка (Martinez et al., 2010; Ibrahim et al., 2020). Кроме того, овес заметно отличается от других злаковых культур по содержанию незаменимых аминокислот, жирных кислот, β-глюканов и фенольных соединений. Потребление овса в пищу снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний и благоприятно влияет на желудочно-кишечный тракт (Grundy et al., 2018; Carlson et al., 2019; Campbell et al., 2021; Kaur et al., 2019). Все это делает овес важным источником ценных питательных веществ для человека и животных.

Селекция овса направлена на создание сортов с высокими показателями продуктивности, качества зерна и устойчивостью к неблагоприятным факторам среды (Polonskiy et al., 2019; Kabashov et al., 2020, Shvachko et al., 2021). Для получения таких сортов в настоящее время используются не только методы традиционной селекции, но также достижения генетики и биотехнологии, в том числе маркер-ассоциированная и геномная селекция (Shavrukov, 2016; Scheben et al., 2017; Carlson et al., 2019; Loskutov, 2021).

Однако, для того чтобы наиболее полно раскрыть преимущества сорта и эффективно использовать его в производстве, необходимо также обеспечить высокие посевные и сортовые качества семян. В первичном семеноводстве зерновых культур, в том числе овса, основным методом является индивидуальный отбор на основе морфологических признаков. Однако его применение осложняется тем, что многие возделываемые сорта относятся к одной разновидности и трудно различимы внешне. Еще одна сложность – это наличие гетерогенных, то есть состоящих из нескольких биотипов, сортов. При ведении первичного семеноводства таких сортов важно обеспечить не только чистосортность, высокую продуктивность будущей элиты, но и сохранить оптимальное соотношение биотипов. В связи с этим в первичном семеноводстве все шире применяются методы молекулярного и биохимического маркирования. Высокую эффективность показал метод электрофореза запасных белков семян – проламинов. Он позволяет обнаружить сортовую примесь в тех случаях, когда это невозможно сделать по морфологическим признакам, а также дает возможность контролировать и поддерживать постоянство биотипного состава гетерогенных сортов (Zobova et al., 2018; Utebayev et al., 2019; Yarova, Tobolova, 2021).

Проламины овса – авенины – наследуются сцепленно (блоками) и контролируются тремя независимыми локусами *Avn A*, *Avn B* и *Avn C*, по каждому из которых выявлен множественный аллелизм. На сегодняшний день для локуса *Avn A* описано 8 аллелей, *Avn B* – 5, *Avn C* – 7. Полиморфизм проламинов овса ниже, чем у пшеницы и ячменя, однако практически каждый сорт овса, биотип или линия характеризуется уникальным компонентным составом запасных белков (Portyanko et al., 1987; Portyanko et al., 1998). В Научно-исследовательском институте сельского хозяйства Северного Зауралья – филиале Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН) метод электрофореза авенинов успешно применяется в семеноводстве овса с 2014 г. (Lyubimova et al., 2020a).

В 2020 г. в Государственный реестр селекционных достижений по Тюменской области был включен новый сорт ярового овса ‘Тоболяк’, обладающий высокими продуктивностью и технологическими свойствами (Fomina et al., 2021). Целью наших исследований было оценить биотипный состав и аллельное состояние авенин-кодирующих локусов нового сорта ярового овса ‘Тоболяк’ для дальнейшего использования в первичном семеноводстве.

## Материалы и методы

Исследования проводили на базе лаборатории геномных исследований в растениеводстве Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (ТюмНЦ СО РАН) в 2020 и 2021 г. Материалом для исследований послужил сорт ярового овса ‘Тоболяк’, созданный в НИИСХ СЗ – филиале ТюмНЦ СО РАН методом внутривидовой гибридизации с последующим отбором из гибридной популяции Таёжник × Орион (F<sub>1</sub>), разновидность *mutica*. Сорт включен в Государственный реестр селекционных достижений в 2020 г. и рекомендован для возделывания в Западносибирском (10), Восточносибирском (11) и Дальневосточном (12) регионах РФ (Fomina et al., 2021).

Растительный материал получен на опытном поле НИИСХ СЗ вблизи поселка Московский. Почва темно-серая лесная, оподзоленная. Агротехника возделывания сорта традиционная для лесостепной зоны Зауралья. В 2020 г. для формирования питомников первичного семеноводства было отобрано 1519 метелок. Для анализа методом нативного электрофореза проламинов от каждой из семей случайным образом отбирали по три зерновки. Всего было проанализировано 4557 зерновок. Кроме того, исследовали по 100 индивидуальных зерновок сортов овса посевного, послуживших исходным материалом для создания сорта ‘Тоболяк’ – ‘Таёжник’ и ‘Орион’ (рис. 1).

