

Дмитрий Иванович Еремин<sup>1✉</sup>, Анна Валерьевна Любимова<sup>2</sup>, Диана Васильевна Еремина<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>НИИ сельского хозяйства Северного Зауралья – филиал ФИЦ Тюменского научного центра СО РАН, пос. Московский, Тюменский район, Тюменская область, Россия

<sup>3</sup>Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Россия

<sup>1</sup>soil-tyumen@yandex.ru

<sup>2</sup>ostapenkoav88@yandex.ru

<sup>3</sup>diana-eremina@mail.ru

## ОЦЕНКА СОРТОВОЙ РЕАКЦИИ ОВСА НА ПОЧВЕННУЮ ЗАСУХУ ПО ХЛОРОФИЛЛОВОМУ ИНДЕКСУ

Цель исследования – оценка применения значений хлорофиллового индекса, полученных при экспресс-диагностике в отборе перспективных генотипов для селекции засухоустойчивых сортов овса. Для исследования в 2020–2022 гг. использовали 40 сортов овса отечественной селекции. Опыт проводили в тепличных условиях, где искусственно создавали почвенную засуху в период кущения и цветения. Сравнение реакции сортов на почвенную засуху проводили путем расчета степени снижения хлорофиллового индекса относительно контроля, а также расчетом снижения биомассы овса. Установлено, что овес максимально реагирует на почвенную засуху в период цветения. Минимальное снижение хлорофиллового индекса было зафиксировано у сортов Передовик, Сиг, Чиж, КРОСС, Горизонт, Привет, Баргузин, которые можно использовать как ценный селекционный материал для создания засухоустойчивых сортов. Их хлорофилловый индекс уменьшился при засухе во время кущения на 6,1–8,7 %, а в цветение – на 3,7–5,1% на фоне общего снижения по коллекции 13,0 и 7,8 % соответственно. Сорта Покровский 9, Тигровый, Таежник, Аватар, Талисман, Экспресс, Нарымский 943, Орион, Буланый, Тубинский имели максимально сильное снижение хлорофиллового индекса, что свидетельствует о проявлении сильного стресса, вызванного почвенной засухой. Была установлена корреляционная связь между степенью снижения хлорофиллового индекса и биомассой растения под действием почвенной засухи в период кущения ( $r = -0,65$ ) и цветения ( $r = -0,55$ ). Значения хлорофиллового индекса на 46 % зависят от генотипа и на 35 % от стресса, вызванного почвенной засухой.

**Ключевые слова:** засухоустойчивость, хлорофилловый индекс, селекция овса, стресс растений, аридизация, дефицит почвенной влаги

**Для цитирования:** Еремин Д.И., Любимова А.В., Еремина Д.В. Оценка сортовой реакции овса на почвенную засуху по хлорофилловому индексу // Вестник КрасГАУ. 2023. № 11. С. 87–97. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-87-97.

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (тема № 122011300103-0) и при поддержке Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра мирового уровня.

Dmitry Ivanovich Eremin<sup>1✉</sup>, Anna Valerievna Lyubimova<sup>2</sup>, Diana Vasilievna Eremina<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Research Institute of Agriculture of the Northern Trans-Urals – branch of the Federal Research Center of the Tyumen Scientific Center SB RAS, pos. Moskovsky, Tyumen District, Tyumen Region, Russia

<sup>3</sup>Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

<sup>1</sup>soil-tyumen@yandex.ru

<sup>2</sup>ostapenkoav88@yandex.ru

<sup>3</sup>diana-eremina@mail.ru

## EVALUATION OF THE OATS VARIETAL REACTION TO SOIL DROUGHT BY THE CHLOROPHYLL INDEX

The purpose of the study is to evaluate the use of chlorophyll index values obtained through rapid diagnostics in the selection of promising genotypes for the selection of drought-resistant oat varieties. For research in 2020–2022 40 varieties of oats of domestic selection were used. The experiment was carried out in greenhouse conditions, where soil drought was artificially created during the period of tillering and flowering. A comparison of the response of varieties to soil drought was carried out by calculating the degree of decrease in the chlorophyll index relative to the control, as well as by calculating the decrease in oat biomass. It has been established that oats respond maximally to soil drought during the flowering period. A minimal decrease in the chlorophyll index was recorded in the varieties *Peredovik*, *Sig*, *Chisch*, *CROSS*, *Horizont*, *Privet*, *Barguzin*, which can be used as valuable breeding material for creating drought-resistant varieties. Their chlorophyll index decreased during drought during tillering by 6.1–8.7 %, and during flowering by 3.7–5.1 % against the background of a general decrease in the collection of 13.0 and 7.8 %, respectively. Varieties *Pokrovsky 9*, *Tigroviy*, *Tayoschnik*, *Avatar*, *Talisman*, *Express*, *Narymsky 943*, *Orion*, *Bulany*, *Tubinsky* had the strongest decrease in the chlorophyll index, which indicates the manifestation of severe stress caused by soil drought. A correlation was established between the degree of decrease in the chlorophyll index and plant biomass under the influence of soil drought during tillering ( $r = -0.65$ ) and flowering ( $r = -0.55$ ). The chlorophyll index values depend 46% on the genotype and 35 % on stress caused by soil drought.

**Keywords:** drought resistance, chlorophyll index, oat selection, plant stress, aridization, soil moisture deficiency

**For citation:** Eremin D.I., Lubimova A.V., Eremina D.V. Evaluation of the oats varietal reaction to soil drought by the chlorophyll index // Bulliten KrasSAU. 2023;(11): 87–97. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-87-97.

**Acknowledgments:** the work has been carried out with the support of the Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the State Assignment of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (topic № 122011300103-0) and with the support of the West Siberian Interregional world-class Scientific and Educational Center.

**Введение.** Многолетний мониторинг погодных условий в основных сельскохозяйственных зонах планеты показывает общую тенденцию сокращения частоты проявления засух с одновременным увеличением их продолжительности [1]. Почвенные засухи – результат дефицита осадков на протяжении нескольких лет, что характерно для глобального изменения климата планеты. Ситуацию усугубляет и нерациональная сельскохозяйственная деятельность человека, приводящая к быстрой потере влаги из почвы при интенсивной эксплуатации пашни. Засуха стала проблемой не только степных регионов, но и для более северных широт. В последние десятилетия почвенные засухи стали регистрироваться в подтаежной и таежной зонах.

Наибольший вред для зерновых культур наносят засухи, возникающие в период с мая по июль, когда идет закладка урожая и его формирование. Как показала практика, урожайность зерновых культур, пострадавших от засухи в период кущения, снижается на 30–50 %, несмотря на обилие осадков в более поздние периоды развития [2]. Серьезный вред наносит

засуха в период цветения и налива зерна – потери урожая высоки, как в более ранний период, но и они ощутимы для сельского хозяйства. Учеными разработаны агротехнические методы снижения стресса зерновых культур от дефицита почвенной влаги, но они значительно уступают в эффективности по сравнению с внедрением засухоустойчивых сортов, у которых стресс от дефицита влаги минимален. Создание таких сортов – задача крайне сложная. Особенно это касается овса, селекция которого десятилетиями была направлена на повышение урожайности в условиях достаточного увлажнения [3]. Поэтому в современном мире возникла необходимость создания новых сортов овса, обладающих признаками «ксероморфности», без потери урожайности и качества зерна.

Оценка уровня засухоустойчивости овса требует больших материальных и временных затрат. Поэтому исследования такого типа лучше проводить в условиях модельного опыта и с использованием средств ранней диагностики. Это позволит значительно ускорить процедуру отбора родительских форм и перспективных се-

лекционных линий в рамках маркер-ориентированной селекции. Выделившиеся засухоустойчивые генотипы можно будет использовать в последующих гибридизациях или для более глубокого изучения на биохимическом, физиологическом и генетическом уровнях. Результат таких исследований даст понимание принципов формирования устойчивости растений к засухам на разных этапах онтогенеза и тем самым позволит подготовиться к дальнейшей аридизации сельскохозяйственной зоны планеты.

Одной из показательных характеристик состояния растения и его реакции на стрессовые условия можно считать содержание хлорофилла – пигмента, который улавливает энергию фотона и передает ее на пластохиноны и белковые вещества [4].

В современной методологии определения содержания хлорофилла в растениях используют два методических подхода – *in vitro* и *in vivo*. Первый метод подразумевает разрушение растения для экстракции хлорофилла органическими растворителями с последующим фотометрированием оптической плотности раствора. К недостаткам этого метода следует отнести: длительность и сложность анализа; невозможность проследить динамику концентрации хлорофилла в конкретном растении. Плюсом *in vitro* является количественная характеристика и возможность деления хлорофилла по типам А и В. Для экспресс-диагностики (*in vivo*) характерна высокая скорость определения, точность и воспроизводимость полученных результатов. При изучении динамики содержания хлорофилла на протяжении всего онтогенеза растения использование хлорофиллометров (N-тестеров) дает возможность исследователям максимально быстро получить данные о содержании в листьях хлорофилла, не нарушая их биохимические реакции и физиологическое развитие. В основе экспресс-диагностики лежит способность растения поглощать и пропускать све-

товой поток определенной длины волны – 650 и 940 нм, при этом растение не получает никаких травм и продолжает развиваться дальше. К недостаткам метода *in vivo* следует отнести выдачу результата в относительных величинах, но эта проблема уже решена путем проведения широкомасштабных исследований на разных культурах и выявлением соответствующих коэффициентов для перерасчета на содержание хлорофилла и азота [5]. В настоящее время проведено много исследований, доказавших высокую корреляцию между показаниями прибора Konica Minolta Spad 502 и общим содержанием хлорофилла в листьях [6–8]. Поэтому экспресс-диагностика наиболее удобна для изучения реакции растений на почвенную засуху, так как она позволяет уловить биохимические изменения в растительных клетках при проявлении стресса, вызванного абиотическими факторами.

**Цель исследования** – оценка применения значений хлорофиллового индекса, полученных при экспресс-диагностике в отборе перспективных генотипов для селекции засухоустойчивых сортов овса.

**Объекты и методы.** Исследование проводили в НИИСХ Северного Зауралья – филиале Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук с 2020 по 2022 г. Модельный опыт по изучению влияния стресса от почвенной засухи в период кущения и цветения на индекс хлорофилла в листьях овса был поставлен в летней неотапливаемой теплице. Искусственное освещение не применяли. В опыте использовали 40 сортов овса посевного (*Avena sativa* L.) российской селекции, которые были выбраны из собственной коллекции, высеваемой в НИИСХ Северного Зауралья. За три года исследования состав сортов не менялся. Все семена проходили соответствующую сортировку для получения однородных морфометрических показателей.

Таблица 1

**Перечень исследуемых сортов овса**

Сорт	Разновидность	Сорт	Разновидность
1	2	3	4
Юбиляр	<i>mutica</i>	Песец	<i>mutica, aristata</i>
Баргузин	<i>mutica</i>	Борец	<i>mutica</i>
Овен	<i>mutica</i>	Дедал	<i>mutica, aristata</i>
Аватар	<i>aurea</i>	Орион	<i>mutica</i>
Фауст	<i>mutica</i>	Талисман	<i>mutica</i>
Ассоль	<i>mutica</i>	Покровский 9	<i>aristata</i>

1	2	3	4
Десант	<i>aristata</i>	Виленский	<i>mutica</i>
Горизонт	<i>mutica</i>	КРОСС	<i>mutica</i>
Львовский 82	<i>mutica</i>	Таужник	<i>aurea</i>
ЗАЛП	<i>mutica, aurea</i>	Нарымский 943	<i>mutica</i>
Привет	<i>aurea</i>	Черниговский 83	<i>aurea</i>
Новосибирский 5	<i>mutica</i>	Тигровый	<i>cinerea</i>
Факел	<i>aristata</i>	Передовик	<i>brunnea</i>
Иртыш 13	<i>mutica</i>	Экспресс	<i>cinerea</i>
Егорыч	<i>obtusata</i>	Сиг	<i>aristata</i>
Аргумент	<i>aristata</i>	Мегион	<i>mutica</i>
Ровесник	<i>obtusata</i>	Конкур	<i>mutica</i>
Чиж	<i>aurea</i>	Буланый	<i>mutica</i>
Тубинский	<i>mutica</i>	Уран	<i>aristata</i>
Львовский	<i>mutica</i>	Улов	<i>mutica</i>

Перед посевом семена обрабатывали протравителем «Ламадор» со следующим действующим веществом: 250 г/л протиоконазол, 150 г/л тебуконазол. Норма расхода – 0,02 мл препарата на 100 г зерна, что соответствует 0,2 л/т [9].

Овес выращивали в пластиковых ящиках размером 40 × 30 и высотой 20 см. Общий объем ящика был равен 24 л. В качестве грунта использовали обычную землю, взятую из пахотного слоя опытного поля НИИСХ Северного Зауралья. Земля характеризовалась среднесуглинистым иловато-пылеватым гранулометрическим составом. Агрохимические и физико-химические свойства соответствовали серой лесной почве Северного Зауралья [10, 11]. Подготовка земли для модельного опыта предусматривала внесение азотно-фосфорных удобрений в дозе  $N_{60}P_{20}$  кг/га, рекомендованной для получения урожайности 3,0 т/га [12]. В опыте использовали обычную водопроводную воду с рН 7,6. Первоначальное насыщение вели до уровня 80 % от полевой влагоемкости для ускорения уплотнения земли в ящиках до оптимальных значений (1,2 г/см<sup>3</sup>).

В ящиках равномерно высевали по 30 семян на глубину 7 см. Через 5 сут проводили подсчет взошедших растений и убирали отстающие в росте растения. Через две недели проводили повторный осмотр всходов, после которого оставляли 25 хорошо развитых растений. Это соответствовало густоте стояния овса 200 шт/м<sup>2</sup> к началу уборочных работ.

Почвенную засуху создавали путем прекращения полива и естественным понижением влажности почвы до 30–35 % от полевой вла-

гоемкости, контролируя по влажности земли. В опыте моделировали два варианта засухи – в период кущения овса и во время его цветения. До наступления указанных фенологических фаз овес регулярно поливали 1 раз в 7 дней. За неделю до выбранных фенологических фаз (начало кущения и выметывание овса) полив прекращали на 14-е сут.

В качестве контроля использовали растения тех же сортов, выращиваемые в идентичных условиях, но при отсутствии дефицита почвенной влаги. Полив в контрольном варианте осуществляли еженедельно, поддерживая влажность в диапазоне 70–80 % предельно полевой влагоемкости. Модельный опыт проводили в трехкратном повторении. Все ящики с овсом находились в одной теплице, что обеспечивало единые условия микроклимата. В период вегетации овса теплица постоянно проветривалась, чтобы не допустить повышения атмосферной влажности свыше 60 % и температуры воздуха более 30 °С.

В опыте использовали хлорофиллометр (N-тестер) Konica Minolta SPAD-502 производства Konica Minolta (Япония) [13]. Определение хлорофиллового индекса проводили на 10-е сут после прекращения полива, когда все растения в ящиках полностью достигали соответствующих фенологических фаз (кущение и цветение). Сбор данных проводили на протяжении трех суток в первой половине дня. С каждого растения в ящике снимали показания прибора не менее чем в 5 точках листовой поверхности, избегая участков с явными механическими повреж-

дениями и очагами болезней. Тем самым объем выборки данных в каждом ящике за три дня составил 375 значений (25 растений × 5 точек измерений × 3 дня). Измерения в контроле и вариантах с почвенной засухой проводили с минимальным временным разрывом (не более 30 мин). Съемка показателей с помощью прибора проводилась без травмирования листовой поверхности.

Достоверность результатов исследования оценивали по критерию Стьюдента. Дисперсионный и статистический анализ вели с помощью пакета программ MS Excel и Statistica 6.0.

**Результаты и их обсуждение.** Содержание хлорофилла зависит не только от генотипа растений, но и от внешних условий, при которых они развиваются [14]. В зависимости от таких факторов, как погода, болезни, минеральное питание и влагообеспеченность, количество хлорофилла в листьях и его активность существенно варьирует. Это становится причиной недобора урожайности и ухудшения качества получаемой продукции [15]. Также следует учитывать, что в ходе онтогенеза содержание хлорофилла в листьях постепенно уменьшается, что обусловлено физиологическим старением растения.

Хлорофилловый индекс в период кущение – выход в трубку в среднем по изучаемой коллек-

ции составил 54,5 ед. с варьированием от 46,0 (Сиг, Иртыш 13) до 64,1 ед. (Тигровый). Стресс, вызванный почвенной засухой в фазу кущения, негативно отразился на содержании хлорофилла в листьях овса. Хлорофилловый индекс уменьшился в среднем по коллекции на 13,4 %, достигнув 47,1 ед. Размах вариации сократился с 18 до 10 ед., что обуславливает общую негативную реакцию овса на засуху в период кущения.

Наименее подверженными стрессу от засухи в период кущения оказались сорта Сиг, КРОСС, Чиж, Привет, Передовик, Улов, Новосибирский 5, Баргузин, Ассоль, Горизонт, Фауст и Львовский 82. Снижение хлорофиллового индекса у этих сортов было минимальным и варьировало от 6,1 до 8,7 % относительно контроля.

В коллекции были отмечены сорта, которые характеризовались максимальным снижением хлорофиллового индекса относительно контроля. Это свойственно генотипам, в которых устойчивость к засухе не закреплена на генетическом уровне. В группу таких сортов входят Экспресс, Песец, Покровский 9, Дедал, Десант, Таежник, Борец. Снижение хлорофиллового индекса составило 20,7–26,7 % относительно варианта с регулярным поливом.

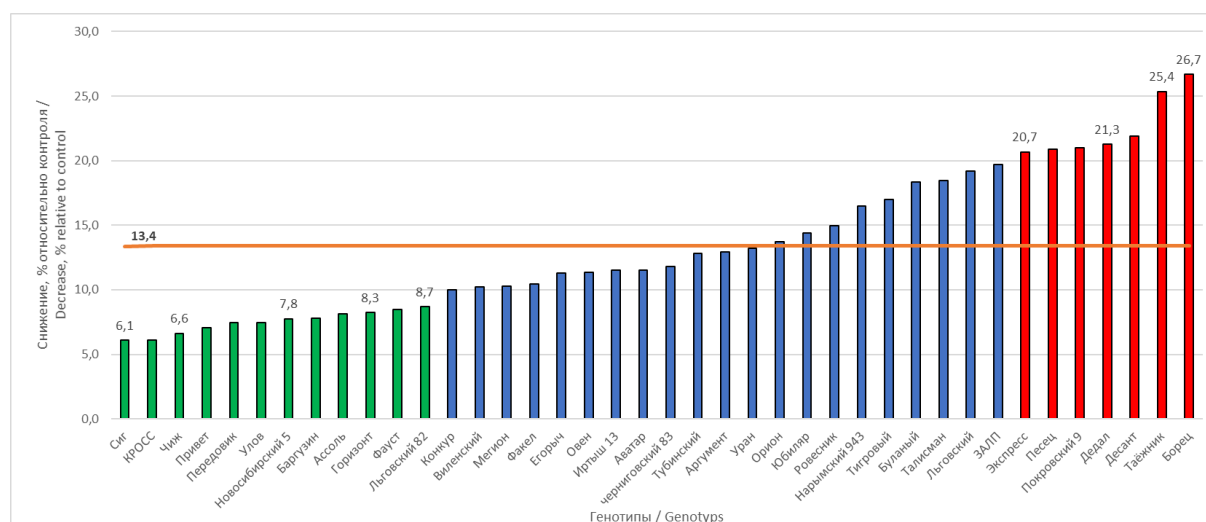


Рис. 1. Снижение хлорофиллового индекса (Chlorophyll Index) в результате стресса от засухи в период кущения, % от контроля (2020–2022 гг.) (линия здесь и далее – среднее для выборки снижение показателя по коллекции)

К фазе молочной спелости происходит достоверное снижение хлорофиллового индекса ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{теор.}}$ ), что вызвано естественными физиологическими процессами [16]. У отдельных

сортов (Борец, Передовик и Талисман) содержание хлорофилла в контроле уменьшилось на 40–50 % относительно кущения. Другие же сорта (Черниговский 83 и Львовский 82), напротив, в

период от выхода в трубку до молочной спелости увеличили содержание хлорофилла в листьях на 8 и 11 % соответственно. В среднем по коллекции хлорофилловый индекс к фазе молочной спелости уменьшился до 44,3 ед. с варьированием от 29,9 до 57,5 ед. в сравнении с кущением.

Почвенная засуха в период цветения оказала достоверное влияние на содержание хлорофилла в листьях овса. В среднем по коллекции снижение составило 7,8 % относительно контроля. Это в 1,7 раза меньше общего снижения от стресса, вызванного засухой в период кущения. Данный факт подтверждает, что поздние засухи имеют меньший негативный эффект. Снижение

индекса хлорофилла в целом по коллекции варьировало от 3,7 до 14,7 %.

В результате почвенной засухи в период цветения у сортов Передовик, Сиг, Чиж Конкур, Баргузин, Горизонт, Привет, КРОСС, Аватар, Егорыч было зафиксировано минимальное снижение хлорофиллового индекса – 3,7–5,1 % относительно контроля. Это доказывает высокую устойчивость данных сортов к стрессу к поздней засухе.

В ходе проведения опыта были выявлены сорта, у которых хлорофилловый индекс от засухи во время их цветения уменьшился на 10,6–14,7 %. К ним относятся: Залп, Таежник, Льговский, Борец, Дедал, Экспресс, Покровский 9, Нарымский 943, Песец.

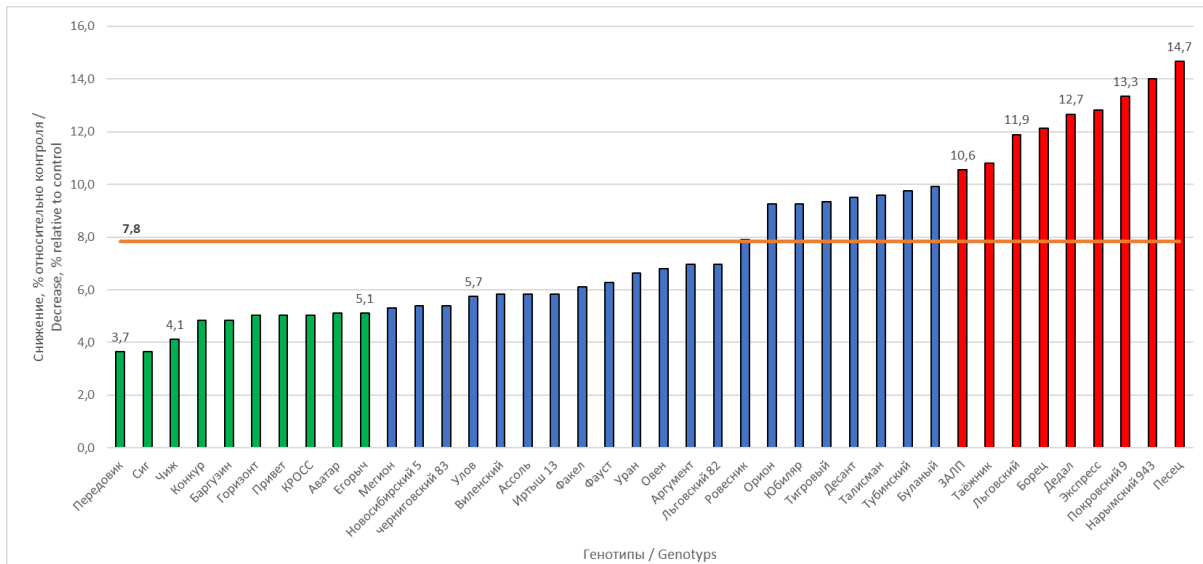


Рис. 2. Снижение хлорофиллового индекса в результате стресса от засухи в период цветения, % от контроля (2020–2022 гг.)

Анализ показал, что на контроле в среднем по коллекции биомасса одного растения при полном созревании составила 8,4 г с варьированием от 5,1 до 15,9 г. Были выделены сорта Нарымский 943, Новосибирский 5, Ровесник, Экспресс, Льговский, Льговский 82, Иртыш 13, биомасса которых при отсутствии засухи составляла 10,3–15,9 г. На долю генотипов с минимальной биомассой, составлявшей менее 7,0 г, приходилось 35 % коллекции.

Моделирование почвенной засухи в период кущения показало, что биомасса одного растения в фазу полной зрелости по коллекции овса в среднем уменьшилась на 15 % с диапазоном варьирования от 2 до 20 %. В группу сортов с минимальным снижением биомассы (до 10 %) в

результате воздействия почвенной засухи вошли: Льговский 82, Привет, КРОСС, Передовик, Ассоль, Улов, Новосибирский 5 и Сиг. Столь незначительное снижение не является критичным для овса и может служить обоснованием выбора этих генотипов в качестве родительских форм при создании засухоустойчивых сортов.

Группу с максимальным снижением биомассы (19 % и более) составили следующие генотипы: Покровский 9, Тигровый, Аватар, Талисман, Экспресс, Нарымский 943, Орион, Буланый, Тубинский. Сорт Таежник характеризовался максимальным снижением биомассы относительно всей коллекции – 26 % при среднем снижении по всей коллекции 15 %.

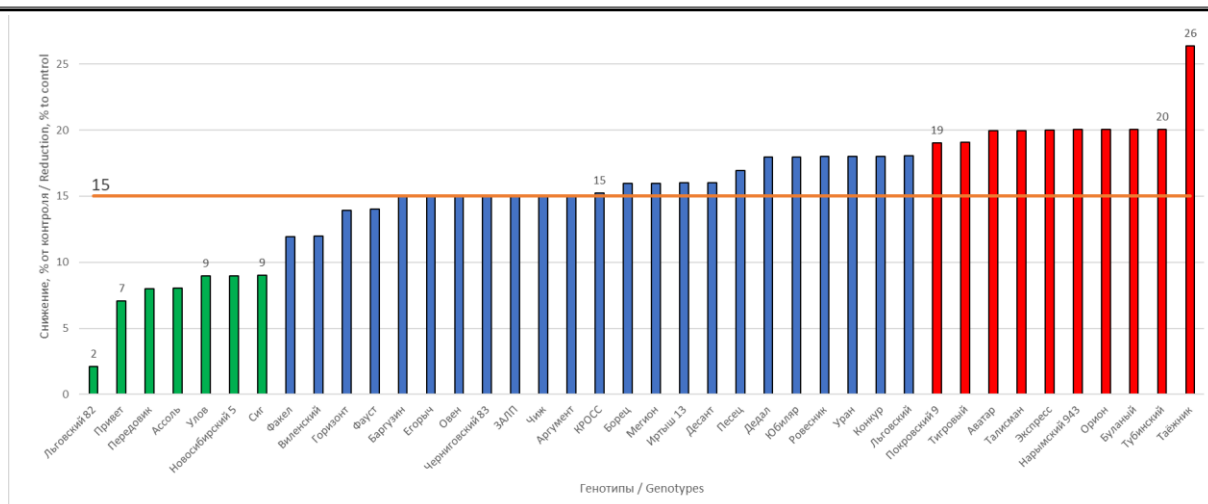


Рис. 3. Снижение биомассы овса при почвенной засухе в период кущения, % от контроля (2020–2022 гг.)

Стресс, вызванный почвенной засухой во время цветения, оказал более существенное влияние, чем в период кущения. Биомасса одного растения в среднем по коллекции уменьшилась на 23 % с варьированием в диапазоне от 13 до 37 %. Данный факт указывает на то, что овес наиболее сильно реагирует на почвенную засуху во второй половине своего развития. К аналогичному выводу пришли и другие исследователи [17, 18].

Расчет степени снижения биомассы овса при возникающем стрессе от почвенной засухи в период цветения выявил группу сортов с минимальным снижением. В нее вошли следующие генотипы: Привет, Новосибирский 5, КРОСС, Ассоль, Улов, Льговский 82, Сиг, Передовик. Сни-

жение биомассы варьировало от 13 до 15 %, тогда как эти же сорта под действием засухи в период кущения уменьшали свою массу на 2–9 %. Эта группа занимает 20 % от всей коллекции.

Наиболее уязвимыми оказались сорта Тигровый, Таежник, Экспресс, Покровский 9, КРОСС, Буланный, Десант и Льговский. Снижение их биомассы от засухи в цветение варьировало от 31 до 37 %, что в максимальной степени может отразиться на продуктивности этих сортов в засушливых условиях. Эти же сорта оказались неустойчивыми к стрессу, вызванному почвенной засухой в период кущения. Поэтому их нельзя рекомендовать в качестве родительских форм при селекции засухоустойчивых сортов.

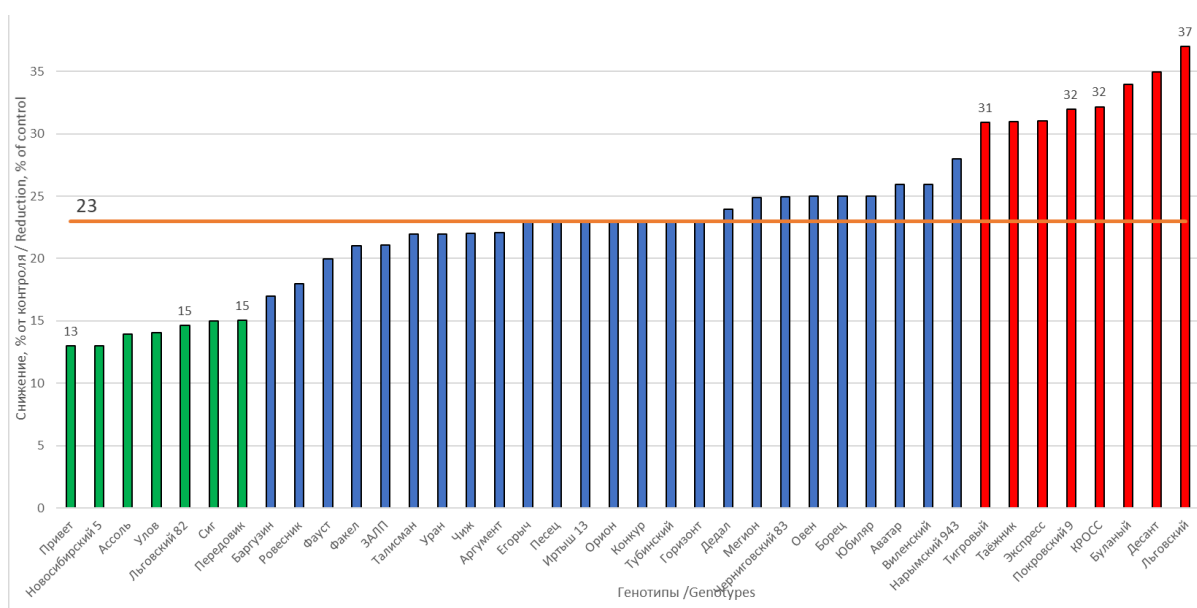


Рис. 4. Снижение биомассы овса при почвенной засухе в период цветения, % от контроля (2020–2022 гг.)

Физиологическое состояние растений на уровне биохимических реакций зависит от множества прямых и косвенных воздействий факторов внешней среды, что затрудняет выявление корреляции между изучаемыми показателями и хлорофиллом. Исследования А.Г. Буховец, М.В. Кучеренко и Е.А. Семина показали, что корреляция между урожайностью и физиологическими показателями развития зерновых культур недостаточно тесная [19]. Аналогичное проявление было зафиксировано и в наших опытах – коэффициент корреляции между биомассой овса и содержанием хлорофилла при отсутствии стресса, вызываемого почвенными засухами, был минимальным – 0,02–0,07, в зависимости от года исследования и этапа онтогенеза. Расчет корреляции между показателями относительного изменения содержания хлорофилла под действием почвенной засухи и биомассой растений показал отрицательную среднюю связь для варианта с почвенной засухой в период кущения –  $r = -0,65$  при статистической значимости  $p \leq 0,05$ . На варианте, где стресс вызывался засухой во время цветения овса, коэффициент корреляции был ниже –  $r = -0,55$  ( $p \leq 0,05$ ). Причиной снижения величины коэффициента корреляции может быть наложение эффектов влияния стресса и естественного физиологического старения хлоропластов, обусловленного сортавыми особенностями овса. Аналогичный эффект был детально описан в монографии Ю.Е. Андриановой, И.А. Торчевского [20].

Таким образом, использование хлорофиллового индекса не дает точного прогноза формирования урожайности овса, но может служить показателем степени стресса растений, вызванного различными абиотическими факторами.

Дисперсионный анализ выявил сортовую особенность реакции на стресс, вызванный почвенной засухой. В ходе вегетационных опытов было установлено, что хлорофилловый индекс на 46 % зависит от генотипа овса (фактор А) и на 35 % от стресса, вызванного почвенной засухой (фактор В), при  $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$  ( $p = 0,05$ ). Влияния времени проявления засухи (фактор С) было недостоверно –  $F_{\text{факт.}} < F_{\text{теор.}}$  при  $p = 0,05$  уровне значимости.

Анализ взаимодействия выявил сортовую реакцию на почвенную засуху – взаимодействие АВ составило 10 %, что указывает на общую закономерность проявления стресса изучаемых сортов овса на засушливые условия. Взаимо-

действие факторов ВС и АВС было минимальным – 4 и 7 % при  $F_{\text{факт.}} > F_{\text{теор.}}$ .

Проведенные корреляционный и дисперсионный анализы выявили наличие сортов, имеющих высокую устойчивость к почвенным засухам, что дает возможность дальнейшего изучения генетической устойчивости овса и использования их в селекционных программах для создания засухоустойчивых сортов. В качестве экспресс-метода оценки реакции сортов овса на засуху оправдано использование хлорофиллового индекса, определяемого прибором Konica Minolta SPAD 502.

**Заключение.** В ходе трехлетних модельных опытов установлено, что овес наиболее сильно реагирует на почвенную засуху, которая проявляется во второй половине вегетации. Среди изучаемой коллекции были выделены генотипы с минимальным снижением хлорофиллового индекса под действием стресса, вызываемого почвенными засухами в кущение и цветение. К наиболее устойчивым сортам относятся: Передовик, Сиг, Чиж, КРОСС, Горизонт, Привет, Баргузин. Хлорофилловый индекс их снижался на 6,1–8,7 % при засухе во время кущения и на 3,7–5,1 % – в цветение при среднем снижении по коллекции 13,0 и 7,8 % соответственно. Сорта Покровский 9, Тигровый, Таежник, Аватар, Талисман, Экспресс, Нарымский 943, Орион, Буланный, Тубинский характеризовались максимальным снижением хлорофиллового индекса при почвенных засухах, что делает их перспективным для селекции засухоустойчивых сортов.

Биомасса коллекции овса, которая подвергалась засухе в период кущения, уменьшилась на 15 %. Воздействие засухи в более поздний период вызвало снижение биомассы на 23 % по коллекции. Сорта Льговский 82, Привет, Передовик, Ассоль, Улов, Новосибирский 5 и Сиг снизили биомассу на 2–9 и 13–15 % соответственно.

Корреляционная связь между хлорофилловым индексом и биомассой овса при отсутствии стресса (контроль) отсутствовала – коэффициент корреляции варьировал в пределах 0,02–0,07, что доказывает неэффективность использования хлорофиллового индекса для прогнозирования урожайности. Выявлена отрицательная средняя связь между биомассой овса и относительными изменениями содержания хлорофилла, вызванными стрессом от засухи в период



кущения ( $r = -0,65$ ) и цветения ( $r = -0,55$ ). Хлорофилловый индекс может быть использован для выявления реакции овса на почвенные засухи в процессе селекции засухоустойчивых сортов. Данный показатель на 46 % зависит от генотипа и на 35 % от стресса, вызванного почвенной засухой.

#### Список источников

1. Золотокрылин А.Н. Глобальное потепление, опустынивание/деградация и засухи в аридных регионах // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. № 1. С. 3–13. DOI: 10.31857/S2587-5566201913-13. EDN SUQYVG.
2. Воложанина Е.Н., Баталова Г.А. Урожайность и адаптивные свойства сортов пленчатого овса в Волго-Вятском регионе // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (173). С. 31–36. EDN IHVLJR.
3. Любимова А.В., Мамаева В.С., Менщикова А.А. Генетическая засухоустойчивость современных сортов овса посевного как ответ глобальному изменению климата // Аграрный вестник Урала. 2022. № 6 (221). С. 49–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59. EDN EWBFEU.
4. Тютерева Е.В., Муртузова А.В., Войцеховская О.В. Автофагия и энергетический статус растительной клетки // Физиология растений. 2022. Т. 69, № 2. С. 115–131. DOI: 10.31857/S001533032202021X. EDN EQQAYY.
5. Щуклина О.А., Афанасьев Р.А. Применение фотометрических приборов для экспресс-диагностики азотного питания сельскохозяйственных растений в ранние фазы вегетации // Агрехимический вестник. 2022. № 2. С. 73–77. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-2-014. EDN LBKMHN.
6. Ibrahim M.H., Jaafar H.Z.E., Relationship between extractable chlorophyll content and SPAD values in three varieties of kacang fatimah under greenhouse conditions // J. Plant Nutr. 2013. № 36: P. 1366–1368. DOI: 10.1080/01904167.2013.792836.
7. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings / J. Uddling [et al.] // Photosynth. Res. 2007. № 91: P. 37–39. DOI: 10.1007/s11120-006-9077-5.
8. Зейслер Н.А., Бахтенко Е.Ю., Карсункина Н.П. Структурно-функциональные особенности видов овса в связи с устойчивостью к засухе // Ученые записки Орловского государственного университета. Сер. «Естественные, технические и медицинские науки». 2010. № 4. С. 86–91. EDN NDPJLX.
9. Тимофеев В.Н. Приемы комплексной защиты ярового ячменя в условиях Северного Зауралья / НИИСХ СЗ – филиал ТюмНЦ СО РАН. Тюмень: Печатник, 2020. 52 с. EDN IDCLBK.
10. Каюгина С.М., Еремин Д.И. Физико-химические свойства серых лесных почв восточной окраины Зауральского Плато // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. «Биология». 2022. Т. 15, № 4. С. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399. EDN YOCLPO.
11. Котченко С.Г., Еремина Д.В. Агрогенные изменения химических свойств темно-серых лесных почв Северного Зауралья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 10 (192). С. 42–50. EDN UENUMQ.
12. Еремин Д.И., Моисеева М.Н., Еремина Д.В. Урожай и качество зерна овса при различном уровне минерального питания // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36, № 9. С. 48–54. DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_9\_48. EDN TFFMQS.
13. Ali K.A., Noraldeem S.S., Yaseen A.A. An evaluation study for chlorophyll estimation techniques. 2021. Vol 37, Iss. 4. P 1098-1499. DOI: 10.17582/journal.sja/2021/37.4.1458.1465.
14. Yang B. Identification of genetic loci affecting flag leaf chlorophyll in wheat grown under different water regimes / Bin Yang [et al.] // Frontiers in Genetics. 2022. Vol. 13. DOI: 10.3389/fgene.2022.832898.
15. Костюк В.И. Хлорофилльный индекс и сбор протеина в северных агроценозах овса // Агрехимия. 2015. № 10. С. 57–62. EDN UMXXBZ.
16. Functional condition of photosystem II in leaves of spring oats during autumnal decrease in temperature. / V.E. Sofronova [et al.] // Russian Journal of Plant Physiology. 2020. № 67 P. 661–670. DOI: 10.1134/S1021443720030206.
17. Mitigating the negative effect of drought stress in oat (*Avena sativa* L.) with silicon and sulphur foliar fertilization / E. Kutasy [et al.] // Plants.

- 2022; № 11(1), P. 30. DOI: 10.3390/plants 11010030.
18. Кочнева Д.А., Любимова А.В., Еремин Д.И. Сортовая реакция овса Тюменской селекции на контрастные погодные условия Северного Зуралья // Проблемы селекции-2022: тез. докл. междунар. науч. конф. (Москва, 12–15 октября 2022 г.) / Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К.А. Тимирязева. М., 2022. С. 35. EDN YVKVOB.
  19. Буховец А.Г., Кучеренко М.В., Семин Е.А. Прогнозирование урожайности зерновых культур с помощью динамической модели нормализованного относительного индекса растительности, учитывающей физиологические особенности развития сельскохозяйственных растений // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. № 14 (70) С. 93–104. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2021\_3\_93. EDN: CTUDKL.
  20. Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. Хлорофилл и продуктивность растений. М.: Наука, 2000. 135 с. EDN ZVJDOH.
  5. Schuklina O.A., Afanas'ev R.A. Primenenie fotometricheskikh priborov dlya `ekspress-diagnostiki azotnogo pitaniya sel'skohozyajstvennyh rastenij v rannie fazy vegetacii // Agrohimi-cheskij vestnik. 2022. № 2. S. 73–77. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-2-014. EDN LBKMHN.
  6. Ibrahim M.H., Jaafar H.Z.E., Relationship between extractable chlorophyll content and SPAD values in three varieties of kacip fatimah under greenhouse conditions // J. Plant Nutr. 2013. № 36: P. 1366–1368. DOI: 10.1080/01904167.2013.792836.
  7. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings / J. Uddling [et al.] // Photosynth. Res. 2007. № 91: P. 37–39. DOI: 10.1007/s11120-006-9077-5.
  8. Zejsler N.A., Bahtenko E.Yu., Karsunkina N.P. Strukturno-funkcional'nye osobennosti vidov ovsa v svyazi s ustojchivost'yu k zasuhe // Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. «Estestvennye, tehniicheskie i medicinskie nauki». 2010. № 4. S. 86–91. EDN NDPJLX.
  9. Timofeev V.N. Priemy kompleksnoj zaschity yarovogo yachmenya v usloviyah Severnogo Zaural'ya / NIISH SZ - filial TyumNC SO RAN. Tyumen': Pechatnik, 2020. 52 s. EDN IDCLBK.
  10. Kayugina S.M., Eremin D.I. Fiziko-himicheskie svojstva seryh lesnyh pochv vostochnoj okrainy Zaural'skogo Plato // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Ser. «Biologiya». 2022. T. 15, № 4. S. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399. EDN YOCLPO.
  11. Kotchenko S.G., Eremina D.V. Agrogennye izmeneniya himicheskikh svojstv temno-seryh lesnyh pochv Severnogo Zaural'ya // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 10 (192). S. 42–50. EDN UENUMQ.
  12. Eremin D.I., Moiseeva M.N., Eremina D.V. Urozhaj i kachestvo zerna ovsa pri razlichnom urovne mineral'nogo pitaniya // Dostizheniya nauki i tehniki APK. 2022. T. 36, № 9. S. 48–54. DOI: 10.53859/02352451\_20\_22\_36\_9\_48. EDN TFFMQS.
  13. Ali K.A., Noraldeen S.S., Yaseen A.A. An evaluation study for chlorophyll estimation techniques. 2021. Vol 37, Iss. 4. P 1098–1499. DOI: 10.17582/journal.sja/2021/37.4.1458.1465.

### References

1. Zolotokrylin A.N. Global'noe poteplenie, opustynivanie/degradaciya i zasuhi v aridnyh regionnah // Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2019. № 1. S. 3–13. DOI: 10.31857/S2587-5566201913-13. EDN SUQYVG.
2. Vologzhanina E.N., Batalova G.A. Urozhajnost' i adaptivnye svojstva sortov plenchatogo ovsa v Volgo-Vyatskom regione // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 3 (173). S. 31–36. EDN IHVLJR.
3. Lyubimova A.V., Mamaeva V.S., Menschikova A.A. Geneticheskaya zasuhoustojchivost' sovremennyh sortov ovsa posevnogo kak otvet global'nomu izmeneniyu klimata // Agrarnyj vestnik Urala. 2022. № 6 (221). S. 49–59. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-49-59. EDN EWBFEU.
4. Tyutereva E.V., Murtuzova A.V., Vojcehovskaya O.V. Avtofagiya i `energeticheskij status rastitel'noj kletki // Fiziologiya rastenij. 2022. T. 69, № 2. S. 115–131. DOI: 10.31857/S00153 3032202021X. EDN EQQAYY.

14. Yang B. Identification of genetic loci affecting flag leaf chlorophyll in wheat grown under different water regimes / Bin Yang [et al.] // *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13. DOI: 10.3389/fgene.2022.832898.
15. Kostyuk V.I. Hlorofill'nyj indeks i sbor proteina v severnyh agrocenozah ovsa // *Agrohimiya*. 2015. № 10. S. 57–62. EDN UMXXBZ.
16. Functional condition of photosystem II in leaves of spring oats during autumnal decrease in temperature. / V.E. Sofronova [et al.] // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2020. № 67 P. 661–670. DOI: 10.1134/S1021443720030206.
17. Mitigating the negative effect of drought stress in oat (*Avena sativa* L.) with silicon and sulphur foliar fertilization / E. Kutasy [et al.] // *Plants*. 2022; № 11(1), P. 30. DOI: 10.3390/plants11010030.
18. Kochneva D.A., Lyubimova A.V., Eremin D.I. Sortovaya reakciya ovsa Tyumenskoj selekcii na kontrastnye pogodnye usloviya Severnogo Zaural'ya // *Problemy selekcii – 2022: tez. dokl. mezhdunar. nauch. konf. (Moskva, 12–15 oktyabrya 2022 g.) / Ros. gos. agrar. un-t – MSHA im. K.A. Timiryazeva. M., 2022. S. 35. EDN YVKVOB.*
19. Buhovec A.G., Kucherenko M.V., Semin E.A. Prognozirovanie urozhajnosti zernovyh kul'tur s pomosh'yu dinamicheskoy modeli normalizovannogo odnositel'nogo indeksa rastitel'nosti, uchityvayuschej fiziologicheskie osobennosti razvitiya sel'skohozyajstvennyh rastenij // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. № 14 (70) S. 93–104. DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2021\_3\_93. EDN: CTUDKL.
20. Andrianova Yu.E., Tarchevskij I.A. Hlorofill i produktivnost' rastenij. M.: Nauka, 2000. 135 s. EDN ZVJDOH.

Статья принята к публикации 24.10.2023 / The article accepted for publication 24.10.2023.

Информация об авторах:

**Дмитрий Иванович Еремин**<sup>1</sup>, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве, доктор биологических наук, доцент

**Анна Валерьевна Любимова**<sup>2</sup>, заведующая лабораторией геномных исследований в растениеводстве, кандидат биологических наук

**Диана Васильевна Еремина**<sup>3</sup>, доцент кафедры математики и информатики, кандидат сельскохозяйственных наук

Information about the authors:

**Dmitry Ivanovich Eremin**<sup>1</sup>, Leading Researcher at the Laboratory of Genomic Research in Plant Growing, Doctor of Biological Sciences, Docent

**Anna Valerievna Lyubimova**<sup>2</sup>, Head of the Laboratory of Genomic Research in Plant Growing, Candidate of Biological Sciences

**Diana Vasilievna Eremina**<sup>3</sup>, Associate Professor of the Department of Mathematics and Computer Science, Candidate of Agricultural Sciences

