

Генетическая засухоустойчивость современных сортов овса посевного как ответ глобальному изменению климата

А. В. Любимова[✉], В. С. Мамаева¹, А. А. Менщикова¹

¹ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия

✉ E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Аннотация: Цель – оценить засухоустойчивость современных сортов овса посевного на начальном этапе онтогенеза лабораторным методом. **Методы.** Изучены следующие сорта овса: Фома, Отрада, Талисман, Маршал, Экспресс, Ассоль, Тигровый и Петрович. Относительную засухоустойчивость определяли методом имитирования засухи путем повышения осмотического давления разными концентрациями сахарозы: 1,4; 4,4; 7,4; 10,5 и 16,6 %. Это соответствовало осмотическому давлению 3, 6, 9, 12 и 18 атм. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Реакцию сортов на засуху определяли по всхожести семян и депрессии ростовых процессов. **Результаты.** Установлено, что сорта Талисман и Петрович характеризуются очень низкой устойчивостью к засухе – при осмотическом давлении в 3 атмосферы их всхожесть составила 29 и 52% соответственно. При дальнейшем повышении давления, отмечались только единичные прорастания с очень высокой степенью депрессии (более 80 %). Сорт овса Экспресс характеризовался максимальной устойчивостью к засухе. Его семена прорастали при повышении осмотического давления до 12 атм (концентрация сахарозы достигала 10,5 %). В незначительной степени ему уступал сорт Фома, который прорастал хуже, чем Экспресс, но имел среднюю степень депрессии ростовых процессов при осмотическом давлении от 3 до 12 атм. Остальные изучаемые сорта овса были средnezасухоустойчивыми как по всхожести, так и по депрессии. **Научная новизна.** Проведенный дисперсионный анализ показал, что относительная засухоустойчивость на 72 % зависит от концентрации сахарозы, что указывает на неэффективность оценки с использованием раствора одной концентрации. Доля влияния сорта на генетически обусловленную засухоустойчивость составляет 10,3 %. Это подтверждает гипотезу, что устойчивость к засухе определяется не только генетической наследственностью. В качестве родительских форм при селекции на засухоустойчивость рекомендуется использование сортов Фома и Экспресс.

Ключевые слова: гены засухоустойчивости, маркер-ориентированная селекция, осмотическое давление, депрессия ростовых процессов, селекция овса, Фома, Экспресс, Ассоль, раствор сахарозы, лабораторная всхожесть.

Для цитирования: Любимова А. В., Мамаева В. С., Менщикова А. А. Генетическая засухоустойчивость современных сортов овса посевного как ответ глобальному изменению климата // Аграрный вестник Урала. 2022. № 06 (221). С. 49–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59.

Дата поступления статьи: 25.04.2022, **дата рецензирования:** 07.05.2022, **дата принятия:** 20.05.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Условия Западной Сибири характеризуются практически ежегодными весенне-летними засухами – как жесткими, так и менее интенсивными [1, с. 16; 5, с. 12]. Повышение засухоустойчивости основных продовольственных культур при нарастающих изменениях климата на планете – одна из актуальнейших задач, стоящих перед учеными [2, с. 27].

Засухоустойчивыми называются растения, способные в процессе онтогенеза адаптироваться к перенесению хотя бы кратковременного водного де-

фицита и формировать в этих условиях сравнительно высокий урожай [3, с. 188]. На любой стресс-фактор растительный организм отвечает спектром защитно-приспособительных реакций, состоящих как из общих (неспецифических), так и из специфических процессов [4, с. 33]. Обычно растения характеризуют по высокой, средней, слабой устойчивости к конкретному типу абиотического стресса (засухе, жаре, засолению и другим), отражая количественную сторону таких различий [5, с. 21].

Современные исследования показали, что засухоустойчивость сортов – показатель, который зависит как от генетики [6, с. 55; 7, с.20], так и от различных внешних факторов (например, минеральные удобрения, температура и т. д.) [8]. Если в первом случае устойчивость к дефициту влаги в почве можно было регулировать только на стадии создания сорта, то внешние факторы, особенно уровень питания, можно регулировать достаточно успешно [9, с. 660].

Овес на генетическом уровне существенно уступает по засухоустойчивости пшенице. Однако благодаря тому, что он высевается чрезвычайно рано, ему удается «уйти» от засухи, которая проявляется в Западной Сибири преимущественно в конце мая – начале июня. Поэтому в регионах, где обычно не бывает засухи, овес дает хорошие урожаи [10, с. 131].

В основе создания современных сортов сельскохозяйственных культур лежит маркер-ориентированная селекция, которая базируется на знании наличия или отсутствия отдельных генов или их групп, отвечающих за определенный признак или качества. Для пополнения научной базы данных необходимо постоянно изучать реакцию растений на стресс-факторы. Это позволяет выделить сорта, имеющие, в частности, высокую засухоустойчивость на генетическом уровне, и в дальнейшем определить в них гены, отвечающие за данный показатель.

Для оценки относительной засухоустойчивости обычно используют метод проращивания семян в растворах с повышенным осмотическим давлением. Обычно для этого используют различные концентрации сахарозы, которые имитируют дефицит почвенной влаги [11; 12, с. 350; 13, с. 293]. Наиболее часто применяют какую-либо одну концентрацию сахарозы и по ней делают заключение об устойчивости сорта к дефициту влаги. Однако, по

нашему мнению, этот подход наименее эффективен, поскольку создаваемые сорта могут иметь определенную устойчивость к разному уровню осмотического давления. Лабораторный метод определения засухоустойчивости сортов имеет преимущества перед полевым, поскольку максимальная реакция проявляется именно при прорастании. В полевых условиях крайне трудно одновременно создать разные уровни увлажнения, также накладываются дополнительные факторы, например, температура, начальное поражение грибами или наличие водорастворимых солей в почве.

Поэтому была поставлена цель – оценить засухоустойчивость современных сортов овса посевного на начальном этапе онтогенеза лабораторным методом.

Методология и методы исследования (Methods)

Для лабораторной оценки засухоустойчивости были выбраны перспективные в селекционном отношении сорта овса посевного разного эколого-географического происхождения из генетической коллекции НИИСХ Северного Зауралья. Сорта тюменской селекции – Талисман, Отрада и Фома; дальневосточной – Маршал, Экспресс и Тигровый; из краснодарского селекционного центра были исследованы сорта Ассоль и Петрович (таблица 1).