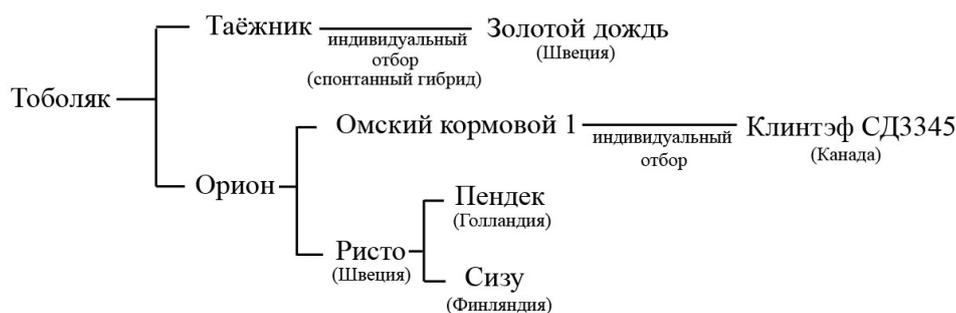


Рис. 1. Родословная сорта овса ярового ‘Тоболяк’ (по: Fomina, 2021)

Fig. 1. Pedigree of the spring oat cultivar ‘Tobolyak’ (from Fomina, 2021)

Электрофорез проводили в вертикальных электрофоретических камерах модели VE-20 (Helicon, Россия) с размерами формируемых пластин  $178 \times 175 \times 1,5$  мм при постоянном напряжении 500 V в течение 4,5–5,0 часов. Подробное описание методики опубликовано ранее (Lyubimova et al., 2020b). Идентификацию аллельных вариантов блоков компонентов авенина, контролируемых авенин-кодирующими локусами, осуществляли согласно каталогу, разработанному В. А. Портянко с соавторами, с дополнениями А. В. Любимовой (Portyanko et al., 1987; Lyubimova, 2022). Если обнаруженный на электрофореграмме блок компонентов отсутствовал в каталоге, вместо его порядкового номера в генетической формуле записывалось сочетание “new”. В качестве стандарта использовали овес посевной сорта ‘Astor’ (Avn 2.4.2).

Частоту встречаемости биотипов рассчитывали по формуле:

$$P = \frac{n}{N} \times 100, \quad (1)$$

где P – встречаемость биотипа, %; n – количество семей с одинаковым типом спектра авенина; N – общее число проанализированных семей сорта.

### Результаты

В результате исследования компонентного состава авенинов семей сорта ‘Тобольск’ было выявлено 13 различных типов спектра. Частота встречаемости биотипов варьировала от 96,36 до 0,07% (табл. 1).

В ходе исследований было выявлено три семьи, в которых присутствовали зерновки, отличающиеся друг от друга по компонентному составу авенина – семья 59 содержала зерна с 5 и 6, семья 1434 – с 7 и 1, а семья 1460 – зерна с 1 и 13 типами спектров соответственно. При этом 13 биотип представлял собой гетерозиготу и характеризовался наличием двух аллелей локуса Avn A – 1 и 4 (рис. 2).

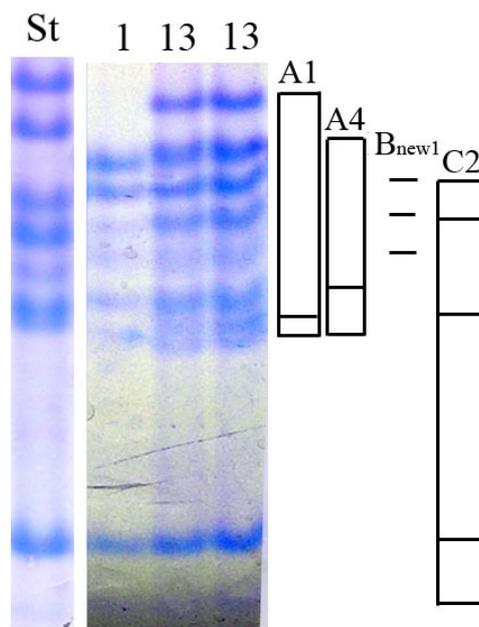
В ходе идентификации аллелей, контролирующих синтез блоков компонентов авенина, было выявлено три новых аллеля локуса Avn A и четыре новых аллеля локуса Avn B (см. табл. 1). В том числе новый аллель по локусу Avn B – new1 – обнаружен в основном биотипе сорта ‘Тобольск’. Чаще всего для описания и внесения в каталог новых аллельных вариантов блоков компонентов авенина необходимо провести гибридизацию и оценить характер наследования белковых спектров. Однако в ряде случаев достаточно оценить компонентный состав авенина родительских сортов и генотипов, полученных в результате скрещивания.

