

Лабораторный скрининг сортов овса Тюменской селекции на устойчивость к солевому стрессу

Д. И. Еремин[✉], В. В. Сахарова, Ю. В. Савельева, П. С. Бататин

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Федерального исследовательского центра «Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», п. Московский, Тюменская область, Россия

[✉]E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Аннотация. Цель работы – определение степени устойчивости генотипов овса Тюменской селекции к хлоридному и сульфатному засолению и выделение перспективных родительских форм для селекции солеустойчивых сортов. **Материалы и методы.** Изучали реакцию сортов овса Тюменской селекции Мегион, Талисман, Отрада, Фома, Тобояк, Радужный и Сириус на различный уровень засоления Na_2SO_4 и NaCl . Устойчивость к солевому стрессу определяли по комплексу лабораторных и расчетных показателей. **Результаты.** Установлено, что хлоридное засоление приводит к затормаживанию ростовых процессов, но не имеет сильного токсического эффекта вплоть до концентрации соли в растворе 7 г/л. Лабораторная всхожесть достоверно снижалась при концентрации 10 г/л на 10–25 % относительно контроля. Негативное воздействие сульфата натрия проявляется при меньших концентрациях (от 3 г/л) на отдельных сортах и выражается в стабильном угнетении овса на начальных этапах онтогенеза. При концентрации 7 г/л всхожесть сортов снижалась на 10–36 % относительно контроля. При 1 г/л сульфата натрия индекс длины корней сортов Мегион, Талисман и Отрада был на 8–10 % выше контроля. Хлорид натрия имел аналогичный эффект при концентрациях 1–3 г/л. По комплексу показателей установлено, что наиболее устойчивыми к сульфатному засолению являются сорта Сириус, Тобояк и Отрада. К хлоридному – Талисман и Отрада. Чувствительным к Na_2SO_4 и NaCl был сорт Радужный, который негативно реагировал на соли даже в минимальной концентрации (1 г/л). **Научная новизна.** Впервые была изучена сортовая реакция овса Тюменской селекции на сульфатное и хлоридное засоление в процессе прорастания. Установлены концентрации хлорида и сульфата натрия, вызывающие стресс от засоления. **Рекомендации.** Сорта Сириус, Тобояк, Отрада и Талисман рекомендуется использовать в качестве родительских форм при селекции солеустойчивых сортов овса.

Ключевые слова: овес (*Avena sativa* L.), стресс-фактор, ингибирование ростовых процессов, солеустойчивость, сульфатное и хлоридное засоление, селекция, фитозэффект, индекс длины корней

Благодарности. Работа выполнена в рамках научного проекта «Разработка ускоренной системы отбора устойчивых к абиотическим факторам ценных генотипов зернофуражных культур (ячмень, овес) методом биохимического маркирования» (FWRZ-2024-0008).

Для цитирования: Еремин Д. И., Сахарова В. А., Савельева Ю. В., Бататин П. С. Лабораторный скрининг сортов овса Тюменской селекции на устойчивость к солевому стрессу // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 02. С. 230–244. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-230-244>.

Дата поступления статьи: 17.09.2024, **дата рецензирования:** 07.11.2024, **дата принятия:** 02.12.2024.

Laboratory screening of Tyumen oat varieties for resistance to salt stress

D. I. Eremin[✉], V. V. Sakharova, Yu. V. Savelyeva, P. S. Batatin

Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – a branch of the Federal Research Center “Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia

[✉]E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Abstract. The purpose of the work is to determine the degree of resistance of oat genotypes of Tyumen breeding to chloride and sulfate salinization and to identify promising parental forms for the selection of salt-resistant varieties. **Materials and methods.** The reaction of Tyumen oat cultivars Megion, Talisman, Otrada, Foma, Tobolyak, Raduzhnyy and Sirius to different levels of salinity of Na₂SO₄ and NaCl was studied. Resistance to salt stress was determined by a set of laboratory and calculated parameters. **Results.** It was found that chloride salinization leads to inhibition of growth processes, but does not have a strong toxic effect up to a salt concentration in a solution of 7 g/l. Laboratory germination significantly decreased at a concentration of 10 g/l by 10–25 % relative to the control. The negative effect of sodium sulfate is manifested at lower concentrations (from 3 g/l) on individual cultivars and is expressed in stable suppression of oats at the initial stages of ontogenesis. At a concentration of 7 g/l, the germination of cultivars decreased by 10–36 % relative to the control. At 1 g/l of sodium sulfate, the root length index of Megion, Talisman and Otrada cultivars was 8–10 % higher than the control. Sodium chloride had a similar effect at concentrations of 1–3 g/l. According to the set of indicators, it was found that the most resistant to sulfate salinization are the cultivars: Sirius, Tobolyak and Otrada. Chloride is a Talisman and Otrada. The Raduzhnyy variety was sensitive to Na₂SO₄ and NaCl, which reacted negatively to salts even at a minimum concentration (1 g/l). **Scientific novelty.** For the first time, the varietal reaction of Tyumen oats to sulfate and chloride salinization during germination was studied. Concentrations of sodium chloride and sulfate causing stress from salinization have been established. **Recommendations.** The cultivars Sirius, Tobolyak, Otrada and Talisman are recommended to be used as parent forms in the selection of salt-resistant varieties of oats.

Keywords: oats (*Avena sativa* L.), stress factor, inhibition of growth processes, salt resistance, sulfate and chloride salinization, breeding, phytoeffect, root length index

Acknowledgements. The study was carried out within the framework of the scientific project “Development of an accelerated system for the selection of valuable genotypes of grain crops (barley, oats) resistant to abiotic factors by biochemical labeling” (FWRZ-2024-0008).

For citation: Eremin D. I., Sakharova V. A., Savelyeva Yu. V., Batatin P. S. Laboratory screening of oat varieties of Tyumen breeding for resistance to salt stress. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (02): 230–244. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-02-230-244>. (In Russ.)

Date of paper submission: 17.09.2024, **date of review:** 07.11.2024, **date of acceptance:** 02.12.2024.

Постановка проблемы (introduction)

Глобальное изменение климата на планете оказывает непосредственное воздействие на современную экосистему и геополитику современного мира. В последние десятилетия сложилась устойчивая тенденция к сокращению площадей земель сельскохозяйственного назначения за счет естественного и антропогенного засоления почв. Современные исследования показали, что механизм аккумуляции и переноса водорастворимых солей в почвах намного сложнее, чем принято считать [1]. В условиях изменения климата основная часть высокоплодородных земель, используемых в пашне, имеет высокую степень риска перехода в категорию засоленных. Эта

проблема затрагивает и пахотные земли с достаточной влагообеспеченностью в Западной Сибири, которая активно осваивается в сельскохозяйственном направлении. В связи с этим необходима своевременная подготовка агропромышленного комплекса к последствиям глобального изменения климата. Существующие мелиоративные приемы позволяют уменьшить засоление, а в отдельных случаях и полностью избавиться от него. На значительной площади Российской Федерации проведение мелиорации будет экономически неоправданным или технологически невыполнимым [2]. Поэтому рациональной стратегией устойчивого развития сельского хозяйства в условиях изменяющегося клима-

та будет создание новых сортов сельскохозяйственных культур, обладающих генетической устойчивостью к повышенному содержанию солей в почве. Для этого необходимо комплексное изучение механизмов устойчивости к солям и физиологических стрессов, вызываемых ими. Как показывает анализ литературных источников, эта проблему решают по всему миру: идет активный поиск солеустойчивых культурных и диких генотипов растений [3; 4]. Углубленно изучаются биохимия, протеомика и метаболомика стрессов, вызванных абиотическими факторами на клеточном уровне [5]. Как отмечает В. В. Иванищев, растения имеют достаточно большой спектр механизмов устойчивости к токсическому действию солей. Прежде всего это селективное накопление или выброс ионов; контроль поглощения корнями и их транспортировка в листья; изолирование ионов в компартменты на уровне клетки и целого растения; синтез метаболитов для поддержания осмотического давления цитоплазмы; изменение структуры мембран; синтез антиоксидантных ферментов; индукция гормонов растений [6]. Выбор механизма защиты зависит от генотипа растения, вида и степени засоления.