Сорт Талисман. Среднеспелый, вегетационный период составляет 77–89 суток. Среднеустойчив к засухе. Масса 1000 семян варьирует от 32 до 38 г. Разновидность мутика. Растение среднерослое с относительно низкой полегаемостью. Средняя урожайность, по данным семеноводческих хозяйств, составляет 3,2 т/га. Максимальную урожайность 7,72 т/га получили на сортоиспытательном участке в Новосибирске в 2001 году. Содержание белка в зерне достигает 15,4 %. Натура – 550 г/л. Сорт сильно восприимчив к головне и корончатой ржавчине.

Таблица 1
Исследованные сорта овса посевного

№ п/п	Сорт	Разновидность	Учреждение-оригинатор	Происхождение
1	Талисман	<i>mutica</i>	НИИСХ Северного Зауралья – филиал ТюмНЦ СО РАН, Нарымская ГСС, Томская область	Flamingsnova × Метис
2	Отрада	<i>mutica</i>	НИИСХ Северного Зауралья – филиал ТюмНЦ СО РАН, Тюменская область	WW 170079 × Pc 39) × (Мутика 600 × Risto)
3	Фома	<i>mutica</i>		WW 170079 × Pc 39) × (Мутика 600 × Risto)
4	Экспресс	<i>mutica</i>		ХФИЦ ДВО РАН – обособленное подразделение ДВ НИИСХ, НИИСХ ЦРНЗ, Хабаровский край
5	Маршал	<i>mutica</i>		Экспресс × David
6	Тигровый	<i>cinerea</i>		Omichi × Selma
7	Ассоль	<i>mutica</i>	ООО «Агростандарт», Краснодарский край	Индивидуальный отбор из сорта Краснодарский 73
8	Петрович	<i>mutica</i>		Химический мутагенез с последующим индивидуальным отбором

Примечание. Растительный материал для исследований был предоставлен учреждениями-оригинаторами.

Table 1
Studied varieties of oats

No.	Variety	Botanical variety	Institution-originator	Origin
1	Talisman	mutica	Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Tyumen region, Tyumen; Narym State Breeding Station, Tomsk region	Flamingsnova × Metis
2	Otrada	mutica	Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Tyumen region	WW 170079 × Pc 39) × (Mutika 600 × Risto)
3	Foma	mutica		WW 170079 × Pc 39) × (Mutika 600 × Risto)
4	Ekspress	mutica	Far Eastern Agricultural Research Institute; Research Institute of Agriculture of the Central Regions of the Non-Chernozem Zone, Khabarovsk region	Maris Tabard × 86 H178 (Patnem 61 × Serbo)
5	Marshal	mutica		Ekspress × David
6	Tigrovyy	cinerea		Omichi × Selma
7	Assol'	mutica	Agrostandart LLC, Krasnodar region, Krasnodar	Individual selection from variety Krasnodarskiy 73
8	Petrovich	mutica		Chemical mutagenesis followed by individual selection

Note. Plant material for research was provided by the Institution-originator.

Отрада – сорт, рекомендованный для возделывания в Тюменской области. Также относится к среднеспелой группе с длиной вегетационного периода от 66 до 85 суток. Относится к группе среднезасухоустойчивых сортов. Масса 1000 зерен достигает 41 г. Разновидность мутика. Высота растений варьирует от 77 до 112 см, но при этом сорт устойчив к полеганию. Зерно средней крупности, на высоких агрофонах может формировать крупные семена. Средняя урожайность – 3,1 т/га. В 2011 г. в Томской области был получен рекордный урожай 7,3 т/га. Содержание белка варьирует от 8,9 до 13,5 %. Натура зерна – 460–570 г/л. Сорт умеренно устойчив к пыльной головне и корончатой ржавчине.

Сорт Фома рекомендован для возделывания в Тюменской области. Относится к среднеспелым сортам с периодом вегетации 75–90 суток. Характеризуется средней устойчивостью к засухе. Разновидность мутика. Сорт формирует самые крупные семена с массой 1000 зерен до 43 г. Средняя урожайность по Тюменской области составила 3,6 т/га. Максимальный сбор был зарегистрирован в той же области в 2014 г. – 7,8 т/га. Содержание белка варьирует от 8,9 до 12,8 %. Натура зерна достигает 590 г/л. Сорт обладает очень высокой устойчивостью к полеганию на любых агрофонах. Фома умеренно устойчив к корончатой ржавчине и пыльной головне.

Экспресс создан из гибридных популяций иностранных сортов Великобритании, Швеции и США с последующим многократным отбором. Сорт обладает выдающимися показателями по продуктив-

ности и качеству зерна. Разновидность мутика. Относится к раннеспелым сортам с варьированием вегетационного периода от 76 до 83 суток. Устойчив к засухе. Сорт выровнен по высоте: 92–99 см. Масса 1000 зерен варьирует в диапазоне 31,0–34,5 г. По данным оригинатора, устойчив к полеганию, но на высоких агрофонах, как отмечают сортоучастки, склонен к полеганию. Средняя урожайность в Дальневосточном регионе составила 4,5 т/га с варьированием от 2,7 до 6,2 т/га в зависимости от погодных условий. Сорт проявляет относительно высокую устойчивость к пыльной головне.

Сорт Маршал рекомендован для возделывания в Хабаровском крае. Является результатом скрещивания иностранного сорта David с местным сортом Экспресс. Относится к высокоурожайным сортам. Разновидность мутика. Сорт среднеспелый с вегетационным периодом 78–90 суток. Растения высокорослые, на высоких агрофонах склонен к полеганию. Масса 1000 зерен сильно варьирует от 34 до 41 г при натуре зерна 415–490 г/л. Средняя урожайность в Дальневосточном регионе – 3,6 т/га. Максимальная урожайность была зафиксирована в 2018 г. в Приморском крае – 6,0 т/га. Содержание белка в зерне – в среднем 12 %. Отличается от многих сортов овса высоким содержанием масла – 4,5 %. Сильно восприимчив к корончатой ржавчине.

Сорт Тигровый был создан в Дальневосточном НИИСХ. В качестве родительских форм были использованы иностранные сорта. Относится к разновидности цинереа. Высота растений варьирует от 81 до 99 см в зависимости от условий увлажнения и минерального питания. Сорт Тигровый проявля-

ет высокую устойчивость к полеганию: по данным сортоиспытательных участков, 8–9 баллов. Масса 1000 зерен средняя – 33,0–36,7 г. Средняя урожайность составляет 5,05 т/га при варьировании от 3,3 до 6,6 т/га. В производстве нередко дает урожай до 5,5 т/га. На естественном агрофоне не поражается корончатой ржавчиной, при высоких дозах удобрений поражаемость средняя.