Исследование компонентного состава проламинов сорта овса ‘Таёжник’ проводилось нами ранее (Lyubimova et al., 2020b). Сорт выведен Нарымской государственной селекционной станцией (ныне – Сибирский федеральный центр агробиотехнологий Российской академии наук) в Томской области методом индивидуального отбора, представляет собой спонтанный гибрид сорта ‘Золотой дождь’ (Fomina et al., 2021). В результате электрофоретического анализа проламинов установлено, что сорт состоит из двух биотипов в соотношении 2 : 1 и имеет генетическую формулу авенина Avn 2+1.new8.2.

Сорт овса посевного ‘Орион’ выведен Сибирским научно-исследовательским институтом сельского хозяйства, (с 2018 г. – ФГБНУ «Омский аграрный научный центр») в Омской области методом внутривидовой гибридизации сортов Омский кормовой 1 × Ристо (Fomina et al., 2021). В результате анализа авенинов установлено, что основу сорта составляет один генотип с формулой Avn 2.new8.2, идентичной формуле первого биотипа сорта ‘Таёжник’. Помимо этого, были выявлены два минорных типа спектров с частотой встречаемости 1 и 2%. Для второго биотипа был идентифицирован только аллель по локусу Avn C (рис. 3). Белковая формула сорта ‘Орион’: Avn 2+new+2. new8+new+1. 2+5+4.

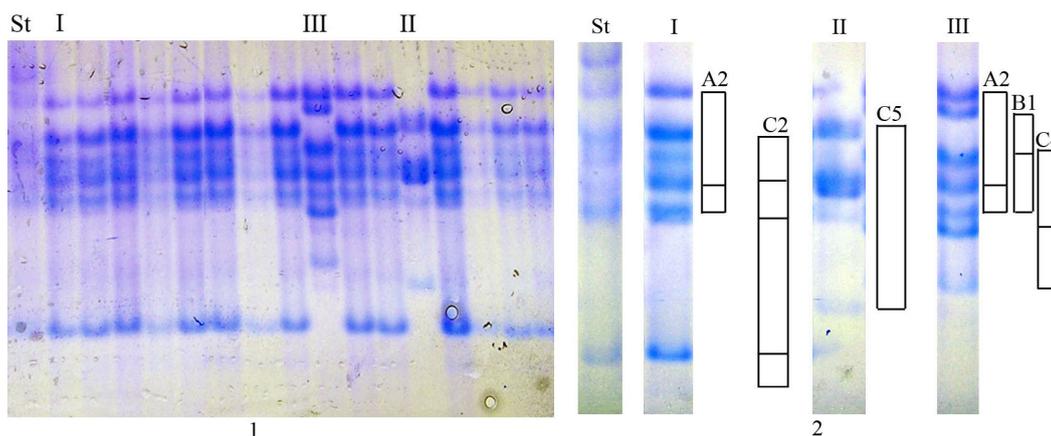
**Таблица 1.** Частота встречаемости и генетические формулы авенина биотипов, выявленных в сорте ‘Тобольск’  
**Table 1.** Frequency of occurrence and genetic formulas of avenin biotypes identified in cv. ‘Tobolyak’

№ биотипа / Biotype No.	Генетическая формула авенина / Genetic formula of avenin	Частота встречаемости, % / Frequency of occurrence, %
1	4.new1.2	96,36
2	4.4.2	1,18
3	2.new1.2	1,51
4	new.new1.1	0,26
5	new2.new2.3	0,07
6	new3.new2.3	0,07
7	4.1.2	0,07
8	2.1.1	0,07
9	2.2.6	0,07
10	2.4.2	0,13
11	2.new3.5	0,07
12	4.new4.6	0,07
13	1,4.new1.2	0,07



**Рис. 2.** Электрофоретические спектры и схемы блоков компонентов гетерозиготного биотипа семьи 1460 сорта 'Тоболяк': St - 'Astor' (стандарт); 1, 13 - типы спектров