Среди зерновых культур овес считается наименее устойчивым к водорастворимым солям, поэтому на засоленных почвах ему предпочитают ячмень [7; 8]. При этом для умеренных широт среди зернофуражных культур овес является наиболее выгодным по устойчивости к неблагоприятным факторам (локальное переувлажнение, низкие положительные температуры корнеобитаемой зоны). За последние десятилетия селекционная наука создала сотни сортов овса, раскрывающих свой генетический потенциал в различных почвенно-климатических условиях. Поэтому существует большая вероятность того, что есть генотипы овса, наименее подверженные токсическому действию водорастворимых солей и способные формировать урожай на солончаковых почвах. Для ускорения оценки устойчивости сортов часто проводят исследования по определению прорастания семян и развитию растений на начальных этапах онтогенеза [9]. Это дает возможность точно установить степень стресса от химизма и степени засоления. В дальнейшем результаты лабораторной оценки становятся основой для модельных и полевых опытов в селекционной работе.

Цель исследований – определение степени устойчивости генотипов овса Тюменской селекции к хлоридному и сульфатному засолению и выделение перспективных родительских форм для селекции солеустойчивых сортов.

Методология и методы исследования (Methods)

Изучение солеустойчивости овса проводили в лаборатории геномных исследований в растениеводстве Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала

ФИЦ «Тюменский научный центр сибирского отделения Российской академии наук». Были изучены пленчатые сорта местной селекции: Мегион (год регистрации – 1993), Талисман (2002), Отрада (2013), Фома (2013), Тоболяк (2020), Радужный (2022) и Сириус, который в 2023 году был передан на государственное сортоиспытание. Описание этих сортов подробно представлено в публикациях [10–14]. Лабораторный опыт был заложен по методике, разработанной Федеральным исследовательским центром «Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова»¹. В опыте были смоделированы два типа засоления: хлоридный (NaCl) и сульфатный (Na₂SO₄) как наиболее типичные для Западной Сибири [15; 16]. Для определения пороговой концентрации солей, вызывающих стресс овса, были использованы растворы 1; 3; 5; 7 и 10 г/л (таблица 1). Это позволило охватить все категории засоленных почв – от солончаковых до солончаков. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Для исследований были отобраны неповрежденные и выравненные семена овса одного года и репродукции, полученные из коллекции НИИСХ Северного Зауралья. Проращивание семян (ГОСТ 12044–93) проводили в рулонах из фильтровальной бумаги, увлажненной растворами соответствующих концентраций до полной влагоемкости. Для предотвращения испарения рулоны бумаги с семенами обертывали полиэтиленовой пленкой. Рулоны помещали вертикально в лабораторные стаканы. Далее стаканы с рулонами фильтровальной бумаги и семенами помещали в термостат с выставленной температурой +20 ...+21 °C на 7 суток.

Через трое суток определяли энергию прорастания, через 7 суток – лабораторную всхожесть. Параллельно этому измеряли длину корешков у каждого растения. Далее отделяли корешки и проростки, объединяли их в усредненную пробу и высушивали до воздушно-сухого состояния с последующим взвешиванием. Опыт проводили в четырех биологических повторностях. Для каждого варианта рассчитывали среднее значение, стандартное отклонение ($X \pm SO$). По полученным данным проводили расчет следующих показателей:

Индекс скорости прорастания [17]:

$$\text{ИСП} = \text{ЭП/ЛВ}, \quad (1)$$

где ЭП – энергия прорастания;

ЛВ – лабораторная всхожесть.

Индекс длины корней:

$$\text{ИДК} = \frac{L_{\text{ср.В}}}{L_{\text{ср.К}}} * 100, \quad (2)$$

где $L_{\text{ср.В}}$ – средняя длина корней варианта, мм;

$L_{\text{ср.К}}$ – средняя длина корней на контроле, мм;

¹ Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям (методическое руководство) / Под ред. Г. В. Удовенко. Ленинград: ВИР, 1988. 227 с.

Химизм и степень засоления, используемые в опыте

Концентрация, г/л	Сульфат натрия		Хлорид натрия		Соответствие степени засоления почв
	Ммоль/л	Осмотическое давление, Па	Ммоль/л	Осмотическое давление, Па	
1	7,042	52,34	17,11	84,78	Незасоленные
3	21,13	157,1	51,33	254,3	Слабозасоленные (солончаковатые)
5	35,21	261,7	85,56	424	Среднезасоленные (солончаковатые)
7	49,3	366,4	119,76	593,6	Сильно засоленные (солончаковатые)
10	70,42	523,4	171,1	847,8	Очень сильно засоленные (солончаки)

Table 1

Chemistry and degree of salinity used in the experiment

Concentration, g/L	Sodium sulfate		Sodium chloride		Compliance with the degree of soil salinity
	mmol/L	Osmotic pressure, Pa	mmol/L	Osmotic pressure, Pa	
1	7.042	52.34	17.11	84.78	Unsalted
3	21.13	157.1	51.33	254.3	Subsaline (saline)
5	35.21	261.7	85.56	424	Medium saline (saline)
7	49.3	366.4	119.76	593.6	Highly saline (saline)
10	70.42	523.4	171.1	847.8	Very highly saline (salt flats)

Согласно методике ВИР, если индекс длины корня находится в пределах 70–80 %, то генотип считается среднеустойчивым к стрессу, вызванному каким-либо фактором; 80–90 % – устойчивый; 90–100 % – высокоустойчивый.

Фитоэффект (E_M) от воздействия стресса определяли по воздушно-сухой массе первичных корешков.

$$E_M = \frac{M_K - M_{оп}}{M_{оп}} * 100 \%, \quad (3)$$

где E_M – фитоэффект, вызванный стрессом, %;

M_K – средняя масса корней на контроле, г;

$M_{оп}$ – средняя масса корней на варианте, г.

Статистическую обработку полученных данных проводили методом дисперсионного анализа² с использованием пакета анализа компьютерной программы Microsoft Excel.

Ранжирование сортов проводили методом рангового распределения по комплексу исследуемых показателей с последующим суммированием баллов. Используя квартильный анализ, определяли диапазоны степени устойчивости к засолению [18; 19].

Результаты (Results)

Подсчет проросших семян на третьи сутки показал наличие сортовой реакции овса на химизм засоления и концентрацию солей. При минимальном содержании сульфата натрия (1 г/л) энергия прорастания сортов Мегион и Отрада достоверно уменьшилась ($F_{факт} > F_{теор.}$ при $p = 5 \%$) относительно

контроля до 91 и 76 % соответственно (таблица 2). Увеличение концентрации до 3 г/л не оказало воздействия на сорта Талисман; Тоболяк и Радужный: энергия прорастания была на уровне контроля. Сорта Мегион и Отрада выделялись резким снижением темпов прорастания: 42 и 57 % относительно контроля. Также было отмечено проявление стресса от сульфата натрия у сортов Фома и Сириус, снижение энергии прорастания у которых было выше значений наименьшей существенной разницы.

Концентрация Na_2SO_4 на уровне 5 г/л наиболее показательна, поскольку при ней начинают проявляться защитные механизмы растения на засоление. Энергия прорастания тех сортов, которые негативно реагировали на меньшие концентрации сульфата натрия, возросла: Мегион – 85 %; Отрада – 71 %; Сириус – 96 % от контроля. У остальных сортов отмечалась четкая негативная реакция на концентрацию 5 г/л. Наиболее сильно реагировал сорт Радужный: энергия прорастания снизилась до 27 %. Однако, механизм защиты у этого сорта включился при концентрации 7 г/л, что восстановило процесс прорастания до 71 % на третьи сутки опыта. Аналогично проявили себя сорта Талисман и Отрада, у которых энергия прорастания возросла при концентрации сульфата натрия 10 г/л – она достигла 50 %. При таком уровне засоления сорта Мегион, Тоболяк, Радужный и Сириус на третьи сутки не проросли.

² Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 2014. 336 с.

Таблица 2
Энергия прорастания сортов овса Тюменской селекции при различной концентрации сульфата и хлорида натрия, % от контрольных значений

Сорт	Na ₂ SO ₄ , г/л					NaCl, г/л				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Мегион	91	42	85	24	0	100	100	58	17	0
Талисман	100	100	36	29	50	83	100	55	28	0
Отрада	76	57	71	24	50	100	100	33	2	0
Фома	94	70	40	41	29	100	54	10	2	0
Тобояк	100	100	81	46	0	93	100	37	40	0
Радужный	100	100	27	71	0	100	100	8	0	0
Сириус	100	88	96	69	3	83	30	3	0	0

Примечание. Факторы: А – сорт; В – концентрация; АВ – взаимодействие. HCP₀₅ (Na₂SO₄): А – 6; В – 7; АВ – 9 %. HCP₀₅ (NaCl): А – 5; В – 7; АВ – 8 %.