Ассоль – сорт, рекомендованный для возделывания в Центральной зоне Краснодарского края. Раннеспелый, с длиной вегетационного периода 75 суток. На высоких агрофонах может увеличить вегетацию до 93 суток. Устойчив к полеганию и засухе. Масса 1000 зерен сильно варьирует от 27 до 36 г. Относится к разновидности мутика. Устойчив к полеганию на естественном и среднем агрофоне. Высокие дозы удобрений приводят к частичному полеганию. Средняя урожайность в Северо-Кавказском регионе – 3,1 т/га. Максимальная урожайность 6,8 т/га была получена в 2017 г. в Краснодарском крае. Сорт зернофуражного направления с содержанием белка от 10,6 до 15,0 %. Устойчив к пыльной головне, но восприимчив к корончатой ржавчине.

Сорт Петрович – результат химического мутагенеза. Рекомендован для возделывания в Краснодарском крае. Разновидность мутика. Растение среднерослое. Сорт среднеранний с вегетационным периодом 74–87 суток. Устойчив к полеганию, но на высоких агрофонах соломина не выдерживает формирующегося урожая. Сорт не является засухоустойчивым. Масса 1000 зерен средняя – 27–35 г. Средняя урожайность по Северо-Кавказскому региону составляет 3,1 т/га. Максимальный сбор зерна с 1 га был в 2017 г. на полях Краснодарского края – 6,6 т/га. Содержание белка в зерне не превышает 12 %. Сорт умеренно устойчив к корончатой ржавчине.

В качестве рабочей гипотезы было выдвинуто предположение, что сорта создавались из расчета почвенно-климатических условий региона, а следовательно, краснодарские сорта должны обладать максимальной засухоустойчивостью, а дальневосточные по этому показателю должны существенно отличаться.

Оценку засухоустойчивости проводили по методике Н. Н. Кожушко [14, с. 20]. Опыт был заложен в трехкратном повторении. В каждую чашку Петри на фильтровальную бумагу закладывали по 30 зерен изучаемых сортов овса. В опытные чашки добавляли растворы сахарозы с концентрацией 1,4; 4,4; 7,4; 10,5 и 16,6 %, что соответствовало осмотическому давлению в 3; 6; 9; 12 и 18 атм. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Чашки Петри с зерном помещали в термостат с температурой 20 °С на 7 суток. Засухоустойчивость определяли по следующей формуле:

$$P = \frac{a}{b} \times 100\%, \quad (1)$$

где P – прорастание семян, %;

a – количество проросших зерен в растворе сахарозы;

b – число семян, проросших в дистиллированной воде.

Чем выше был процент прорастания семян в растворе сахарозы, тем более засухоустойчивым считается сорт. В опыте также определяли степень снижения ростовых процессов по формуле:

$$Z = 100 - \frac{y}{x} \times 100\%, \quad (2)$$

где Z – степень снижения (депрессия) ростовых процессов, %;

y – сухая масса проростков (корни и росток) на вариантах с различной концентрацией сахарозы, г.;

x – сухая масса проростков на контроле, г.

Депрессия показывает степень угнетения прорастания при различном осмотическом давлении. Более засухоустойчивые сорта характеризуются меньшим проявлением депрессии при повышенной концентрации сахарозы. Это также является косвенным доказательством генетической устойчивости сортов к дефициту влаги.

Полученные результаты подвергались статистическому, дисперсионному и корреляционному анализу с помощью Microsoft Excel. Также проводили расчет показателя силы влияния реакции сортов на уровень осмотического давления, соответствующего различной степени увлажнения почвы при посеве зерновых культур.

Результаты (Results)

Изначально Тюменская селекция овса основывалась на сортах, созданных в европейской части России и за рубежом. В дальнейшем при гибридизации использовали родительские формы со всей территории Советского Союза. Это дало возможность создать современные сорта, обладающие на генетическом уровне различными свойствами. В ходе селекционного процесса оценка засухоустойчивости не являлась приоритетной, поскольку сорта создавались преимущественно для природных зон с достаточным увлажнением – подтаежной и лесостепной. Однако современные рыночные и геополитические условия требуют расширения зоны возделывания овса. Также нужно учитывать и процесс глобального потепления, который постепенно ведет к аридизации традиционных зон возделывания овса. Поэтому необходимо уже сейчас вести исследования для подготовки базы данных по засухоустойчивости сортов и использовать их в дальнейшем для маркер-ориентированной селекции овса.

Как показали лабораторные исследования, овес тюменской селекции по-разному отзывался на различные концентрации сахарозы. Минимальная концентрация сахарозы в воде (1,4 %) оказала сильнейшее угнетение на сорт Талисман. Прорастание семян составило 29 % от количества взошедших на контроле (рис. 1). Степень угнетения (Z), учитывающая массу проростков, составила 70 %, что

указывает на практически полное отсутствие засухоустойчивости у сорта Талисман на генетическом уровне. Последующее повышение осмотического давления привело дальнейшему угнетению ростовых процессов вплоть до полной потери всхожести.

Корреляционный анализ показал сильную отрицательную связь ($r = -0,84$) между прорастанием и величиной осмотического давления. Данный факт указывает на то, что сорт овса Талисман необходимо сеять в максимально ранние сроки, когда слой почвы 0–10 см еще достаточно увлажнен. Установленный факт отсутствия генетической засухоустойчивости у Талисмана делает его перспективным для использования в качестве контрольного сорта, в котором отсутствуют гены, отвечающие за это свойство.

Сорта Фома и Отрада являются сибсами, то есть получены из одной гибридной популяции, но незначительно отличаются друг от друга на генетическом уровне [15, с. 203; 16, с. 137]. Поэтому можно было предположить и схожую реакцию на дефицит влаги в период прорастания.

Прорастание при минимальном осмотическом давлении, которое было обусловлено концентрацией сахарозы в растворе 1,4 %, у сортов Фома и Отрада было на уровне 85 и 88 % соответственно. Повышение концентрации сахарозы до 4,4 % (6,0 атм) привело к снижению всхожести до 23 и 20 %. Однако были выявлены сортовые различия по степени снижения ростовых процессов: у Фомы она составила 37 %, тогда как у Отрады – 81 %, что указывало на очень сильное угнетение. Дальнейшее повышение концентрации сахарозы остановило процесс прорастания семян Отрады. Сорт Фома имел всхожесть в 21 % при депрессии ростовых процессов 43 %. Это указывает на то, что сорт Фома обладает наследственной средней засухоустойчивостью и может возделываться в районах, где проявляются умеренные весенне-летние засухи. Сорт Отрада обладает меньшей засухоустойчивостью по отношению к Фоме. Корреляционный анализ показал сильную отрицательную связь ($r = -0,77...-0,89$) между прорастанием и величиной осмотического давления.