**Fig. 2.** Electrophoretic patterns and schemes of blocks of components in the heterozygous biotype of the 1460 family of cv. 'Tobolyak': St - 'Astor' (standard reference); 1, 13 - types of patterns



**Рис. 3.** Эталонный спектр (1) и схема блоков компонентов авенина (2) сорта овса посевного 'Орион': I, II, III - номера биотипов; St - 'Astor' (стандарт)

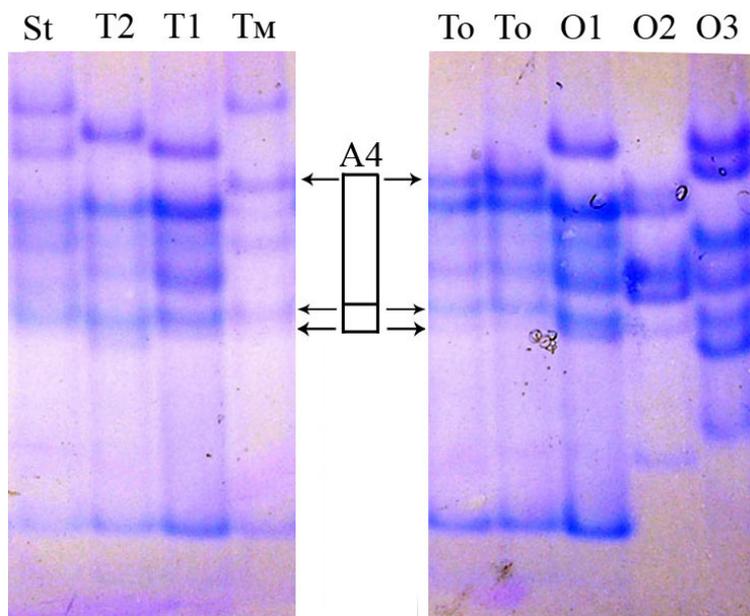
**Fig. 3.** Reference pattern (1) and scheme of blocks of avenin components (2) of the oat cultivar 'Orion': I, II, III - numbers of biotypes; St - 'Astor' (standard reference)

### Обсуждение

В результате проведенного анализа нами установлено, что основу сорта 'Тоболяк' составляет один биотип с генетической формулой авенина *Avn 4.new1.2*. Известно, что компоненты авенина наследуются блоками и имеют кодоминантный тип наследования (Portyanko et al., 1987). Следовательно, спектр сорта 'Тоболяк' должен представлять собой комбинацию аллельных вариантов блоков компонентов родительских сортов. Согласно генетическим формулам родительских сортов, источниками аллелей локусов *Avn B* и *Avn C* могли послужить оба биотипа сорта 'Таёжник' и генотип сорта 'Орион' с первым типом спектра авенина. Но сорт 'Тоболяк' имеет аллель 4 локуса *Avn A*, отсутствующий у всех этих биотипов.

Для того чтобы определить, какой из сортов послужил источником аллеля *A4*, нами был проведен дополнительный анализ, в результате которого искомым аллель был выявлен в сорте 'Таёжник'. Несущий его биотип имеет крайне низкую частоту встречаемости и не был обнаружен нами при первоначальных исследованиях, из-за чего не включен в формулу сорта. Однако электрофоретический анализ авенинов показывает, что именно он вошел в родословную сорта 'Тоболяк' (рис. 4).

Таким образом, сорт овса посевного 'Тоболяк' был создан путем скрещивания минорного биотипа сорта 'Таёжник' (*Avn 4.4.2*) и генотипа сорта 'Орион' с первым типом спектра (*Avn 2.new8.2*). Следовательно, аллель *Bnew1* сорта 'Тоболяк' идентичен аллелю *Bnew8* сорта 'Орион'.