Table 2
Germination energy of oat varieties of Tyumen selection at different concentrations of sulfate and sodium chloride, % of control values

Cultivar	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Megion	91	42	85	24	0	100	100	58	17	0
Talisman	100	100	36	29	50	83	100	55	28	0
Otrada	76	57	71	24	50	100	100	33	2	0
Foma	94	70	40	41	29	100	54	10	2	0
Tobolyak	100	100	81	46	0	93	100	37	40	0
Raduzhnyy	100	100	27	71	0	100	100	8	0	0
Sirius	100	88	96	69	3	83	30	3	0	0

Note. Factors: А – cultivar; В – concentration; АВ – interaction. AD₀₅ (Na₂SO₄): А – 6; В – 7; АВ – 9 %. AD₀₅ (NaCl): А – 5; В – 7; АВ – 8 %.

При хлоридном засолении наблюдалась аналогичная реакция, которая проявилась также при минимальной концентрации (1 г/л хлорида натрия). Энергия прорастания Талисмана и Сириуса составила 83 %. У остальных сортов она была на уровне контроля. Необходимо отметить, что 3 г/л NaCl вызвало стресс только у Фомы и Сириуса. При дальнейшем повышении концентрации энергия прорастания этих сортов достигла критических значений (< 10 %). Наименее подверженным хлоридному засолению оказался сорт Тобояк, у которого на третьи сутки проросло 40 % зерна при концентрации 7 г/л. Частичное прорастание было зафиксировано у Мегиона и Талисмана. На варианте с максимальной концентрацией 10 г/л хлорида натрия ни один из Тюменских сортов овса на третьи сутки не пророс.

Ранее проведенные собственные исследования, а также опыт других ученых неоднократно подтверждали, что наличие солей в растворе может как стимулировать, так и задерживать процесс прорастания семян, поэтому крайне важно получение информации на 7-е сутки проращивания, когда определяется лабораторная всхожесть [20; 21].

Лабораторные исследования показали, что число проросших семян изучаемых сортов при низких концентрациях NaCl и Na₂SO₄ (1 и 3 г/л) не отличается от контроля (таблица 3). При концентрации 5

г/л сульфата натрия сорта Талисман и Фома достоверно снизили всхожесть до 88–89 % относительно контроля. Дальнейшее повышение концентрации сульфата натрия усилило негативный эффект: при 7 г/л всхожесть сортов Мегион, Тобояк и Радужный составила 83, 90 и 64 % соответственно. Максимальная степень засоления (10 г/л) достоверно снизила лабораторную всхожесть всех изучаемых сортов овса. Наименее устойчивыми к столь высокой концентрации сульфата натрия оказались сорта Радужный и Отрада, лабораторная всхожесть которых составила соответственно 74 и 80 % относительно контроля.

Достоверное влияние хлорида натрия на лабораторную всхожесть отмечалось только на варианте с концентрацией 10 г/л. Среди 7 изучаемых сортов только Талисман обладал устойчивостью к высокому уровню засоления. Сорта Мегио, Отрада и Сириус уменьшили всхожесть до 90, 88 и 81 % соответственно, что не является критичным.

Посевной материал, используемый в опыте, был получен в однотипных условиях и представлял собой физиологически зрелое зерно. Поэтому различия на контроле (дистиллированная вода) являются сортовыми особенностями. Индекс скорости прорастания зерна овса Тюменской селекции на контроле варьировал в относительно узком диапазоне – от 70 (Сириус) до 83 % (Талисман).

Влияние уровня и химизма засоления на лабораторную всхожесть сортов овса Тюменской селекции, % от контрольных значений

Сорт	Na ₂ SO ₄ , г/л					NaCl, г/л				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Мегион	100	96	100	83*	84*	99	100	96	94	90*
Талисман	97	100	89*	88*	85*	99	100	100	100	100
Отрада	100	100	100	97	80*	100	100	99	100	88*
Фома	100	100	88*	85*	82*	100	100	100	100	75*
Тобояк	100	100	95	90*	84*	95	100	100	95	76*
Радужный	100	100	93	64*	74*	100	100	100	100	78*
Сириус	100	92	95	100	88*	100	100	100	96	81*

Примечание. * Изменение достоверно ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ при $p = 5\%$).

Table 3

The effect of the level and chemistry of salinity on the laboratory germination of oat varieties of Tyumen selection, % of control values

Cultivar	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Megion	100	96	100	83*	84*	99	100	96	94	90*
Talisman	97	100	89*	88*	85*	99	100	100	100	100
Otrada	100	100	100	97	80*	100	100	99	100	88*
Foma	100	100	88*	85*	82*	100	100	100	100	75*
Tobolyak	100	100	95	90*	84*	95	100	100	95	76*
Raduzhnyy	100	100	93	64*	74*	100	100	100	100	78*
Sirius	100	92	95	100	88*	100	100	100	96	81*

Note. * The change is valid ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ is at $p = 5\%$).

Были выделены три генотипа (Мегион, Отрада и Сириус), которые положительно отреагировали на минимальную концентрацию сульфата натрия (1 г/л). Индекс прорастания был достоверно выше контрольных значений ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ при $p = 5\%$). Помимо этого, у Мегиона был зафиксирован аналогичный стимулирующий эффект от NaCl той же концентрации. По нашему мнению, данный факт объясняется тем, что поглощаемый во время прорастания овса натрий накапливается в клеточных вакуолях и выполняет функцию осмотически активного элемента. Аналогичный эффект отмечали А. А. Иванов в опытах с пшеницей [22] и группа ученых из Азербайджана под руководством Г. С. Меджидовой [23].

Прорастание зерна сорта Талисман при концентрации 1 г/л сульфата натрия замедлилось, о чем свидетельствует индекс скорости прорастания, который снизился с 83 до 41 % (таблица 4). На варианте с засолением 3 г/л прорастание изучаемых сортов достоверно замедлялось: ИСП снижался до 46–76 %. У сорта Тобояк при концентрации сульфата натрия 5 г/л включились защитные механизмы, которые увеличили скорость прорастания (ИСП = 74 %) до уровня контроля. Отсутствие замедления процесса прорастания было зафиксировано у сортов Талисман и Сириус. Остальные сорта характеризовались устойчивой тенденцией замедления прорастания при концентрациях 5 и 7 г/л сульфата натрия. Максимальный индекс скорости

прорастания при 10 г/л был зафиксирован у сортов Тобояк (32 %) и Сириус (47 %), что делает их привлекательными для выращивания на сульфатных солончаках и перспективными для селекции солеустойчивых сортов овса.

Хлоридное засоление обладает более жестким воздействием на ростовые процессы в ходе прорастания овса. При минимальной концентрации (1 г/л) эффект затормаживания был зафиксирован только у сорта Сириус (ИСП = 58 %) при $НСР_{05} = 4\%$. Нужно отметить, что этот сорт характеризуется практически полным отсутствием устойчивости к хлориду натрия – при концентрации 3 г/л индекс скорости прорастания уменьшился до 21 %, а при более высоких концентрациях все семена дали проростки позже срока определения энергии прорастания (3 суток).

Концентрация хлорида натрия 5 г/л оказала негативное влияние на скорость прорастания также сортов Фома и Радужный – ИСП достиг критических величин – 6 и 5 % соответственно. Наиболее устойчивыми к такой концентрации оказались Мегион и Талисман, у которых за 3 дня проросли 52 и 37 % зерен от контроля. Следует отметить сорт Тобояк, который характеризовался снижением индекса скорости прорастания при концентрации 5 г/л NaCl до 27 %, но при более высокой концентрации (7 г/л) прорастание шло достоверно быстрее (ИСП = 39 %, $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ при $p = 5\%$).

Таблица 4

Индекс скорости прорастания (ИСП) овса в условиях возрастающей концентрации солей в растворе, %

Сорт	Контроль	Na ₂ SO ₄ , г/л					NaCl, г/л				
		1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Мегион	79	83	62	27	22	6	85	79	52	14	0
Талисман	83	41	53	53	22	6	70	65	37	22	0
Отрада	69	80	46	31	20	5	71	61	23	1	0
Фома	73	79	64	44	20	7	70	32	6	1	0
Тоболяк	74	70	65	74	63	32	73	86	27	39	0
Радужный	81	74	71	58	17	19	76	55	5	0	0
Сириус	70	90	76	73	74	47	58	21	2	0	0

Факторы: А – сорт; В – концентрация; АВ – взаимодействие. НСР₀₅ (Na₂SO₄): А – 5; В – 4; АВ – 7%. НСР₀₅ (NaCl): А – 6; В – 5; АВ – 4%.