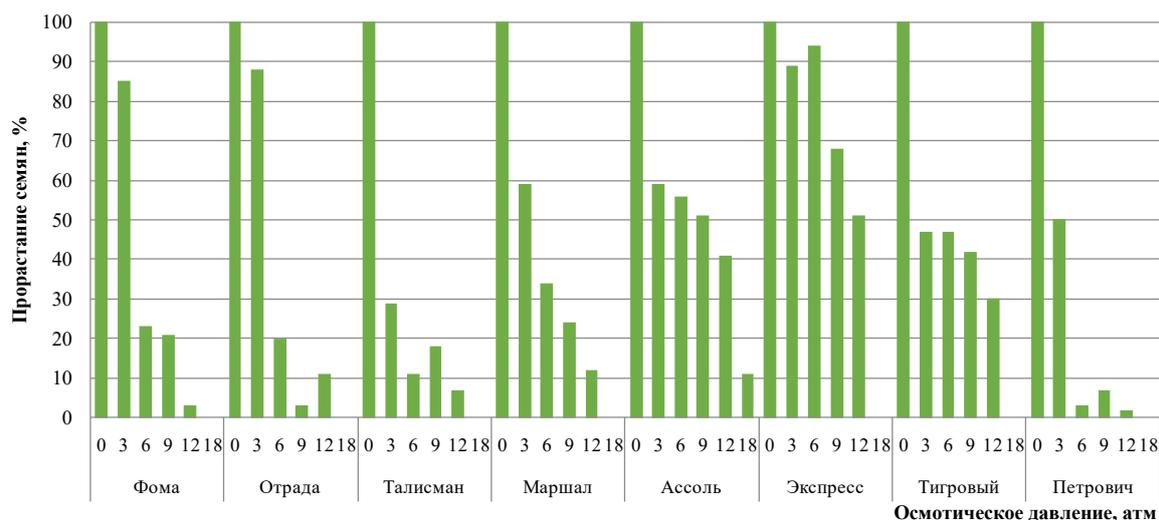


Рис. 1. Прорастание семян овса посевного при разном уровне осмотического давления, %

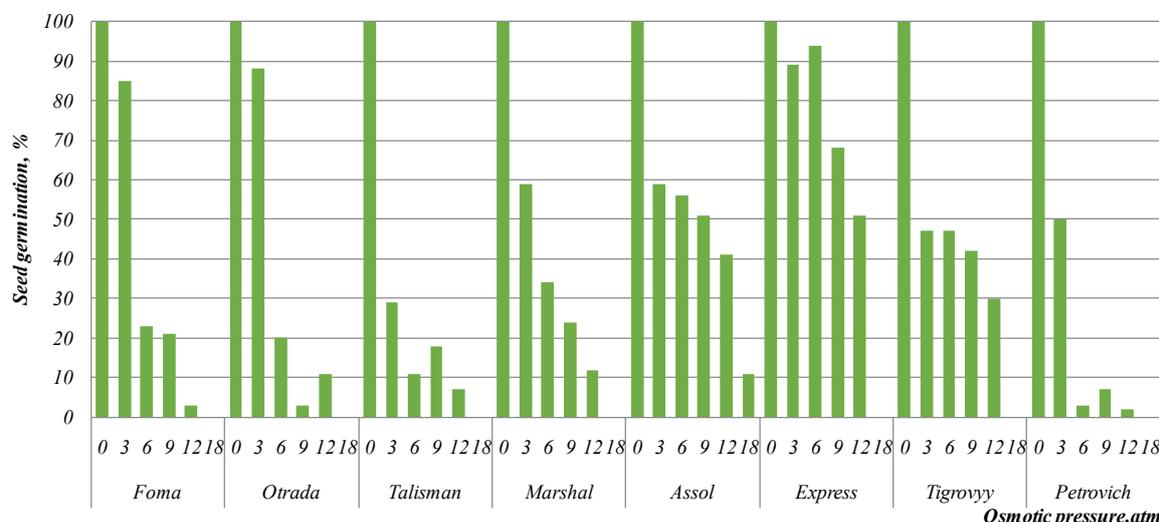


Fig. 1. Germination of oat seeds at different levels of osmotic pressure, %

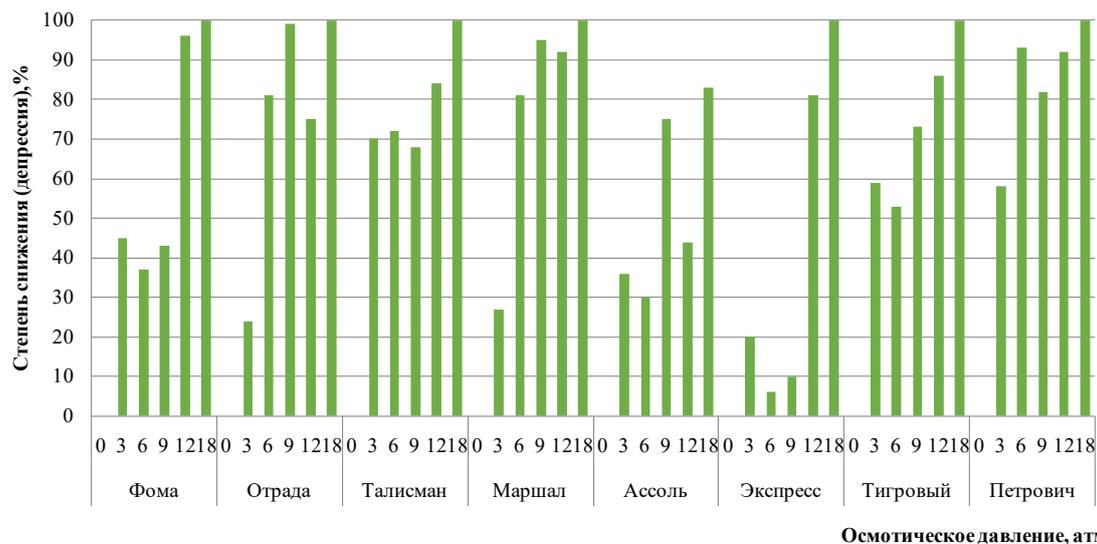


Рис. 2. Степень снижения ростовых процессов (Z) сортов овса посевного при разном осмотическом давлении, %