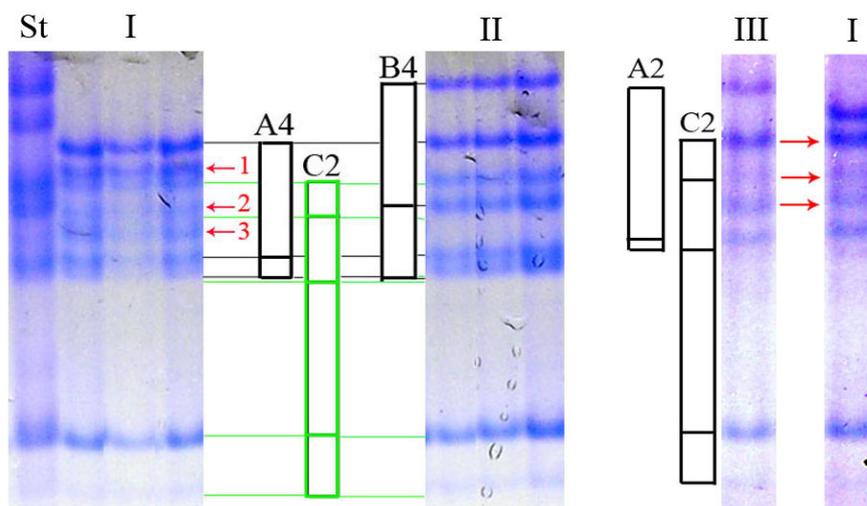
**Рис. 4. Определение родительских биотипов сорта 'Тоболяк' с использованием метода электрофореза авенинов:**

St – 'Astor' (стандарт); T2–T1 – II и I биотипы сорта 'Таёжник'; Tm – минорный биотип сорта 'Таёжник'; To – 'Тоболяк'; O1–O3 – I, II, III биотипы сорта 'Орион'

**Fig. 4. Identification of parental biotypes of cv. 'Tobolyak' using the avenin electrophoresis technique:**  
St – 'Astor' (standard reference); T2–T1 – biotypes II and I of cv. 'Taezhnik'; Tm – minor biotype of cv. 'Taezhnik'; To – 'Tobolyak'; O1–O3 – biotypes I, II and III of cv. 'Orion'

Внешний вид блока компонентов, контролируемого аллелем *new8* локуса *Avn B*, был определен путем сравнения различных типов спектра сорта 'Тоболяк'. Наиболее показательным оказалось сравнение электрофореграмм первого и второго биотипов, отличающихся только аллелем локуса *Avn B* (рис. 5).

При сравнении электрофореграмм этих биотипов нами выявлены два компонента проламина (1 и 3 на рис. 5), которые были на спектрах первого биотипа и отсутствовали у второго. Также на электрофореграммах первого и второго типов спектра был установлен компонент авенина (2 на рис. 5), который не входит в состав



**Рис. 5. Определение блока компонентов авенина, синтез которого контролируется локусом *Avn B*.**

Стрелками отмечены компоненты определяемого блока компонентов;

1–3 – номера компонентов блока. Тонкие линии указывают на принадлежность компонентов электрофореграмм определенному блоку.

St – 'Astor' (стандарт); I–III – биотипы сорта 'Тоболяк'

**Fig. 5. Identification of the block of avenin components whose synthesis is controlled by the *Avn B* locus.**

The arrows mark the components of the identified block of components;

1–3 – numbers of block components. Thin lines indicate that the electrophoresis components belong to a certain block.

St – 'Astor' (standard reference); I–III – biotypes of cv. 'Tobolyak'

блоков A4 и C2. При сравнении первого и третьего биотипов, отличающихся блоками, контролируемые локусом *Avn A*, на электрофореграмме третьего также были обнаружены белковые полосы № 1, 2 и 3.

Это позволило нам без проведения гибридизации определить состав нового блока компонентов, синтез которых контролируется локусом *Avn B*, отсутствующего в каталоге генетической номенклатуры (Portuauko et al., 1987; Lyubimova, 2022). Данному блоку присвоен номер 8. Он же характерен для первого и второго типов спектра сорта 'Таёжник' и основного биотипа сорта 'Орион'. Необходимо отметить, что первые компоненты блоков B8 и C2 близки по своей электрофоретической подвижности. Это приводит к тому, что данные белковые бэнды занимают практически одинаковое положение на некоторых электрофореграммах. При этом образованная ими спектральная полоса характеризуется более высокой интенсивностью окраски (см. рис. 2, биотип 1, 13; рис. 3, биотип I). Компоненты № 2 блоков B8 и B4 также совпадают по электрофоретической подвижности.