Table 4

The germination index (GI) of oats under conditions of increasing salt concentration in solution, %

Variety	Standard	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
		1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Megion	79	83	62	27	22	6	85	79	52	14	0
Talisman	83	41	53	53	22	6	70	65	37	22	0
Otrada	69	80	46	31	20	5	71	61	23	1	0
Foma	73	79	64	44	20	7	70	32	6	1	0
Tobolyak	74	70	65	74	63	32	73	86	27	39	0
Raduzhnyy	81	74	71	58	17	19	76	55	5	0	0
Sirius	70	90	76	73	74	47	58	21	2	0	0

Factors: А – copm; В – Concentration; АВ – Interaction. AD₀₅ (Na₂SO₄): А – 5; В – 4; АВ – 7%. AD₀₅ (NaCl): А – 6; В – 5; АВ – 4%.

Концентрация хлорида натрия в 10 г/л затормаживала прорастание всех сортов овса – проростки появились только на 4–5-е сутки проращивания, поэтому индекс скорости прорастания был нулевым.

Биомасса проростков – один из важнейших показателей состояния растения на начальных этапах онтогенеза [24]. При отсутствии засоления (контроль) общая биомасса растений на 7-е сутки проращивания варьировала от 0,43 г (Мегион) до 0,98 г (Фома) (рис. 1). На долю первичных корешков приходилось 34–56 % от общей биомассы. При концентрации сульфата натрия до 3 г/л все сорта овса, за исключением Тоболяка увеличили биомассу, что указывает на явный стимулирующий эффект. Общая биомасса у Талисмана, Фомы и Сириуса была на 19–21 % выше контроля. Увеличение происходило как за счет нарастания корешков, так и ростков. Особо выделился сорт Тоболяк, у которого воздушно-сухая масса корней при концентрации сульфата натрия 1–3 г/л уменьшилась на 54–66 %, но масса ростков возросла на 25–54 % относительно контроля. Этот сорт при более высоких концентрациях имел резкую негативную реакцию, более выраженную в сравнении с другими сортами.

С повышением концентрации сульфата натрия 5 г/л, что соответствует солончаковатым почвам, положительный эффект был обнаружен только у сортов Мегион (32 %) и Отрада (16 %). У сортов Талисман, Фома, Радужный и Сириус общая биомасса через 7 суток прорастания была на уровне

контроля. Концентрация 7 г/л выявила устойчивость к сульфатному засолению у Талисмана и Сириуса, биомасса которых соответствовала контролю. Остальные сорта характеризовались устойчивым снижением. Максимальную степень засоления выдержал Сириус, биомасса которого оставалась на уровне контроля. У сорта Талисман снижение при 10 г/л составило 33 % относительно варианта без засоления. Наиболее сильное угнетение проявилось у Радужного, Мегиона и Тоболяка – 42–54 %

При хлоридном засолении стимулирующий эффект от минимальной концентрации (1 г/л) отмечен на сортах Фома и Радужный, биомасса которых возросла на 31 и 47 % относительно контроля соответственно (рис. 2). Необходимо отметить, что сорт Тоболяк уже при минимальной концентрации негативно реагировал на хлорид натрия. Снижение общей биомассы составило 12 % при НСР₀₅ = 7 %. На остальных сортах изменения относительно контроля были недостоверны ($F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$ при $p = 5\%$). Концентрация 3 г/л NaCl обеспечила эффект стимулирования у всех изучаемых сортов, кроме Тоболяка и Сириуса, у которых общая биомасса была на уровне контроля.

Повышение содержания хлорида натрия в растворе до 7 г/л позволило выделить группу сортов, у которых эффект стимулирования варьировал от 11–18 % (Талисман, Отрада, Фома) до 48 % (Радужный). Прорастание в растворе с максимальной концентрацией (10 г/л) было угнетенным у всех со-

ртов, за исключением сорта Радужный. Его общая биомасса была на 9 % выше значений контроля. Необходимо отметить, что при такой концентрации масса первичных корней была меньше на 27 %, тогда как длина ростка выше на 29 % значений кон-

троля. Минимальное изменение массы корней при концентрации 10 г/л было зафиксировано у сортов Отрада и Тобояк, что указывает на их потенциальную солеустойчивость.

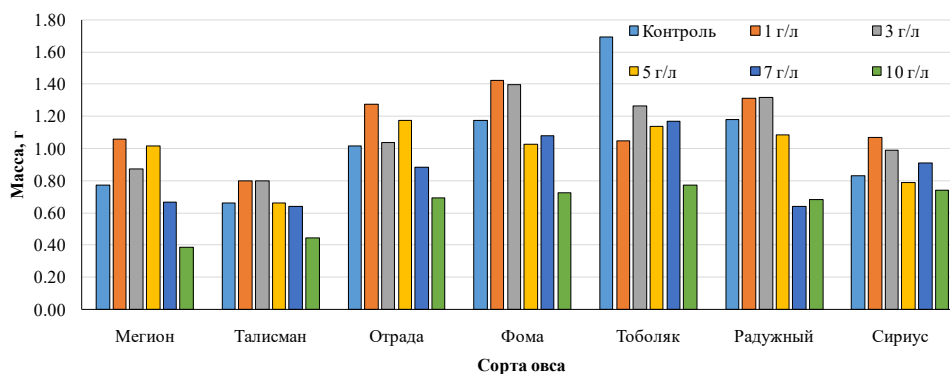


Рис. 1. Воздушно-сухая масса овса на 7-е сутки прорастания при возрастающей концентрации сульфата натрия, г

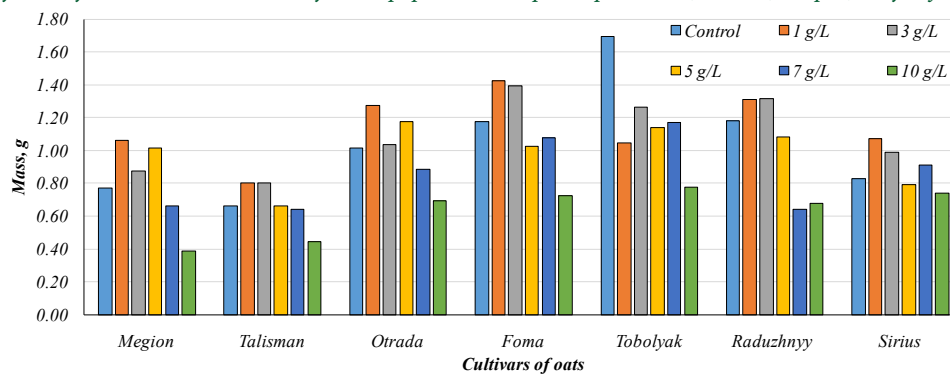


Fig. 1. Air-dry mass of oats on the 7th day of germination with an increasing concentration of sodium sulfate, g

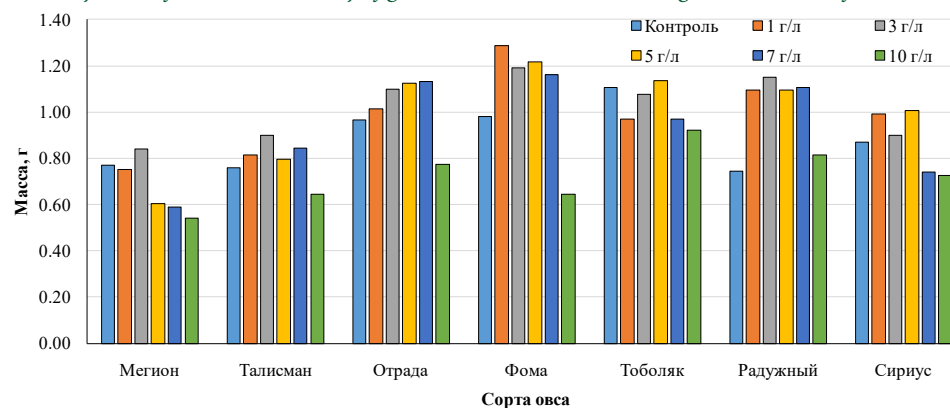


Рис. 2. Воздушно-сухая масса овса на 7-е сутки прорастания при возрастающей концентрации хлорида натрия, г