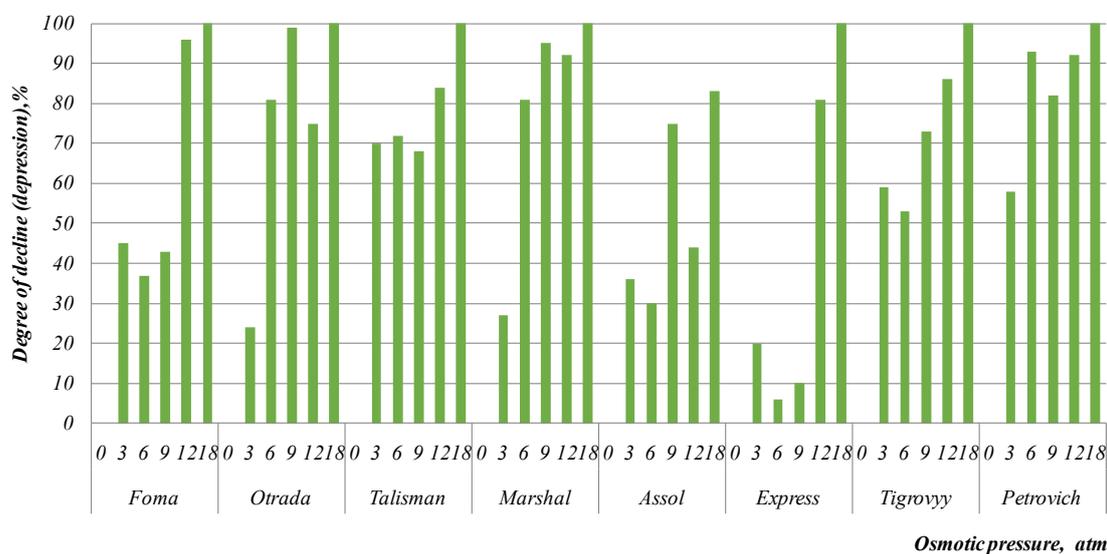


Fig. 2. The degree of reduction in growth processes (Z) of oat varieties at different osmotic pressure, %

Использование сортов Отрада и Фома в различных гибридных комбинациях дает максимальную вероятность выделения гена или их блоков, отвечающих за устойчивость растений к дефициту почвенной влаги. Сравнительный генетический анализ этих сортов также может помочь установить характер наследования засухоустойчивости.

Для сортов овса посевного дальневосточной селекции генетически обусловленная засухоустойчивость не является приоритетным показателем, поскольку регион их возделывания характеризуется достаточной увлажненностью [17, с. 44]. Однако, как показали лабораторные испытания, сорт Экспресс имеет довольно высокую засухоустойчивость. При концентрации сахарозы 1,4 % (3 атм) прорастание составило 89 %, а при более высокой концентрации (3 %) проявился эффект стимулирования ростовых процессов – 94 % при депрессии (рис. 2). Еще более высокая концентрация сахаро-

зы (7,4 %), что соответствовало 9 атм осмотического давления, уменьшила всхожесть до 68 % при степени снижения ростовых процессов на 10 %. Дальнейшее повышение осмотического давления (12 атм) незначительно уменьшило всхожесть до 51 %, но с очень сильным угнетением развивающихся проростков: уровень депрессии Z составил 81 %. Среди изучаемых сортов Экспресс характеризовался очень высокой степенью засухоустойчивости и может быть рекомендован как перспективная родительская форма при создании засухоустойчивых сортов овса посевного. Как показал анализ родословной Экспресса, его родительские формы не пересекаются с сортами тюменской селекции, следовательно, при использовании его в гибридизации с ними появляется возможность выделения гена засухоустойчивости и создания новых сортов, обладающих высокой устойчивостью к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям Сибири.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показателя «прорастание семян» овса посевного

Источник вариации	Сумма квадратов	Степеней свободы	Дисперсия	$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{теор.}}$	Влияние %
Фактор А (сорт)	1590	7	227	23,2	2,1	10,3
Фактор В (концентрация сахарозы)	11197	5	2239	229,2	2,3	72,2
Взаимодействие АВ	1786	35	51	5,2	1,6	11,5

Ошибка средней – 1,8. Точность опыта – 16 %. Ошибка разности – 2,5. Критерий Стьюдента – 2,0. Наименьшая существенная разница – 5,1.

Table 2

The results of a two-way ANOVA analysis of the seed germination indicator of oats

Source of variation	Sum of squares	Degrees of freedom	Dispersion	$F_{\text{fact.}}$	$F_{\text{teor.}}$	Effect, %
Factor A (variety)	1590	7	227	23.2	2.1	10.3
Factor B (sucrose concentration)	11197	5	2239	229.2	2.3	72.2
AB interaction	1786	35	51	5.2	1.6	11.5

Error of mean – 1.8. Experience accuracy – 16 %. Error of difference – 2.5. Student criterion – 2.0. Least significant difference – 5.1.

Маршал – сорт, родителем которого является Экспресс, однако он не имеет столь выдающихся показателей засухоустойчивости. На минимальной концентрации сахарозы (1,4 %) прорастание зерна составило 59 % при 27 % депрессии ростовых процессов. Повышение осмотического давления до 6 атм привело к уменьшению всхожести до 34 % при снижении массы проростков до 81 % относительно контроля. Концентрация сахарозы в 7,4 и 10,5 % уменьшила количество проросших семян до 24 и 12 % соответственно. Однако проростки были минимальными – депрессия достигла 92–95 %. Поэтому однозначно утверждать о наличии генетической засухоустойчивости у сорта Маршал нельзя.

Сорт Тигровый создан Дальневосточным НИИ-ИСХ и характеризуется как средне засухоустойчивый [18, с. 45]. Наши исследования показали, что среди трех сортов дальневосточной селекции он обладает минимальной устойчивостью к засухе в момент прорастания. При осмотическом давлении от 3 до 9 атм сорт Тигровый достоверно снижал всхожесть до 42–47 %. Степень угнетения прорастания составила 59–73 %. При концентрации 10,5 % сахарозы прорастание семян составило 30 % от контроля при значении $Z = 86$ %. Совокупность этих показателей указывает на то, что сорт Тигровый относится к категории слабоустойчивых к засухе. ходе расчетов также была установлена сильная отрицательная связь между осмотическим давлением и прорастанием зерна – $r = -0,9 \dots -0,95$.

Сорта овса посевного краснодарской селекции должны обладать относительно высокой устойчивостью к засушливым условиям, поскольку их ареал возделывания подразумевает регионы с дефицитом летних осадков и частое проявление весенне-летних засух. Были изучены два сорта: Ассоль и

Петрович. Они существенно отличаются от других сортов по способу их создания. Сорт Ассоль выведен путем индивидуального отбора из сорта Краснодарский-73, который относится к группе засухоустойчивых сортов. Петрович – результат химического мутагенеза с последующим индивидуальным отбором. При таком методе селекции возможны проявления новых свойств, не имеющих у родительской формы.