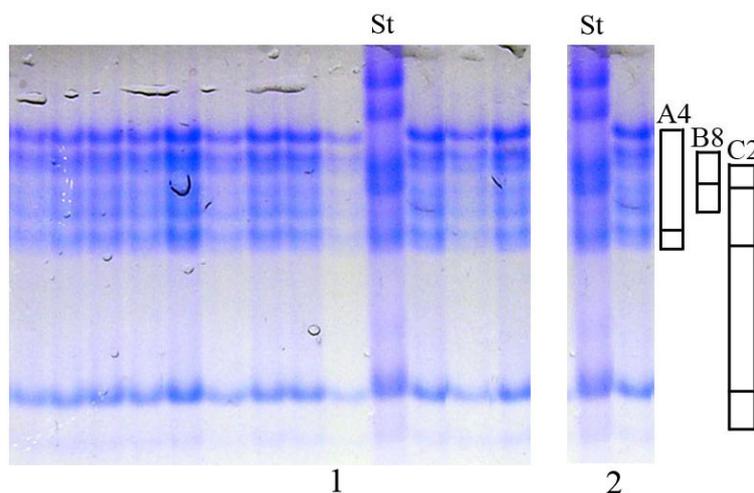
Таким образом, формула авенина сорта 'Тоболяк' имеет вид *Avn 4.8.2*. Белковый паспорт сорта представлен на рисунке 6.

шие в спектрах сортов 'Таёжник' и 'Орион'. Так, например, биотип № 8 имеет аллели *B1* и *C1*, а № 9 – аллель *C6*. Учитывая, что частота встречаемости таких биотипов редко превышала 0,07%, их появление, вероятнее всего, вызвано простым механическим засорением семенного материала. Также возможно, что они возникли путем гибридизации, но в качестве одного из родительских растений выступил генотип с крайне низкой частотой встречаемости или сортовая примесь.

Выявленные в результате анализа гетерозиготные растения являются следствием остаточной гетерозиготности сорта и свидетельствуют о продолжающемся процессе расщепления. При дальнейших пересевах такие растения могут послужить источником сортовой примеси, и очень важно своевременно исключить их из дальнейшего размножения.

### Выводы

1. Основу сорта 'Тоболяк' составляет один генотип (96,36%) с формулой авенина *Avn 4.8.2*. Сорт получен путем гибридизации минорного биотипа сорта 'Таёжник' (*Avn 4.4.2*) и первого биотипа сорта 'Орион' (*Avn 2.8.2*).



**Рис. 6. Паспорт сорта овса посевного 'Тоболяк':**

1 – эталонный спектр авенина; 2 – схема блоков компонентов авенина; St – 'Astor' (стандарт)

**Fig. 6. Passport of the oat cultivar 'Tobolyak':**

1 – reference avenin pattern; 2 – scheme of blocks of avenin components; St – 'Astor' (standard reference)

Всего в результате анализа семей сорта 'Тоболяк' выявлено 12 типов спектра, отличающихся по компонентному составу авенина от основного. Для всех биотипов были идентифицированы блоки компонентов авенина, контролируемые локусами *Avn A*, *Avn B* и *Avn C*. Помимо основного генотипа сорта 'Тоболяк', на основе данных об аллельном составе авенин-кодирующих локусов можно сделать вывод о том, что в результате скрещивания различных биотипов сортов 'Таёжник' и 'Орион' возникли генотипы с типами спектра № 2, 3, 7, 10, 11 и 13. При этом необходимо отметить, что биотип № 2 по компонентному составу идентичен минорному биотипу сорта 'Таёжник', а № 3 – второму биотипу сорта 'Таёжник' и основному – сорта 'Орион'. В данном случае нельзя исключить и возможность появления особей стаком генотипом в результате самоопыления, а не гибридизации.

Для остальных обнаруженных генотипов были характерны аллели авенин-кодирующих локусов, отсутствующие

2. В результате анализа компонентного состава родительских сортов и биотипов, выявленных при анализе семей сорта 'Тоболяк', описан новый блок компонентов, контролируемый аллелем локуса *Avn B*. Данному блоку присвоен номер 8.

3. Частота встречаемости 12 биотипов сорта 'Тоболяк', отличающихся от основного, варьирует от 0,07 до 1,51%. Данные генотипы возникли в результате скрещивания различных биотипов сортов 'Таёжник' и 'Орион', а также механического засорения. Три семьи являлись гетерозиготными по компонентному составу авенина, что свидетельствует о продолжающемся процессе расщепления сорта.

4. Для поддержания генетической стабильности сорта 'Тоболяк' рекомендовано использовать в процессе оригинального семеноводства только семьи первого биотипа.

## References / Литература

- Campbell M.T., Hu H., Yeats T.H., Caffè-Tremblé M., Gutierrez L., Smith K.P. et al. Translating insights from the seed metabolome into improved prediction for lipid-composition traits in oat (*Avena sativa* L.). *Genetics*. 2021;217(3):iyaa043. DOI: 10.1093/genetics/iyaa043
- Carlson M.O., Montilla-Bascón G., Hoekenga O.A., Tinker N.A., Poland J., Basergio M. et al. Multivariate genome-wide association analyses reveal the genetic basis of seed fatty acid composition in oat (*Avena sativa* L.). *G3 – Genes Genomes Genetics*. 2019;9(9):2963-2975. DOI: 10.1534/g3.119.400228
- Fomina M.N., Ivanova Yu.S., Pay O.A., Bragin N.A. 'Tobolyak': an oat cultivar for universal use. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021;182(2):107-113. [in Russian] (Фомина М.Н., Иванова Ю.С., Пай О.А., Брагин Н.А. 'Тоболяк' – сорт овса ярового универсального использования. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2021;182(2):107-113). DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-107-113
- Grundy M.M.-L., Fardet A., Tosh S.M., Richa G.T., Wilde P.J. Processing of oat: the impact on oat's cholesterol lowering effect. *Food & Function*. 2018;(3):1328-1343. DOI: 10.1039/C7FO02006F
- Ibrahim M.S., Ahmad A., Sohail A., Asad M.J. Nutritional and functional characterization of different oat (*Avena sativa* L.) cultivars. *International Journal of Food Properties*. 2020;23(1):1373-1385. DOI: 10.1080/10942912.2020.1806297
- Kabashov A.D., Loskutov I.G., Vlasenko N.M., Leibovich Y.G., Markova A.S., Filonenko Z.V. et al. Oat cultivars developed at Nemchinovka and included into the State Register in recent years (a review). *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2020;181(1):110-118. [in Russian] (Кабашов А.Д., Лоскутов И.Г., Власенко Н.М., Лейбович Я.Г., Маркова А.С., Филоненко З.В. и др. Сорта овса немчинновской селекции, включенные в Государственный реестр в последние годы (обзор). *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2020;181(1):110-118). DOI: 10.30901/2227-8834-2020-1-110-118
- Kaur S., Bhardwaj R.D., Kapoor R., Grewal S.K. Biochemical characterization of oat (*Avena sativa* L.) genotypes with high nutritional potential. *LWT*. 2019;110:32-39. DOI: 10.1016/j.lwt.2019.04.063
- Loskutov I.G. Advances in cereal crops breeding. *Plants*. 2021;10(8):1705. DOI: 10.3390/plants10081705
- Lyubimova A.V. Studying the nature of inheritance of avenin components in F<sub>2</sub> hybrids from crossing oat varieties of Siberian selection. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022;02(217):48-59. [in Russian] (Любимова А.В. Изучение характера наследования компонентов авенина у гибридов F<sub>2</sub> от скрещивания сортов овса посевного сибирской селекции. *Аграрный вестник Урала*. 2022;02(217):48-59). DOI: 10.32417/1997-4868-2022-217-02-48-59
- Lyubimova A.V., Fomina M.N., Tobolova G.V., Eremin D.I. The efficiency of systematic application of the prolamine electrophoresis method in primary seed production of oats. *The Bulletin of KrasGAU*. 2020a;165(12):75-82. [in Russian] (Любимова А.В., Фомина М.Н., Тоболова Г.В., Еремин Д.И. Эффективность систематического применения метода электрофореза проламинов в первичном семеноводстве овса посевного. *Вестник КрасГАУ*. 2020a;165(12):75-82). DOI: 10.36718/1819-4036-2020-12-75-82
- Lyubimova A.V., Tobolova G.V., Eremin D.I., Loskutov I.G. Dynamics of the genetic diversity of oat varieties in the Tyumen region at avenin-coding loci. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2020b;24(2):123-130. DOI: 10.18699/VJ20.607
- Martinez M.F., Arelovich H.M., Wehrhahne L.N. Grain yield, nutrient content and lipid profile of oat genotypes grown in a semiarid environment. *Field Crops Research*. 2010;116(1-2):92-100. DOI: 10.1016/j.fcr.2009.11.018
- Polonskiy V.I., Surin N.A., Gerasimov S.A., Lipshin A.G., Sumina A.V., Zute S. The study of oat varieties (*Avena sativa* L.) of various geographical origin for grain quality and productivity. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(6):683-690. [in Russian] (Полонский В.И., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Липшин А.Г., Сумина А.В., Зюте С. Изучение сортов овса (*Avena sativa* L.) различного географического происхождения по качеству зерна и продуктивности. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2019;23(6):683-690). DOI: 10.18699/VJ19.541
- Portyanko V.A., Pomortsev A.A., Kalashnik N.A., Bogachkov V.I., Sozinov A.A. The genetic control of avenins and the principles of classification. *Genetika = Genetics*. 1987;23(5):845-853. [in Russian] (Портянко В.А., Поморцев А.А., Калашник Н.А., Богачков В.И., Созинов А.А. Генетический контроль авенинов и принципы их классификации. *Генетика*. 1987;23(5):845-853).
- Portyanko V.A., Sharopova N.R., Sozinov A.A. Characterization of European oat germ plasm: allelic variation at complex avenin loci detected by acid polyacrylamide gel electrophoresis. *Euphytica*. 1998;102:15-27.
- Scheben A., Batley J., Edwards D. Genotyping-by-sequencing approaches to characterize crop genomes: choosing the right tool for the right application. *Plant Biotechnology Journal*. 2017;15(2):149-161. DOI: 10.1111/pbi.12645
- Shavrukov Y. Comparison of SNP and CAPS markers application in genetic research in wheat and barley. *BMC Plant Biology*. 2016;16:11. DOI: 10.1186/s12870-015-0689-9
- Shvachko N.A., Loskutov I.G., Semilet T.V., Popov V.S., Kovaleva O.N., Konarev A.V. Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production. *Molecules*. 2021;26(8):2260. DOI: 10.3390/molecules26082260
- Utebayev M., Dashkevich S., Bome N., Bulatova K., Shavrukov Y. Genetic diversity of gliadin-coding alleles in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) from Northern Kazakhstan. *PeerJ*. 2019;7:e7082. DOI: 10.7717/peerj.7082
- Yarova E.T., Tobolova G.V. Using electrophoresis of spare proteins for spring tritikale selection. *The Bulletin of KrasGAU*. 2021;170(5):96-102. [in Russian] (Ярова Э.Т., Тоболова Г.В. Использование электрофореза запасных белков для селекции яровой тритикале. *Вестник КрасГАУ*. 2021;170(5):96-102). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-5-96-102
- Zobova N.V., Surin N.A., Gerasimov S.A., Chuslin A.A., Onufrienok T.V. Spectra of prolamines in agroecological evaluation of the collection barley. *Achievements of Science and Technology of AIC*. 2018;32(5):45-47. [in Russian] (Зобова Н.В., Сурин Н.А., Герасимов С.А., Чуслин А.А., Онуфриенок Т.В. Спектры проламинов в агроэкологической оценке коллекционного материала ячменя. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(5):45-47). DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10511