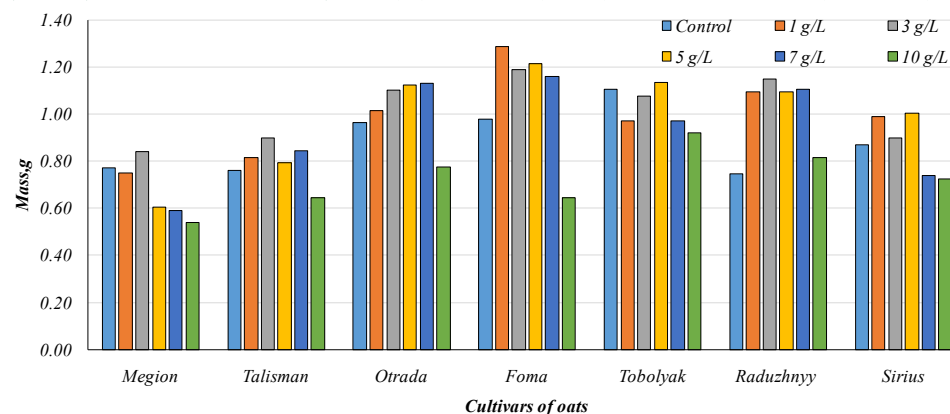


Fig. 2. Air-dry mass of oats on the 7th day of germination at an increasing concentration of sodium chloride, g

Таблица 5
Индекс длины корней (ИДК) сортов овса Тюменской селекции при различном уровне засоления, % относительно контроля

Сорта	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Мегион	111	99*	92	67	45	129	129	63	89	73
Талисман	110	94	81	71	50	87	113	91	62	52
Отрада	109	89	91	67	48	102*	104*	88	82	52
Фома	83	81	69	41	41	88	61	57	37	37
Тобояк	102*	91	64	41	41	121	108	48	63	63
Радужный	108	101*	55	44	44	104*	81	54	21	21
Сириус	92	72	51	33	33	83	75	53	53	53

Примечание. * Изменение недостоверно ($F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$ при $p = 5\%$).

Table 5
Root length index (RLI) of oat varieties of Tyumen breeding at different levels of salinity, % relative to standard

Cultivar	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Megion	111	99*	92	67	45	129	129	63	89	73
Talisman	110	94	81	71	50	87	113	91	62	52
Otrada	109	89	91	67	48	102*	104*	88	82	52
Foma	83	81	69	41	41	88	61	57	37	37
Tobolyak	102*	91	64	41	41	121	108	48	63	63
Raduzhnyy	108	101*	55	44	44	104*	81	54	21	21
Sirius	92	72	51	33	33	83	75	53	53	53

Note. * The change is unreliable ($F_{\text{факт}} < F_{\text{теор}}$ at $p = 5\%$).

Таблица 6
Фитоэффект (E_m) солевого стресса различных сортов овса, % от контроля

Сорта	Na ₂ SO ₄ , г/л					NaCl, г/л				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Мегион	-19	0	-32	22	51	28	-15	49	15	15
Талисман	-8	-21	-15	-2	23	-42	-46	-31	-38	-27
Отрада	-45	-10	-35	-10	4	-19	-50	-31	-49	3
Фома	-25	-21	11	-7	24	-20	-20	-7	-20	37
Тобояк	66	59	59	56	72	23	-13	-11	16	-2
Радужный	-26	-16	13	51	29	-47	-57	-39	-20	27
Сириус	-24	-16	4	-10	7	-12	2	-3	39	17

Примечание. Согласно МР 2.1.77297-07, утвержденным 28.12.2007 г., негативное воздействие солей считается доказанным, если фитоэффект составляет 20 % и более.

Table 6
Phytoeffect (E_m) of salt stress of various cultivars of oats, % of standard

Cultivar	Na ₂ SO ₄ , g/L					NaCl, g/L				
	1	3	5	7	10	1	3	5	7	10
Megion	-19	0	-32	22	51	28	-15	49	15	15
Talisman	-8	-21	-15	-2	23	-42	-46	-31	-38	-27
Otrada	-45	-10	-35	-10	4	-19	-50	-31	-49	3
Foma	-25	-21	11	-7	24	-20	-20	-7	-20	37
Tobolyak	66	59	59	56	72	23	-13	-11	16	-2
Raduzhnyy	-26	-16	13	51	29	-47	-57	-39	-20	27
Sirius	-24	-16	4	-10	7	-12	2	-3	39	17

Note. According to Methodological recommendations 2.1.77297-07 approved on 12/28/2007, the negative effect of salts is considered proven if the phytoeffect is 20 % or more.

Длина первичных корешков, образующихся на ранних этапах онтогенеза, также играет решающую роль в выживаемости и продуктивности растений. Отмечено, что сорта зерновых культур с более длинными первичными корнями обладают высокой устойчивостью к неблагоприятным абиотическим и антропогенным факторам [25; 26]. Средняя длина зародышевых корней изучаемых сортов овса через

7 суток проращивания составила 135 мм. Варьирование длины было в диапазоне от 99 (Мегион) до 169 мм (Сириус). О сортовых особенностях формирования корневой системы овса заявляли, как отечественные, так и зарубежные ученые [27–29]. Анализ индекса длины корней (ИДК) показал, что при концентрации 1 г/л сульфата натрия происходит удлинение первичных корешков. Так, индекс

длины корней у сортов Мегион, Талисман, Отрада и Радужный был достоверно выше ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор.}}$ при $p = 5\%$): 111–118 % относительно контроля (таблица 5). При такой же концентрации длина корней Фомы и Сириуса уменьшилась до 120 и 151 мм, а ИДК составил 83 и 92 % соответственно. Стимулирующий эффект сульфата натрия на длину первичной корневой системы исчез при повышении концентрации до 3 г/л. Негативного влияния не зафиксировано только у сортов Мегион и Радужный. Индекс длины корней остальных сортов снизился до 72–94 %. Концентрация 5 г/л Na_2SO_4 стала критичной для сортов Радужный и Сириус – длина корней уменьшилась до 66 и 84 мм, что на 45 и 49 % меньше контроля. Корневая система в период прорастания остальных сортов уменьшилась не столь значительно: ИДК варьировал от 64 % (Тобояк) до 92 % (Мегион).

На варианте с повышенным содержанием сульфата натрия (7 г/л) все изучаемые сорта овса достоверно уменьшили длину зародышевых корешков до 53–82 мм. Наиболее длинные корни были у Отрады (82 мм) и Талисмана (70 мм) при ИДК 67 и 71 % соответственно. При максимальном засолении, соответствующем сульфатным солончакам Западной Сибири (10 г/л), длина корней этих сортов уменьшилась вдвое, тогда как у остальных сортов индекс длины корней был в диапазоне от 33 (Сириус) до 45 % (Мегион).

Хлорид натрия, как показали наши исследования, обладает меньшим токсическим эффектом. Стимулирующий эффект проявлялся при более высоких концентрациях (1–3 г/л). Положительно реагировали сорта Мегион и Тобояк, корни которых были длиннее контроля на 29 и 8 % соответственно. Следует обратить внимание на сорт Талисман, у которого ИДК был достоверно ниже – 87 % от контроля на варианте с минимальной концентрацией хлорида натрия (1 г/л), но при более высокой (3 г/л) был зафиксирован стимулирующий эффект – длина корней увеличилась до 160 мм, а ИДК составил 113 % ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор.}}$ при $p = 5\%$). Аналогичная особенность была обнаружена и у сорта Мегион, индекс длины корней которого при концентрации 5 г/л был 63 %, но уже при более высокой концентрации (7 г/л) корни стали длиннее на 42 % при ИДК, равном 89 %. У сорта Тобояк схожая закономерность зафиксирована только при более высокой концентрации (5–7 г/л). По нашему мнению, это является сортовой особенностью депонирования ионов натрия в клеточных вакуолях с последующим повышением осмотического давления. Такого же мнения придерживаются и другие ученые [30]. Наиболее сильная негативная реакция на хлоридное засоление при концентрации 5 г/л была отмечена у сортов Фома, Тобояк, Радужный и Сириус: индекс длины корней был в диапазоне 48–57 % от контроля.

Концентрация хлорида натрия 7 г/л, которая часто встречается в солончаковых почвах, обеспечила ухудшение роста первичных корешков: ИДК варьировал от 21 (Радужный) до 89 % (Мегион). Согласно градации устойчивости сортов овса на ранних этапах онтогенеза, предложенной ВИР им. Вавилова, устойчивыми к хлоридному засолению оказались Отрада и Мегион. На варианте с максимальной концентрацией хлорида натрия сорта Радужный и Фома характеризовались минимальным значением индекса длины корней – 21 и 37 %, тогда как у сортов Тобояк и Мегион данный показатель был в 2 и более раза выше. Столь существенная разница дает возможность провести ранжирование сортов и группировку по степени устойчивости овса к водорастворимым солям.