Лабораторные исследования показали, что сорт Ассоль имеет довольно сильную негативную реакцию на дефицит увлажнения при прорастании. Нужно отметить стабильность понижения всхожести в широком диапазоне концентраций сахарозы. Так, при осмотическом давлении от 3 до 9 атмосфер прорастание семян овса варьировало от 41 до 51 % от контроля. Но допустимая степень снижения ростовых процессов отмечалась только при концентрации сахарозы от 1,4 до 4,4 %. Среди изучаемых сортов только сорт Ассоль смог прорасти при максимальном осмотическом давлении (18 атм), всхожесть была низкой (11 %) при сильном угнетении ростовых процессов ($Z = 83$ %). Ни один сорт при такой концентрации не дал видимых проростков. Поэтому Ассоль можно также рекомендовать для дальнейшего индивидуального отбора при создании новых сортов овса и выявления генов, отвечающих за устойчивость их к дефициту влаги.

Сорт Петрович характеризовался очень низкой устойчивостью к засушливым условиям. При концентрации сахарозы 1,4 %, что соответствовало 3 атм осмотического давления, процент прорастания оказался в два раза ниже контроля. Дальнейшее повышение концентрации сахарозы привело к очень сильному угнетению прорастающих зерен: всхожесть была в диапазоне 2–7 % при очень высокой

степени депрессии ростовых процессов (82–93 %). На основании полученных данных сорт Петрович можно отнести только к группе слабозасухоустойчивых сортов.

Дисперсионный анализ показал наличие статистически значимых различий ($F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$) в степени прорастания зерна по факторам: сорт (А); концентрация сахарозы (В) и взаимодействие этих факторов (АВ). Осмотическое давление, создаваемое разным количеством сахарозы, в большей степени повлияло на прорастание зерна овса: показатель силы влияния составил 72,2 % (таблица 2). Роль сорта составила 10,3 %. Сила взаимодействия (АВ) оказалась достоверной и составила 11,5 %.

Было установлено, что в лабораторном опыте ошибка средней и разности составили 1,8 и 2,5 % соответственно при точности опыта 16 %. Наименьшая существенная разница была равна 5,1 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В ходе проведенных исследований было установлено, что сорт Талисман не обладает генетической устойчивостью к засухе. Минимальное повышение осмотического давления (3 атм) уменьшает прорастание до 29 % при очень высокой степени депрессии ростовых процессов ($Z = 70$ %). Фома и Отрада относятся к среднестойчивым к засухе сортам. Резкое снижение всхожести начинается с 6 атм осмотического давления. Максимальной отно-

сительной засухоустойчивостью характеризовался сорт Экспресс дальневосточной селекции, всхожесть которого при повышении концентрации сахарозы от 1,4 до 10,5 % снижалась с 94 до 51 %. Ни один из изучаемых сортов не имел столь высокой устойчивости к засушливым условиям. При этом сорт овса Маршал, созданный с участием сорта Экспресс, обладает низкой засухоустойчивостью. Сорта краснодарской селекции обладают средней степенью засухоустойчивости на уровне остальных изучаемых сортов. В качестве родительской формы при селекции засухоустойчивых сортов овса можно рекомендовать следующие сорта: Фома, Экспресс и Ассоль.

Сорта Талисман и Петрович являются перспективными родительскими формами при изучении генов устойчивости к засушливым условиям, поскольку они характеризуются очень низкой степенью засухоустойчивости. Сравнительный генетический анализ сортов сибсов Фома и Талисман с большой долей вероятности позволит установить гены засухоустойчивости, по которым они достоверно различаются.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена по госзаданию № 122011300103-0 и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

Библиографический список

1. Иваненко А. С., Кулясова О. А. Агроклиматические условия Тюменской области. Тюмень: Изд-во ТГСХА, 2008. 206 с.
2. Любимова А. В., Иваненко А. С. Овес в Тюменской области. Тюмень: НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН, 2021. 172 с.
3. Кадралиев Д. С., Щебарскова З. С., Кипаева Е. Г., Исаев К. В. Оценка коллекционных образцов ярового овса в условиях орошения аридной зоны // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 11. С. 184–189. DOI: 10.5281/zenodo.1488143.
4. Еремин Д. И., Моисеева М. Н. Проблемы выращивания овса на высоком агрофоне на полях Западной Сибири // Эпоха науки. 2021. № 25. С. 30–34. DOI: 10.24412/2409-3203-2021-25-30-34.
5. Zartash F., Mukhtar A., Mubshar H. et al. The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options [e-resource] // Scientific Reports. 2020. No. 10. Article number 18013. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-74740-3> (date of reference: 20.04.2022). DOI: 10.1038/s41598-020-74740-3
6. Lakhneko O. R., Stepanenko A. I., Morgun B. V., Kuzminskiy Ye. V. Polymorphism of SOME transcription factor genes related to drought tolerance in wheat // Biotechnologia Acta. 2018. Vol. 11. No. 2. Pp. 47–56. DOI: 10.15407/biotech11.02.047.
7. Абугалиева А. И., Лоскутов И. Г., Савин Т. В., Чуудинов В. А. Изучение голозерного овса из коллекции ВИР на качественные показатели в условиях Казахстана // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021. Т. 182. № 1. С. 9–21. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21.
8. Eremin D. I., Moiseeva M. N., Lyubimova A. V. The impact of mineral fertilizers on the consumption of mineral elements and the Siberian-bred oat grain [e-resource] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2022. No. 949. Article number 012066. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/949/1/012066> (date of reference: 20.04.2022). DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012066.
9. Loskutov I. G., Gnutikov A. A., Blinova E. V., Rodionov A. V. The Origin and Resource Potential of Wild and Cultivated Species of the Genus of Oats (*Avena L.*) // Russian Journal of Genetics. 2021. Vol. 57. No. 6. Pp. 642–661. DOI: 10.1134/S1022795421060065.