### *Информация об авторах*

**Анна Валерьевна Любимова**, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, ostapenkoav88@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1570-9595>

**Мария Николаевна Фомина**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625501 Россия, Тюменская обл., Тюменский р-н, п. Московский, ул. Бурлаки, 2, maria\_f72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2923-9448>

**Дмитрий Иванович Еремин**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, soil-tyumen@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3672-6060>

**Виктория Сергеевна Мамаева**, стажер-исследователь, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, mamaeva.vs.b23@ati.gausz.ru

**Валерия Сергеевна Мишечкина**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, leokin404@gmail.com

**Николай Александрович Брагин**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, gen.selekciya72@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3038-7352>

**Сергей Александрович Белоусов**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, gen.selekciya72@gmail.com

**Мария Владимировна Брагина**, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН, 625026 Россия, Тюмень, ул. Малыгина, 86, gen.selekciya72@gmail.com

### *Information about the authors*

**Anna V. Lyubimova**, Cand. Sci. (Biology), Head of a Laboratory, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, ostapenkoav88@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1570-9595>

**Maria N. Fomina**, Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, maria\_f72@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2923-9448>

**Dmitry I. Eremin**, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, soil-tyumen@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3672-6060>

**Victoria S. Mamaeva**, Intern Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, mamaeva.vs.b23@ati.gausz.ru

**Valeria S. Mishechkina**, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, leokin404@gmail.com

**Nikolay A. Bragin**, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, gen.selekciya72@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3038-7352>

**Sergei A. Belousov**, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, gen.selekciya72@gmail.com

**Maria V. Bragina**, Associate Researcher, Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 86 Malygina St., Tyumen 625026, Russia, gen.selekciya72@gmail.com

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests:** the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.02.2022; одобрена после рецензирования 28.04.2022; принята к публикации 06.09.2022. The article was submitted on 24.02.2022; approved after reviewing on 28.04.2022; accepted for publication on 06.09.2022.