Степень воздействия стресса, вызываемого различными абиотическими факторами, возможно установить при расчете фитoeffекта – показателя, который показывает степень уменьшения (изменения) признака относительно контроля. Для определения фитoeffекта обычно используют длину корней, но на стадии прорастания однодольных семян это имеет определенные трудности методического характера. Наличие мочковатой корневой системы затрудняет полноценную оценку степени уменьшения длины корней, что искажает результат расчета [31]. Чтобы исключить такую вероятность, было принято решение провести расчет фитoeffекта по воздушно-сухой массе первичных корешков.

Фитoeffект различных концентраций сульфата и хлорида натрия показал, что устойчивость к токсическому действию сульфатного и хлоридного засоления является сортовой особенностью и, следовательно, закреплена на генетическом уровне. Так, сорт Тобояк характеризовался максимальной чувствительностью к сульфату натрия во всем диапазоне изучаемых концентраций – фитoeffект варьировал от 57 до 72 % (таблица 6). В то же время он достаточно хорошо прорастал при концентрации хлорида натрия от 3 до 10 г/л. Следует отметить, что на варианте с концентрацией 1 г/л NaCl фитoeffект превысил пороговое значение в 20 %, что указывает на негативную реакцию. Однако при более высоком уровне хлоридного засоления растения быстрее адаптировались к стрессу. Аналогичный эффект отмечала группа ученых J. P. Martinez, J. M. Kinet, M. Vajji и S. Lutts, проводя эксперименты с галофитами (*Atriplex halimus* L.). По их мнению, защитный механизм растений включался по мере накопления хлорида натрия в вакуолях, что обеспечивало водный баланс клетки [32].

Отсутствие токсического воздействия Na_2SO_4 и NaCl было зафиксировано у сорта Сириус, фитoeffект которого даже при максимальной концентрации (10 г/л) составил 7 и 17 % соответственно. Это указывает на высокую устойчивость к сульфатному

и хлоридному засолению на этапе прорастания. Отсутствие негативного воздействия солей на нарастание корневой массы также было зафиксировано у сорта Отрада – фитозэффект не превышал пороговое значение в 20 % и более. Сорт Фома испытывал стресс только при концентрации сульфата и хлорида натрия 10 г/л, о чем свидетельствует фитозэффект 24 и 37 % соответственно. Наиболее близким к Фоме оказался сорт Талисман с тем отличием, что негативное воздействие максимальной концентрации было только в опыте с хлоридом натрия.

Сорта Мегион и Радужный характеризовались меньшим порогом устойчивости к сульфату натрия относительно других генотипов. Негативная реакция к этой соли достоверно возникла при концентрации 7 г/л. Фитозэффект этих сортов составил 51 и 72 % соответственно. При хлоридном засолении (10 г/л) данный показатель превышал пороговое значение только у сорта Радужный, тогда как у Мегиона фитозэффект составил 15 %.

Для определения солеустойчивости сортов овса местной селекции было проведено ранжирование по комплексу показателей, используемых в данной работе, с последующим ранговым распределением (рис. 3).

Высокая чувствительность к сульфатному и хлоридному засолению была выявлена у сорта Радужный. По совокупности изучаемых показателей данный сорт набрал 26 и 28 баллов. Высокая чувствительность к хлориду натрия была также зафик-

сирована у сорта Сириус, который характеризовался высокой устойчивостью к сульфатному засолению. В категории высокоустойчивых к засолению был отнесен сорт Отрада, который набрал 42 и 50 баллов при сульфатном и хлоридном засолении соответственно. Данный сорт является перспективным для дальнейшей селекции солеустойчивых сортов овса. Помимо этого, Отраду и Радужный возможно использовать в дальнейшем для изучения генетической устойчивости к сульфату и хлориду натрия. При использовании квартильного анализа были установлены диапазоны степени устойчивости по рангу сортов: Q1 (< 30 баллов) – соответствует сортам, чувствительным к хлоридному и сульфатному засолению с концентрацией от 7 г/л и выше; (Q2 + Q3) ранг от 31 до 37 баллов – среднеустойчивые сорта; Q4 (> 37 баллов) – высокоустойчивые к засолению сорта.

Таким образом, ряд сортов овса Тюменской селекции по степени устойчивости к Na_2SO_4 имеет вид: Радужный > Мегион > Талисман > Фома > Сириус > Тобояк > Отрада. Ряд по устойчивости к хлоридному засолению имеет некоторые отличия: Сириус > Радужный > Мегион > Фома > Тобояк > Талисман > Отрада. Так, сорт Сириус будет интересным для изучения механизма избирательной устойчивости, поскольку он проявил себя высокоустойчивым к Na_2SO_4 , но очень чувствительным к NaCl , раствор которого уже в минимальной концентрации 1 г/л вызывает достоверное негативное влияние в процессе прорастания зерна.

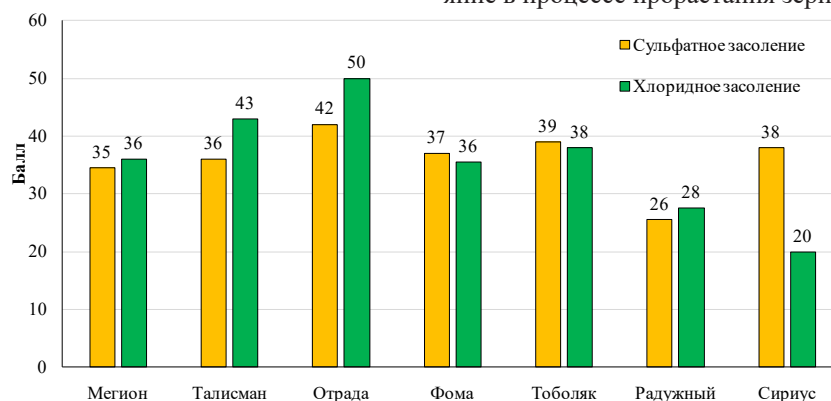


Рис. 3. Ранговое распределение сортов по солеустойчивости, баллов

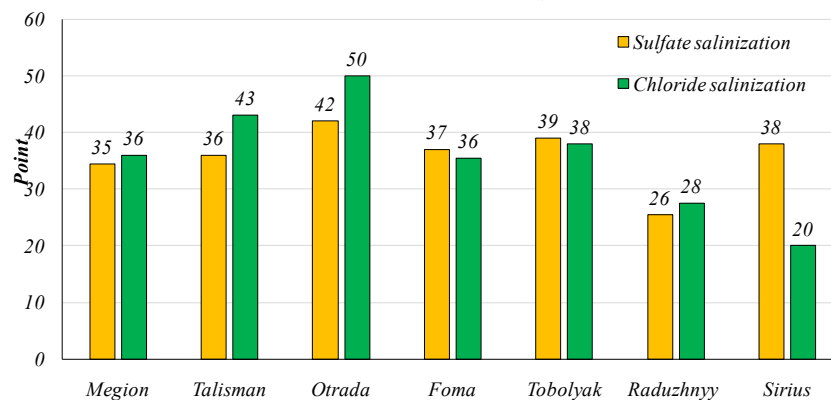


Fig. 3. The rank distribution of cultivars by salt resistance, score

Такие генотипы, как Мегион, Фома и Тоболяк, перспективны для дальнейшего изучения механизмов солеустойчивости и селекционной работы с целью создания устойчивых к засолению сортов овса.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

1. В ходе проведенных лабораторных исследований было установлено, что для сортов овса характерен разный порог концентрации сульфата и хлорида натрия, вызывающий стресс в период прорастания зерна. Так, достоверное снижение лабораторной всхожести Талисмана и Фомы начиналось при концентрации сульфата натрия 5 г/л, а остальных сортов – только при 7 г/л. При хлоридном засолении порог концентрации, вызывающий снижение всхожести, был выше – от 7 г/л.

2. Стресс, вызываемый хлоридом натрия, начинает проявляться в торможении процесса прорастания уже при концентрации 3 г/л – индекс скорости

прорастания сортов Сириус, Фома и Радужный составил 21, 32 и 55 % соответственно при контрольных значениях 70–80 %. Сульфатное засоление в меньшей степени затормаживает процесс прорастания, но обладает более выраженным токсическим действием.

3. Ряд степени устойчивости сортов овса к засолению от чувствительных к высокоустойчивым имеет следующий вид: для сульфата натрия: Радужный > Мегион > Талисман > Фома > Сириус > Тоболяк > Отрада; для хлорида натрия: Сириус > Радужный > Мегион > Фома > Тоболяк > Талисман > Отрада.

4. Генотипы Талисман, Отрада и Тоболяк рекомендуются как перспективные родительские формы в селекционном процессе для создания солеустойчивых сортов овса.

Библиографический список

1. Котенко М. Е., Сорокин А. Е., Савич В. И. Изменение засоления почв во времени и в пространстве // Плодородие. 2020, № 1 (112). С. 43–48. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.13.
2. Горехова И. Н., Панкова Е. И. Проблемы организации мониторинга засоления орошаемых почв // Аридные экосистемы. 2024. Т. 30, № 1. С. 22–30. DOI: 10.24412/1993-3916-2024-1-22-30.
3. Беловолова А. А., Громова Н. В., Голосной Н. В. Солеустойчивость зернобобовых культур и их сортовая разнокачественность // Вестник АПК Ставрополя. 2021. № 4 (44). С. 21–26. DOI: 10.31279/2222-9345-2021-10-43-21-26.
4. Bai J., Yan W., Wang Y., Yin Q., Liu J., Wight C., Ma. Screening Oat Genotypes for Tolerance to Salinity and Alkalinity // Frontiers in Plant Science. 2018. No. 9. Pp. 1302. DOI: 10.3389/fpls.2018.01302.
5. Kiani B. H. Metabolomic profiling of different cereals during biotic and abiotic stresses // In: Roychoudhury A., Aftab T., Acharya K. (eds.) Omics Approach to Manage Abiotic Stress in Cereals. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-19-0140-9-7.
6. Иванищев В. В. О механизмах солеустойчивости растений и специфике влияния засоления // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2019. № 4. С. 76–88.
7. Loskutov I. G. Advances in cereal crops breeding // Plants. 2021. Vol. 10, No. 8. Article number 1705. DOI: 10.3390/plants10081705.
8. Шахова О. А., Якубышина Л. И. Солеустойчивость сортов ячменя при хлоридном, содовом и сульфатном засолении // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 4 (102). С. 61–65. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-102-4-61-65.
9. Косых Л. А., Никонорова Ю. Ю. Оценка сортов ярового ячменя на устойчивость к солевому стрессу // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 11. С. 31–36. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_11_31.
10. Любимова А. В., Еремин Д. И., Мамаева В. С. Каталог биохимических паспортов сортов овса посевного сибирской селекции // Вестник КрасГАУ. 2022. № 5 (182). С. 73–83. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83.
11. Любимова А. В., Фомина М. Н., Еремин Д. И. Аллельное состояние проламин-кодирующих локусов нового сорта овса посевного «Тоболяк» // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. Т. 183, № 3. С. 123–131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131.
12. Иванова Ю. С., Фомина М. Н., Ярославцев А. А. Оценка коллекции овса по основным биохимическим показателям качества в условиях Тюменской области // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24, № 1. С. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-2-11.
13. 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. Т. 182, № 2. С. 107–113. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-107-113.
14. Андреева О. В. Оценка перспективных сортов овса ярового на выщелоченном черноземе Чувашской Республики в 2023 году // Научно-образовательные и прикладные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции. Чебоксары: Чувашский государственный аграрный университет, 2023. С. 3–5.
15. Курачев В. М., Рябова Т. Н. Засоленные почвы Западной Сибири // Новосибирск: Новосибирское отделение издательства «Наука», 1981. 153 с.

16. Черноусенко Г. И. Засоленные почвы котловин юга Восточной Сибири. Москва: ООО «МАКС Пресс», 2022. 480 с. DOI: 10.29003/m2657.978-5-317-06783-0.
17. Бухаров А. Ф., Балеев Д. Н., Бухарова А.Р. Кинетика прорастания семян. Методы исследования и параметры // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017. № 2. С. 5–19.
18. Попов А. М. Квантили, квартили, децили и центили в статистических расчетах // Передача, прием, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах. Сочи: Издательский дом «Академия Жуковского», 2023. С. 429–443.
19. Максимов В. Н. О ранговых распределениях в экологии сообществ с точки зрения статистики // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2004. № 3. С. 352–341.
20. Еремин Д. И., Менщикова А. А., Сергеева Т. Е., Касторнова М. Г. Устойчивость сортов овса краснодарской селекции к солевому стрессу на начальном этапе онтогенеза // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 8. С. 14–19. DOI: 10.53859/02352451-2022-36-8-14.
21. Chauhan A., AbuAmarah B. A., Kumar, et al. A., Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of oat cultivars // Saudi Journal of Biological Sciences. 2019. Vol. 6 (22). Pp. 1298–1304. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.04.014.
22. Иванов А. А. Совместное действие водного и солевого стрессов на фотосинтетическую активность листьев пшеницы разного возраста // Физиология и биохимия культурных растений. 2013. Т. 45, № 2. С. 155–163.
23. Меджидова Г. С., Грайбекова Н. А., Шафизаде Н. А. Солеустойчивость ячменя (*Hordeum vulgare* subsp. *vulgare* var. *glabriparallelum* Orł.) сорта Джамиль // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия флоры: материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси. В 2-х частях. Часть 1. Минск, 2022. С. 425–428.
24. Войцуккая Н. П. Овес: агробиологическая характеристика образцов в условиях Краснодарского края. Санкт-Петербург: Федеральный исследовательский центр «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», 2021. 102 с. DOI: 10.30901/978-5-907145-78-8.
25. Шахова О. А. Особенности формирования корневых систем зерновых культур в условиях лесостепи Зауралья // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2022. № 4 (71). С. 38–41.
26. Колпакова Д. Е., Серазетдинова Н. В., Фотина Н. В. [и др.] Микробная биофортификация злаковых культур: перспективы и текущее развитие // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54, № 2. С. 191–211. DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2-2500.
27. Тарасов С. И., Кравченко М. Е., Бужина Т. А. Биологический круговорот питательных веществ при использовании удобрений и биоресурсов в системах земледелия различной интенсификации: коллективная монография. Суздаль – Иваново: Верхневолжский федеральный аграрный научный центр ; ПресСто, 2021. 312 с. DOI: 10.51961/9785604637456.
28. Krishna G. Study of root system architectural traits of oat and response to endophyte inoculation and drought stress: dissertation ... Agronomy, Horticulture, and Plant Science (PhD) // Open PRAIRIE. Electronic Theses and Dissertations. 2022. URL: <https://openprairie.sdstate.edu/etd2/449> (дата обращения: 13.09.2024).
29. Khan Md. T., Faisal N., Gao, Yo., Wang Ya., Zeng X., Yuegao Hu. A larger root system in oat (*Avena Nuda* L.) is coupled with enhanced biomass accumulation and hormonal alterations under low nitrogen // Applied Ecology and Environmental Research. 2019. Vol. 17. Pp. 4631–4653.
30. Atta K., Mondal S., Gorai S., Singh A. P., Kumari A., Ghosh T., Roy A., Hembram S., Gaikwad D. J., Mondal S., Bhattacharya S., Jha U. C., Jespersen D. Impacts of salinity stress on crop plants: improving salt tolerance through genetic and molecular dissection // Frontiers in Plant Science. 2023. Vol. 14. Article number 1241736. DOI: 10.3389/fpls.2023.1241736.
31. Воронова Л. П., Флерчук В. Л. Поногайбо К. Э. Оценка потенциального риска хлоридов и их влияние на всхожесть семян и развитие проростков растений // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 1. С. 156–165. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-1-156-165.
32. Martinez J. P., Kinet J. M., Bajji M., Lutts S. NaCl alleviates polyethylene glycol-induced water stress in the halophyte species *Atriplex halimus* L. // Ibid. 2005. No. 419. Pp. 2421–2431.

Об авторах:

Дмитрий Иванович Еремин, доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, п. Московский, Тюменская область, Россия; ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870. E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Виктория Викторовна Сахарова, заведующая лабораторией аналитических исследований и технологической оценки качества зерна, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Заура-

ля – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, п. Московский, Тюменская область, Россия; ORCID 0009-0006-4996-5542, AuthorID 1143913.

E-mail: saharova.vv@edu.gausz.ru

Юлия Владимировна Савельева, младший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, п. Московский, Тюменская область, Россия; ORCID 0009-0002-8445-3754, AuthorID 1196853. E-mail: savelyeva25@mail.ru

Павел Сергеевич Бататин, младший научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, п. Московский, Тюменская область, Россия; ORCID 0009-0006-2081-9664, AuthorID 1256572. E-mail: batatin3@gmail.com

References

1. Kotenko M. E., Sorokin A. E., Savich V. I. Changes in soil salinity in time and space. *Fertility*. 2020; 1 (112): 43–48. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.13. (In Russ.)
2. Gorokhova I. N., Pankova E. I. Problems of organization of monitoring of salinization of irrigated soils. *Arid Ecosystems*. 2024; 30 1: 22–30. DOI: 10.24412/1993-3916-2024-1-22-30.
3. Belovolova A. A., Gromova N. V., Golosnoy N. V. Salt resistance of leguminous crops and their varietal heterogeneity. *Bulletin of Agroindustrial Complex of Stavropol Territory*. 2021; 4 (44): 21–26. DOI: 10.31279/2222-9345-2021-10-43-21-26. (In Russ.)
4. Bai J., Yang W., Wang I., Yin K., Liu J., White S. Screening Ma. Of oat genotypes for resistance to salinity and alkalinity. *Frontiers in Plant Science*, 2018; 9: 1302. DOI: 10.3389/fpls.2018.01302.
5. Kiani B. H. Metabolomic profiling of various cereals during biotic and abiotic stresses. In: Roychoudhury A., Aftab T., Acharya K. (eds.) *The Omics Approach to Abiotic Stress Management in Cereals*. Singapore: Springer, DOI: 10.1007/978-981-19-0140-9-7.
6. Ivanishchev V. V. On the mechanisms of salt resistance of plants and the specifics of the effect of salinization. *Proceedings of Tula State University. Natural Sciences*. 2019; 4: 76–88. (In Russ.)
7. Loskutov I. G. Achievements in the breeding of grain crops. *Plants*. 2021; 10 (8): 1705. DOI: 10.3390/plants10081705.
8. Shakhova O. A., Yakubyshina L. I. Salt resistance of barley varieties under chloride, soda and sulfate salinization. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2023; 4 (102): 61–65. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-102-4-61-65. (In Russ.)
9. Kosykh L. A., Nikonorova Yu. Yu. Assessment of spring barley varieties for resistance to salt stress. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2022; 36 (11): 31–36. DOI: 10.53859/02352451_2022_36_11_31.
10. Lyubimova A. V., Eremin D. I., Mamaeva V. S. Catalog of biochemical passports of oat varieties of Siberian breeding. *Bulletin of KrasGAU*. 2022; 5 (182): 73–83. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-5-73-83. (In Russ.)
11. Lyubimova A. V., Fomina M. N., Eremin D. I. The allelic state of the prolamine-coding loci of a new variety of oats “Tobolyak”. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022; 183 (3): 123–131. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-3-123-131.
12. Ivanova Yu. S., Fomina M. N., Yaroslavtsev A. A. Evaluation of the oat collection according to the main biochemical quality indicators in the conditions of the Tyumen region. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024; 24 (1): 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2024-24-01-2-11. (In Russ.)
13. Fomina M. N., Ivanova Y. S., Pai O. A., Bragin N. A. “Tobolyak” is a variety of spring oats of universal use. *Works on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2021. 182 (2): 107–113. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-2-107-113.
14. Andreeva O. V. Evaluation of promising varieties of spring oats on leached chernozem of the Chuvash Republic in 2023. *Scientific, educational and applied aspects of production and processing of agricultural products: collection of materials of the VII International scientific and practical conference, Cheboksary, 2023*. Pp. 3–5. (In Russ.)
15. Kurachev V. M., Ryabova T. N. *Saline Soils of Western Siberia*. Novosibirsk: Novosibirsk branch of the publishing house “Nauka”, 1981. 153 p. (In Russ.)
16. Chernousenko G. I. *Saline soils of the hollows of the south of Eastern Siberia*. Moscow: MAKS Press LLC, 2022. 480 p. DOI: 10.29003/m2657.978-5-317-06783-0. (In Russ.)
17. Bukharov A. F., Baleev D. N., Bukharova A. R. Kinetics of seed germination. Research methods and parameters. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2017; 2: 5–19. (In Russ.)
18. Popov A. M. Quantiles, quartiles, deciles and cents in statistical calculations. In: *Transmission, reception, processing and display of information about fast-moving processes*. Sochi: Publishing House “Zhukovskiy Academy”. 2023; 429–430 p. (In Russ.)
19. Maksimov V. N. On rank distributions in community ecology from the point of view of statistics. *Izvestiâ Akademii Nauk. Rossijskaâ Akademiâ Nauk. Seriâ Biologičeskaâ*; 2004; 3: 352–341. (In Russ.)

20. Eremin D. I., Menshchikova A. A., Sergeeva T. E., Kastornova M. G. Resistance of Krasnodar oat varieties to salt stress at the initial stage of ontogenesis. *Achievements of Science and Technology of the AIC*. 2022; 36 (8): 14–19. DOI: 10.53859/02352451-2022-36-8-14.
21. Chauhan A., Abuamara B. A., Kumar. Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of oat cultivars. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2019; 6 (26): 1298–1304. DOI: 10.1016/j.sjbs.2019.04.014.
22. Ivanov A. A. The combined effect of water and salt stress on the photosynthetic activity of wheat leaves of different ages. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*. 2013; 2 (45): 155–163.
23. Medzhidova G. S., Graybekova N. A., Shahizade N. A. Bird of prey (*Hordeum vulgare* subsp. *vulgare* var. *glabriparallelum* Eagle) varieties “Jamil”. *Introduction, conservation and use of biological diversity of flora: materials of the international scientific conference dedicated: Proceedings of the international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus*. In 2 parts. Part 2. Minsk, 2022. 425–428.
24. Voytsutskaya N. P. *Oats: agrobiological characteristics of samples in the conditions of the Krasnodar Territory*. Saint Petersburg: Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov, 2021. 102 p. DOI: 10.30901/978-5-907145-78-8. (In Russ.)
25. Shakhova O. A. Features of the formation of root systems of grain crops in the conditions of the forest-steppe of the Trans-Urals. *Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University*. 2022; 4 (71): 38–41. (In Russ.)
26. Kolpakova D. E., Serazetdinova N. V., Fotina N. V., et al. Microbial biofortification of cereals: prospects and current development. *Technique and Technology of Food Production*. 2024; 2 (54): 191–211. DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2500.
27. Tarasov S. I., Kravchenko M. E., Buzhina T. A. *Biological circulation of nutrients when using fertilizers and bioresources in farming systems of various intensification: a collective monograph*. Suzdal – Ivanovo: Upper Volga Federal Agrarian Research Center ; PresSto. 2021. 312 p. DOI: 10.51961/9785604637456. (In Russ.)
28. Krishna G. Study of root system architectural traits of oat and response to endophyte inoculation and drought stress: dissertation ... Agronomy, Horticulture, and Plant Science (PhD). *Open PRAIRIE. Electronic Theses and Dissertations* [Internet]. 2022 [cited 2024 Sep 13]. Available from: <https://openprairie.sdstate.edu/etd2/449>.
29. Khan Md. T., Faisal N., Gao, Yo., Wang Ya., Zeng X., Yuegao Hu. A larger root system in oat (*Avena Nuda* L.) is coupled with enhanced biomass accumulation and hormonal alterations under low nitrogen. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019; 17: 4631–4653.
30. Atta K., Mondal S., Gorai S., Singh A. P., Kumari A., Ghosh T., Roy A., Hembram S., Gaikwad D., Mondal S., Bhattacharya S., Ja Y. K., Jespersen D. The effect of salt stress on cultivated plants: increasing salt resistance using genetic and molecular analysis. *Frontiers in Plant Science*. 2023; 14: 1241736. DOI: 10.3389/fpls.2023.1241736.
31. Voronova L. P., Flerchuk V. L., Ponogaibo K. E. Assessment of the potential risk of chlorides and their effect on seed germination and the development of plant seedlings. *Theoretical and Applied Ecology*. 2024; 1: 156–165. DOI: 10.25750/1995-4301-2024-1-156-165.
32. Martinez J. P., Kinet J. M., Bajji M., Latts S. NaCl reduces water stress caused by polyethylene glycol in halophytes of the species *Atriplex halimus* L. *Ibid*. 2005; 419: 2421–2431.

Authors' information

Dmitriy I. Eremin, doctor of biological sciences, deputy director for scientific work, Leading Researcher laboratory of genomic research in crop production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0000-0002-3672-6060, AuthorID 318870.

E-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Viktoriya V. Sakharova, head of the laboratory of analytical research and technological assessment of grain quality, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0009-0006-4996-5542, AuthorID 1143913. *E-mail: saharova.vv@edu.gausz.ru*

Yuliya V. Savelyeva, junior researcher at the laboratory of genomic research in crop production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0009-0002-8445-3754, AuthorID 1196853. *E-mail: savelyeva25@mail.ru*

Pavel S. Batatin, junior researcher at the laboratory of genomic research in crop production, Scientific Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Moskovskiy settlement, Tyumen region, Russia; ORCID 0009-0006-2081-9664, AuthorID 1256572. *E-mail: batatin3@gmail.com*