10. Пакуль В. Н., Козыренко М. А., Андросов Д. Е. Оценка засухоустойчивости сортов ярового овса в условиях лесостепи Западной Сибири // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 9-3 (51). С. 129–132. DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.093.
11. Gong W., Ju Z., Chai J., Zhou X., Lin D., Su W., Zhao G.. Physiological and Transcription Analyses Reveal the Regulatory Mechanism in Oat (*Avena sativa*) Seedlings with Different Drought Resistance under PEG-Induced Drought Stress [e-resource] // Agronomy. 2022. No. 12 (5). Article number 1005. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/5/1005> (date of reference: 21.04.2022). DOI: 10.3390/agronomy12051005.
12. Парфенова Е. С., Шамова М. Г., Набатова Н. А., Псарева Е. А. Оценка относительной засухоустойчивости сортов озимой ржи способом проращивания на растворе сахарозы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 11-2. С. 347–351.
13. Будько А. С., Войтова В. Н. Оценка селекционных образцов озимой пшеницы на засухоустойчивость // Земледелие и селекция в Беларуси. 2021. № 57. С. 288–295.
14. Кожушко Н. Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. Ленинград: ВИР, 1988.
15. Fomina M. N., Tobolova G. V., Lyubimova A. V. New Generation Varieties of Spring Oats Selected for Areas with the Climate as in Ural, Siberia and the Far East of Russia // International scientific and practical conference “AgroSMART – Smart solutions for agriculture” (AgroSMART 2018). Series: Advances in Engineering Research. Tyumen, 2018. Pp. 201–205. DOI: 10.2991/agrosmart-18.2018.39.
16. Фомина М. Н. Создание сортов зернофуражных культур адаптированных к условиям Зауралья и Сибири // Оптимизация селекционного процесса – фактор стабилизации и роста продукции растениеводства Сибири ОСП – 2019: материалы международной научной конференции, проведенной в рамках 46-го заседания Объединенного научного и проблемного совета по растениеводству, селекции, биотехнологии и семеноводству ОУС СО РАН по сельскохозяйственным наукам и, посвященной 90-летию академика РАН Гончарова П. Л., Красноярск, 2019. С. 134–139.
17. Асеева Т. А., Трифунтова И. Б., Зенкина К. В. Сравнительная оценка продуктивности зерновых культур в гидротермических условиях среднего Приамурья // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 72. С. 42–46. DOI 10.21515/1999-1703-72-42-46.
18. Трифунтова И. Б., Зенкина К. В., Асеева Т. А. Основные результаты и задачи селекции ярового овса на Дальнем Востоке // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 43–47. DOI 10.24411/0235-2451-2020-10608.

Об авторах:

Анна Валерьевна Любимова¹, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией геномных исследований в растениеводстве, ORCID 0000-0002-1570-9595, AuthorID 819322; +7 952 341-08-87, ostapenkoav88@yandex.ru

Виктория Сергеевна Мамаева¹, стажер-исследователь лаборатории геномных исследований в растениеводстве, ORCID 0000-0002-3606-8387, AuthorID 1146003; +7 982 131-66-05, mamaeva.vs.b23@ati.gausz.ru

Анастасия Александровна Менщикова¹, стажер-исследователь лаборатории геномных исследований в растениеводстве, ORCID 0000-0001-5613-0961, AuthorID 1144902; +7 982 948-17-93, menshikova.aa.b23@ati.gausz.ru

¹ Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, Тюмень, Россия

Genetic drought resistance of modern oat varieties as a response to global climate change

A. V. Lyubimova¹✉, V. S. Mamaeva¹, A. A. Menshchikova¹

¹Tyumen Research Centre – Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

✉E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Abstract. Purpose. To assess the drought resistance of modern varieties of oats at the initial stage of ontogenesis by laboratory method. **Methods.** The following varieties of oats have been studied: Foma, Otrada, Talisman, Marshal, Ekspres, Assol', Tigrovoy and Petrovich. Relative drought resistance was determined by simulating drought

by increasing the osmotic pressure with different concentrations of sucrose: 1.4; 4.4; 7.4; 10.5 and 16.6 %. This corresponded to osmotic pressures of 3, 6, 9, 12, and 18 atm. Distilled water was used as a control. The response of varieties to drought was determined by seed germination and depression of growth processes. **Results.** It was found that the varieties Talisman and Petrovich are characterized by very low resistance to drought – at an osmotic pressure of 3 atm, their germination was 29 and 52 %, respectively. With a further increase in pressure, only single germinations with a very high degree of depression (more than 80 %) were noted. Oat variety Ekspress was characterized by maximum resistance to drought. Its seeds germinated when the osmotic pressure increased to 12 atm (sucrose concentration reached 10.5 %). To a small extent, the Foma variety was inferior to it, which germinated worse than Ekspress, but had an average degree of depression of growth processes at an osmotic pressure of 3 to 12 atm. The rest of the studied oat varieties were moderately drought-resistant both in terms of germination and depression. **Scientific novelty.** The conducted analysis of variance showed that the relative drought resistance by 72 % depends on the concentration of sucrose, which indicates the inefficiency of the assessment by one concentration. The share of influence of a variety on genetically determined drought resistance is 10.3 %. This confirms the hypothesis that drought resistance is determined not only by genetic inheritance. It is recommended to use varieties Foma and Ekspress as parental forms in breeding for drought resistance.

Keywords: drought resistance genes, marker-oriented selection, osmotic pressure, depression of growth processes, oat breeding, Foma, Ekspress, Assol', sucrose solution, laboratory germination.

For citation: Lyubimova A. V., Mamaeva V. S., Menshchikova A. A. Geneticheskaya zasukhoustoychivost' sovremnykh sortov ovsa posevnogo kak otvet global'nomu izmeneniyu klimata [Genetic drought resistance of modern oat varieties as a response to global climate change] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 06 (221). Pp. 49–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59. (In Russian.)

Date of paper submission: 25.04.2022, **date of review:** 07.05.2022, **date of acceptance:** 20.05.2022.

References

- Ivanenko A. S., Kulyasova O. A. Agroklimaticheskiye usloviya Tyumenskoy oblasti [Agro-climatic conditions of the Tyumen region]. Tyumen: Izd-vo TGSKhA, 2008. 206 p. (In Russian.)
- Lyubimova A. V., Ivanenko A. S. Ovës v Tyumenskoy oblasti [Oats in the Tyumen region]. Tyumen: NIISKH SZ – filial TyumNTs SO RAN, 2021. 172 p. (In Russian.)
- Kadrallyev D. S., Shchebarskova Z. S., Kipayeva E. G., Isayev K. V. Otsenka kollektsonnykh obraztsov yarovogo ovsa v usloviyakh orosheniya aridnoy zony [The study specimens of spring oats in the conditions of the arid zone] // Bulletin of Science and Practice. 2018. Vol. 4. No. 11. Pp. 184–189. DOI: 10.5281/zenodo.1488143. (In Russian.)
- Eremin D. I., Moiseeva M. N. Problemy vyrashchivaniya ovsa na vysokom agrofone na polyakh Zapadnoy Sibiri [The problems of growing oats on high agricultural background in the fields of Western Siberia] // Era of science. 2021. No. 25. Pp. 30–34. DOI: 10.24412/2409-3203-2021-25-30-34. (In Russian.)
- Zartash F., Mukhtar A., Mubshar H. et al. The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options [e-resource] // Scientific Reports. 2020. No. 10. Article number 18013. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-74740-3> (date of reference: 20.04.2022). DOI: 10.1038/s41598-020-74740-3
- Lakhneko O. R., Stepanenko A. I., Morgun B. V., Kuzminskiy Ye. V. Polymorphism of SOME transcription factor genes related to drought tolerance in wheat // Biotechnologia Acta. 2018. Vol. 11. No. 2. Pp. 47–56. DOI: 10.15407/biotech11.02.047.
- Abugaliyeva A. I., Loskutov I. G., Savin T. V., Chudinov V. A. Izucheniye golozernogo ovsa iz kolleksii VIR na kachestvennyye pokazateli v usloviyakh Kazakhstana [Evaluation of naked oat accessions from the vir collection for their qualitative characteristics in Kazakhstan] // Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2021. Vol. 182. No. 1. Pp. 9–21. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-9-21. (In Russian.)
- Eremin D. I., Moiseeva M. N., Lyubimova A. V. The impact of mineral fertilizers on the consumption of mineral elements and the Siberian-bred oat grain [e-resource] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2022. No. 949. Article number 012066. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/949/1/012066> (date of reference: 20.04.2022). DOI: 10.1088/1755-1315/949/1/012066.
- Loskutov I. G., Gnutikov A. A., Blinova E. V., Rodionov A. V. The Origin and Resource Potential of Wild and Cultivated Species of the Genus of Oats (*Avena L.*) // Russian Journal of Genetics. 2021. Vol. 57. No. 6. Pp. 642–661. DOI: 10.1134/S1022795421060065.
- Pakul' V. N., Kozyrenko M. A., Androsov D. E. Otsenka zasukhoustoychivosti sortov yarovogo ovsa v usloviyakh lesostepi Zapadnoy Sibiri [Assessment of drought resistance of grades of summer oats in the conditions

of the forest-steppe of Western Siberia] // International research journal. 2016. No. 9-3 (51). Pp. 129–132. DOI: 10.18454/IRJ.2016.51.093. (In Russian.)

11. Gong W., Ju Z., Chai J., Zhou X., Lin D., Su W., Zhao G.. Physiological and Transcription Analyses Reveal the Regulatory Mechanism in Oat (*Avena sativa*) Seedlings with Different Drought Resistance under PEG-Induced Drought Stress [e-resource] // Agronomy. 2022. No. 12 (5). Article number 1005. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/5/1005> (date of reference: 21.04.2022). DOI: 10.3390/agronomy12051005.

12. Parfenova E. S., Shamova M. G., Nabatova N. A., Psareva E. A. Otsenka otnositel'noy zasukhoustoychivosti sortov ozimoy rzhi sposobom prorashchivaniya na rastvore sakharozy [Assessment of the relative drought resistance of varieties of winter rye, method of germination on sucrose] // International Journal of Applied and Basic Research. 2018. No. 11-2. Pp. 347–351. (In Russian.)

13. Bud'ko A. S., Voytova V. N. Otsenka selektsionnykh obraztsov ozimoy pshenitsy na zasukhoustoychivost' [Evaluation of winter wheat breeding varieties for drought resistance] // Farming and breeding in Belarus. 2021. No. 57. Pp. 288–295. (In Russian.)

14. Kozhushko N. N. Otsenka zasukhoustoychivosti polevykh kul'tur. Diagnostika ustoychivosti rasteniy k stressovym vozdeystviyam: metodicheskoe rukovodstvo [Evaluation of drought resistance of field crops. Diagnosis of plant resistance to stress: a methodological guide]. Leningrad: VIR, 1988. (In Russian.)

15. Fomina M. N., Tobolova G. V., Lyubimova A. V. New Generation Varieties of Spring Oats Selected for Areas with the Climate as in Ural, Siberia and the Far East of Russia // International scientific and practical conference “AgroSMART – Smart solutions for agriculture” (AgroSMART 2018). Series: Advances in Engineering Research. Tyumen, 2018. Pp. 201–205. DOI: 10.2991/agrosmart-18.2018.39.

16. Fomina M. N. Sozdaniye sortov zernofurazhnykh kul'tur adaptirovannykh k usloviyam Zaural'ya i Sibiri [creation of grain forage crops varieties adapted to the conditions of the trans-Ural and Siberia] // Selection process optimization as a factor of stabilization and growth of crop production in Siberia OSP – 2019: materials of the international scientific conference held as part of the 46th meeting of the Joint Scientific and Problem Council for Plant Growing, Breeding, Biotechnology and Seed Production of the OUS SB RAS in Agricultural Sciences and dedicated to 90 anniversary of Academician RAS Goncharov P. L., Krasnoyarsk, 2019. Pp. 134–139. (In Russian.)

17. Aseeva T. A., Trifuntova I. B., Zenkina K. V. Sravnitel'naya otsenka produktivnosti zernovykh kul'tur v gidrotermicheskikh usloviyakh srednego Priamur'ya [Comparative evaluation of cereals productivity in hydrothermal conditions of the middle Priamurye] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. No. 72. Pp. 42–46. DOI: 10.21515/1999-1703-72-42-46. (In Russian.)

18. Trifuntova I. B., Zenkina K. V., Aseeva T. A. Osnovnyye rezul'taty i zadachi selektsii yarovogo ovsa na Dal'nem Vostoke [The main results and tasks of spring oats breeding in the Far East] // Achievements of Science and Technology of AIC. 2020. Vol. 34. No. 6. Pp. 43–47. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10608. (In Russian.)

Authors' information:

Anna V. Lyubimova¹, candidate of biological sciences, head of the laboratory for genomic research in crop production, ORCID 0000-0002-1570-9595, AuthorID 819322; +7 952 341-08-87, ostapenkoav88@yandex.ru
 Viktoriya S. Mamaeva¹, trainee researcher of the laboratory for genomic research in crop production, ORCID 0000-0002-3606-8387, AuthorID 1146003; +7 982 131-66-05, mamaeva.vs.b23@ati.gausz.ru
 Anastasiya A. Menshchikova¹, trainee researcher of the laboratory for genomic research in crop production, ORCID 0000-0001-5613-0961, AuthorID 1144902; +7 982 948-17-93, menschikova.aa.b23@ati.gausz.ru
¹Tyumen Research Centre – Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia