

УДК 633.11:631.445.53

DOI: 10.33284/2658-3135-104-3-138

**Особенности формирования морфологических признаков проростков и активность ферментов яровой мягкой пшеницы на фоне индуцированного солевого стресса**

*И.Н. Бесалиев, А.Л. Панфилов, Н.С. Рeger*

*Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)*

**Резюме.** Нарастание засушливости в результате климатических изменений усиливает отрицательное влияние засоления почв на формирование продуктивности сельскохозяйственных культур. В этих условиях важно выявление сортовой устойчивости к губительному воздействию содержания солей, в частности, хлорида натрия и сульфата аммония. В статье приводятся результаты изучения реакции сортов яровой мягкой (*Triticum aestivum* L.) и твёрдой (*Triticum durum* L.) пшеницы по показателям всхожести и морфологических признаков проростков в лабораторных условиях на варианты хлоридного (NaCl – 150 мМ) и сульфатного (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 80 мМ) засоления. Также приведены данные по содержанию хлорофилла и антиоксидантного фермента каталаза в опыте по проращиванию семян в почвенном грунте при тех же вариантах засоления. При засолении сульфатного типа отмечено негативное влияние на содержание хлорофилла, фермента каталаза, массу и длину ростков. Всхожесть и энергия прорастания семян изученных сортов существенно не изменялись, за исключением сорта твёрдой пшеницы Золотая в варианте сульфатного засоления. По результатам исследований активность фермента каталаза выше у проростков изученных сортов мягкой пшеницы Учитель и Оренбургская 30.

**Ключевые слова:** зерновые, сорта зерновых, почвы, хлоридное засоление, сульфатное засоление, всхожесть семян, хлорофилл, морфологические признаки.

UDC 633.11:631.445.53

**Peculiarities of formation of morphological characters and the activity of enzymes in spring wheat seedlings the background of induced salinity stress**

*Ishen N Besaliev, Alexander L Panfilov, Nelly S Reger*

*Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)*

**Abstract.** The increase in aridity as a result of climate changes increases the negative impact of soil salinization on the formation of crop productivity. Under these conditions, it is important to identify varietal resistance to the harmful effects of salt content, in particular, sodium chloride and ammonium sulfate. The article presents the results of studying the reaction of spring soft (*Triticum aestivum* L.) and hard (*Triticum durum* L.) wheat varieties in terms of germination and morphological characteristics of seedlings under laboratory conditions to the variants of chloride (NaCl – 150 mM) and sulfate (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 80 mM) salinization. The data on the content of chlorophyll and the antioxidant enzyme catalase in the experiment on germination of seeds in the soil under the same salinization options are also given. In the process of sulphate type salinization, a negative effect on the content of chlorophyll, the enzyme catalase, the mass and length of the sprouts was registered. The germination and germination energy of the seeds of the studied varieties did not change significantly, with the exception of durum wheat variety Zolotaya in the variant of sulfate salinization. According to the research results, the activity of the catalase enzyme is higher in the seedlings of the studied varieties of soft wheat Uchitel and Orenburgskaya 30.

**Keywords:** cereals, cereal varieties, soil, chloride salinity, sulfate salinity, seed germination, chlorophyll, morphological characteristics.

**Введение.**

Засоление почвы – один из экстремальных факторов, распространённый на очень больших территориях, как в нашей стране, так и во всём мире. Он оказывает негативное влияние на все культивируемые виды растений, степень которого тем больше, чем выше уровень засоления. Отрицательное влияние засоления проявляется в ухудшении многих свойств и функций растений, что в итоге приводит к снижению их продуктивности (Удовенко Г.В., 1977).

Засоление способствует созданию в почве низкого (резко отрицательного) водного потенциала, поэтому поступление воды в растение сильно затруднено (Якушкина Н.И., 1993).

Нарастание климатических изменений с усилением засушливости в сочетании с ростом засоленности почв увеличивает потери урожая зерна (Arif Y et al., 2020).

По оценке В.В. Талановой с коллегами (1993), реакция растений на солевой стресс определяется качеством и степенью засоления, а также обуславливается как осмотическим влиянием растворов солей, так и токсическим действием поглощённых ионов на физико-биохимические процессы.

В исследованиях А.А. Белозеровой и Н.А. Боме (2014) установлено более отрицательное действие на всхожесть семян и морфологические показатели проростков яровой пшеницы карбонатного засоления, чем хлоридного, а в опытах К.У. Куркиева с соавторами (2017) такое действие оказало увеличение концентрации хлоридного засоления от 85 до 165 мМ. Резкое ингибирование ростовых процессов проростков, вплоть до гибели растений возможно также при увеличении концентрации сульфатного ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) засоления, причём проростки угнетались в большей степени, чем корневая система (Хусаинов А.Т., 2014). Авторами вышеприведённых исследований получена сортовая специфичность по проявлению признаков устойчивости.

По данным Г.А. Демиденко (2018), отрицательное действие натриево-хлоридного засоления ( $\text{NaCl}$  – 1,68 %) более выражено при действии на массу побегов (уменьшение в сравнении с контролем на 47,4 %), чем на массу корней (на 40,3 %).

Учитывая, что одним из механизмов защиты от вредного воздействия солей, которые включают выведение токсичных ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ , блокировку транспорта ионов  $\text{Na}^+$  из потока транспирации в исследованиях (Федореева Л.И., 2019) установлено, что у сортов твёрдой и мягкой пшеницы Оренбургская 10 и Оренбургская 22 наблюдается увеличение экспрессии генов семейства НТК в корнях и в листьях в результате солевого стресса с быстрым восстановлением ионного баланса  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  и защитной функцией.

Таким образом, засоление оказывает негативное влияние на формирование морфологических показателей проростков яровой пшеницы, снижает всхожесть семян. В этих условиях необходим поиск сортов, обладающих устойчивостью к неблагоприятным факторам под действием засоления в ранних фазах развития, в стадии формирования проростков.

Ряд авторов допускают возможность сочетания в одном растении таких свойств, как солеустойчивость и продуктивность, т. е. возможность выведения высокопластичных сортов (Жученко А.А., 1994; Кумаков В.А., 1995).

**Цель исследования.**

Изучение всхожести семян, морфологических показателей проростков, содержание фермента каталаза в растениях сортов яровой пшеницы при индуцированном солевом стрессе.

**Материалы и методы исследований.**

**Объект исследования.** Сорты яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Учитель и Оренбургская 30, сорта яровой твёрдой пшеницы (*Triticum durum* L.) Оренбургская 10 и Золотая.

**Схема эксперимента.** Исследования по оценке солеустойчивости сортов яровой пшеницы проводили в отделе технологий зерновых и кормовых культур в 2021 году в 2 этапа:

- 1) проращивание семян между слоями фильтровальной бумаги, смоченной солевыми растворами в растильнях;
- 2) проращивание семян в почвенном грунте в вегетационных сосудах.

Для создания хлоридного засоления использовали 150 мМ (8,7 г/л) раствора NaCl, для сульфатного засоления брали раствор Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с концентрацией 80 мМ (11,4 г/л).

На первом этапе в растильнях между слоями фильтровальной бумаги проводили проращивание семян, обработанных дистиллированной водой (контроль) и растворами солей (опытные варианты). Объём выборки составлял 20 семян в четырёхкратной повторности для каждого варианта. На третий день провели учёт энергии прорастания (у твёрдой пшеницы на 4-й день), на седьмой день (у твёрдой пшеницы на 8-й) – определение всхожести (ГОСТ 12038-84, 1985). Одновременно с определением всхожести проведён подсчёт количества и массы корешков, длины корешков, количества и массы ростков.

На втором этапе в качестве субстрата использовали почвенный грунт, которым заполняли вегетационные сосуды. Семена опытных вариантов в течение 6 часов предварительно замачивали в солевых растворах, контрольные варианты замачивались в дистиллированной воде. Объём выборки – 10 семян в четырёхкратной повторности для каждого варианта. Проращивание семян проводили при комнатной температуре (+24...+26 °С) на рассеянном солнечном свете. На 21-й день эксперимента проростки использовались для определения содержания хлорофилла и каротиноидов (Воробьев В.Н., 2013), а также для определения каталазы (Короткова А.М., 2017) спектрофотометрическим методом.

**Оборудование и технические средства.** Для проведения исследований использовалось оборудование: термостат ТСО-1/80 СПУ (Агроприбор, Россия), весы электронные ADAM HCB 602H (Adam Equipment Co., Ltd., Великобритания), спектрофотометр UNICO 2100 (United products & instruments, США.).

**Статистическая обработка.** Оценка существенности выборочных средних выполнена по Б.А. Доспехову (1985).

#### Результаты исследований

Проявилось отрицательное влияние солевого стресса на энергию прорастания и всхожесть семян изученных сортов пшеницы в большей степени при сульфатном засолении (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 80 мМ) со снижением показателей на 1-3 %, тогда как при хлоридном засолении по сортам мягкой пшеницы и сорту твёрдой пшеницы Оренбургская 10 в сравнении с контролем (вода) различий не получено, а по сорту твёрдой пшеницы Золотая снижение составило 1 % (табл. 1).

Таблица 1. Влияние солевого стресса на всхожесть семян и показатели морфологии проростков сортов яровой пшеницы

Table 1. Influence of salinity stress on seed germination and morphology indices of spring wheat cultivars

Вариант опыта/ Experiment option	Энергия прорастания, %/ Germination energy, %	Всхожесть семян, %/ Seed germination, %	Масса корешков 10 семян, г/ Root weight 10 seeds, g	Масса ростков 10 семян, г/ Sprout weight 10 seeds, g	Средняя длина 1 корешка, см/ Average length of 1 root, cm	Средняя длина 1 ростка, см/ Average length of 1 sprout, cm
1	2	3	4	5	6	7
<b>Пшеница мягкая яровая сорт Учитель / Soft spring wheat Uchitel</b>						
Контроль – вода/ Control (water)	99	99	0,31	0,21	3,70±0,13	2,40±0,08
NaCl–150мМ	98	98	0,10	0,03	2,32±0,07	0,54±0,05
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> –80мМ	98	98	0,06	0,03	1,62±0,08	0,18±0,03
<b>Пшеница мягкая яровая сорт Оренбургская 30 / Soft spring wheat Orenburgskaya 30</b>						
Контроль – вода/ Control (water)	99	99	0,24	0,19	3,31±0,15	1,80±0,09

Продолжение 1 таблицы

1	2	3	4	5	6	7
NaCl–150мМ	99	99	0,12	0,03	2,42±0,08	0,61±0,04
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> –80мМ	97	97	0,09	0,01	1,80±0,08	0,42±0,04
<b>Пшеница твёрдая яровая сорт Оренбургская 10 / <i>Durum spring wheat Orenburgskaya 10</i></b>						
Контроль – вода/ <i>Control (water)</i>	97	98	0,34	0,38	5,24±0,21	4,02±0,23
NaCl–150мМ	97	98	0,20	0,08	3,56±0,15	1,15±0,08
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> –80мМ	97	97	0,16	0,05	2,82±0,14	0,75±0,09
<b>Пшеница твёрдая яровая сорт Золотая / <i>Durum spring wheat Zolotaya</i></b>						
Контроль – вода/ <i>Control (water)</i>	97	98	0,33	0,35	4,85±0,21	3,47±0,23
NaCl–150мМ	96	97	0,24	0,11	3,01±0,16	1,22±0,11
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> –80мМ	95	95	0,12	0,06	1,83±0,16	0,62±0,09

При обоих видах солевого стресса получено значительное снижение изученных морфологических показателей. При этом следует отметить более существенное подавление изученных показателей при засолении Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Так, масса корешков 10 семян твёрдой пшеницы снижалась при вариантах хлоридного засоления в сравнении с контролем на 27,2 % (сорт Золотая) и до 41,0 % (сорт Оренбургская 10), а при сульфатном засолении – на 52,9 % (сорт Оренбургская 10) и до 63,6 % (сорт Золотая).

По сортам мягкой пшеницы при хлоридном засолении масса корешков 10 семян снижалась по сорту Учитель на 67,7 %, по сорту Оренбургская 30 – на 50 %, тогда как при сульфатном типе засоления – соответственно на 80,6 и 62,5 %.

Оба вида солевого стресса оказали отрицательное влияние и на массу ростков также с бóльшим подавляющим действием сульфатного вида засоления. Пределы отрицательного действия Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> составляли от 82,8 % (сорт Золотая) до 86,8 % (сорт Оренбургская 10), со снижением при хлоридном засолении на 68,6 % у сорта Золотая и на 78,9 % – у сорта Оренбургская 10.

Масса ростков у сорта мягкой пшеницы Учитель снижалась на 85,7 % при обоих видах солевого стресса, а у другого сорта данного типа (Оренбургская 30) при сульфатном засолении этот показатель снижался на 94,7 %, при хлоридном – на 84,2 %.

Сульфатное засоление также оказало более негативное влияние на среднюю длину корешков при прорастании. По мягкой пшенице уменьшение длины 1 корешка составило 37,3 % (сорт Учитель) и 26,9 % (сорт Оренбургская 30) при засолении NaCl, тогда как при засолении Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> оно возросло до 56,2 % и 45,6 % по сортам соответственно. По сортам яровой твёрдой пшеницы реакция на тип засоления идентична: при хлоридном засолении уменьшение длины корешка составило 32,1 % от контроля у сорта Оренбургская 10 и 37,9 % – у сорта Золотая с ростом до 46,2 % и 62,3 % соответственно при сульфатном засолении.

На фоне существенного отрицательного влияния обоих видов солевого стресса на длину ростков мягкой пшеницы снижение на фоне стресса от засоления Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> составило 76,7 % по сорту Оренбургская 30 до 92,5 % – по сорту Учитель. По хлоридному засолению степень снижения меньше, хотя и значительна: от 66,1 % – у сорта Оренбургская 30 до 77,5 % – по сорту Учитель.

Показатели снижения длины ростков по вариантам опытов весьма существенны. У сортов мягкой пшеницы они составили от 66,1 % (сорт Оренбургская 30) до 77,5 % (сорт Учитель) на фоне хлоридного засоления и от 76,6 % (сорт Оренбургская 30) до 92,5 % (сорт Учитель). По сортам твёрдой пшеницы показатели снижения составили у сорта Оренбургская 10–71,4 % при хлоридном и 81,3 % – при сульфатном засолении. У сорта Золотая эти показатели – соответственно 64,8 % и 82,1 %.

Таким образом, сульфатный тип засоления оказал более значительное подавляющее действие на морфологические признаки проростков сортов мягкой и твёрдой пшеницы.

Обработка солями NaCl и Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> снижала содержание хлорофилла обоих видов с большим подавляющим действием сульфатного типа засоления (табл. 2).

Таблица 2. Влияние солевого стресса на содержание хлорофилла и каротиноидов в проростках сортов яровой твёрдой и мягкой пшеницы  
Table 2. Influence of salinity stress on the content of chlorophyll and carotenoids in seedlings of spring durum and soft wheat varieties

Вариант опыта / Experiment option	Содержание хлорофилла (a) в мг/г сырой массы / The chlorophyll content (a) in mg/g wet weight	Содержание хлорофилла (b) в мг/г сырой массы / The chlorophyll content (b) in mg/g wet weight	Соотношение хлорофилла a/b / The ratio of chlorophyll a/b	Содержание каротиноидов в мг/г сырой массы / The content of carotenoids in mg/g wet wt-sy
<b>Пшеница мягкая яровая сорт Учитель / Soft spring wheat Uchitel</b>				
Контроль – вода / Control (water)	0,77	0,29	2,66	0,11
NaCl – 150 мМ	0,58	0,23	2,52	0,10
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 80 мМ	0,46	0,18	2,56	0,10
<b>Пшеница мягкая яровая сорт Оренбургская 30 / Soft spring wheat Orenburgskaya 30</b>				
Контроль – вода / Control (water)	0,73	0,34	2,15	0,10
NaCl – 150 мМ	0,53	0,21	2,52	0,10
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 80 мМ	0,42	0,19	2,21	0,04
<b>Пшеница твёрдая яровая сорт Оренбургская 10 / Durum spring wheat Orenburgskaya 10</b>				
Контроль – вода / Control (water)	0,68	0,25	2,72	0,10
NaCl – 150 мМ	0,43	0,19	2,26	0,08
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 80 мМ	0,41	0,17	2,41	0,05
<b>Пшеница твёрдая яровая сорт Золотая / Durum spring wheat Zolotaya</b>				
Контроль – вода / Control (water)	0,84	0,32	2,63	0,13
NaCl – 150 мМ	0,69	0,25	2,76	0,12
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 80 мМ	0,51	0,17	3,00	0,07

Количество хлорофилла *a* снижалось при хлоридном засолении на 17,9 % (сорт Золотая), 24,7-27,4 % (сорт Учитель и сорт Оренбургская 30) и на 36,8 % – у сорта твёрдой пшеницы Оренбургская 10. При сульфатном засолении содержание данного вида хлорофилла изменялось примерно одинаково (на 39,3-42,5 %). Содержание хлорофилла *b* на фоне обоих видов засоления снижалось более существенно.

По реакции сортов можно отметить меньшее снижение количества хлорофилла на фоне хлоридного засоления у сорта яровой твёрдой пшеницы Золотая.

По соотношению видов хлорофилла устойчивость обнаружена по сорту мягкой пшеницы Учитель, превышение хлорофилла *a* над хлорофиллом *b* по сорту твёрдой пшеницы Золотая и сорту мягкой пшеницы Оренбургская 30. При обоих видах засоления – снижение по сорту твёрдой пшеницы Оренбургская 10.

Изученные варианты солевого стресса резко (на 50,0 % и 58,8 %) снизили количество антиоксидантного фермента каталазы у обоих сортов твёрдой пшеницы (табл. 3), мало повлияли на его содержание по сорту мягкой пшеницы Оренбургская 30 (3,8 % и 15,4 %) и значительно (на 21,0 % и 36,8 %) уменьшили его содержание в растениях сорта мягкой пшеницы Учитель.

Таблица 3. Влияние солевого стресса на содержание каталазы в проростках сортов яровой твёрдой и мягкой пшеницы  
Table 3. Influence of salinity stress on the content of chlorophyll and carotenoids in seedlings of spring durum and soft wheat varieties

Вариант опыта/ <i>Experiment option</i>	Активность каталазы в условных единицах, E/ <i>Catalase activity in conditional units, E</i>
<b>Пшеница мягкая яровая сорт Учитель / <i>Soft spring wheat Uchitel</i></b>	
Контроль – вода/ <i>Control (water)</i>	19
NaCl – 150 мМ	15
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 80 мМ	12
<b>Пшеница мягкая яровая сорт Оренбургская 30 / <i>Soft spring wheat Orenburgskaya 30</i></b>	
Контроль – вода/ <i>Control (water)</i>	26
NaCl – 150 мМ	25
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 80 мМ	22
<b>Пшеница твёрдая яровая сорт Оренбургская 10 / <i>Durum spring wheat Orenburgskaya 10</i></b>	
Контроль – вода/ <i>Control (water)</i>	34
NaCl – 150 мМ	16
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 80 мМ	14
<b>Пшеница твёрдая яровая сорт Золотая/ <i>Durum spring wheat Zolotaya</i></b>	
Контроль – вода/ <i>Control (water)</i>	30
NaCl – 150 мМ	15
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> – 80 мМ	15

#### Обсуждение полученных результатов

Успехи в изучении солеустойчивости культур в значительной мере определяются их видовыми и сортовыми особенностями.

Использование толерантных к засолению линий и сортов пшеницы со всесторонней оценкой является надёжным инструментом адресного их подбора с учётом почвенно-климатических условий (Кононенко Н.В., 2019). Низкая генетическая изменчивость сортов – одна из основных причин ограниченного успеха в селекции сортов на солеустойчивость (Ashraf M and Akram N.A., 2009). В то же время рассматривается перспективность изучения устойчивости сортов к засолению в лабораторных условиях для прогнозирования сортовой засухоустойчивости (Веселов Д.С., 2007).

Определение морфологических признаков проростков, всхожести семян, ферментативной активности растений наряду с более углубленными оценками признаков солеустойчивости являются более доступными и в тоже время достаточно информативными показателями оценки сортов.

#### Выводы

В результате оценки сортов яровой мягкой и твёрдой пшеницы при различных вариантах солевого стресса установлено:

1. Изученные типы засоления (сульфатное, хлоридное), оказывают отрицательное влияние на морфометрические показатели проростков, содержание хлорофилла и активность фермента каталаза;

2. Сульфатное засоление ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 80 мМ) в большей степени снижает длину корешков, массу ростков, количество хлорофилла и содержание каротиноидов;
3. Изученные варианты солевого стресса мало повлияли на всхожесть семян, за исключением сорта твёрдой пшеницы Золотая.

**Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2021-2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0004)**

#### Литература

1. Белозерова А.А., Боме Н.А. Изучение реакции яровой пшеницы на засоление по изменчивости морфометрических параметров проростков // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 12-2. С. 300-306. [Belozerova AA, Bome NA. Study of spring wheat reaction to salinity on the variability of sprouts morphometric parameters. *Fundamental Research*. 2014;12(2):300-306. (In Russ)].
2. Веселов Д.С., Маркова И.В., Кудоярова Г.Р. Реакция растений на засоление и формирование солеустойчивости // *Успехи современной биологии*. 2007. Т. 127. № 5. С. 482-493. [Veselov DS, Markova IV, Kudoyarova GR. A response of plants to salinization and formation of salt tolerance. *Uspekhi sovremennoj biologii*. 2007;127(5):482-493. (In Russ)].
3. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Введ. 01.07.1986. М.: Изд-во стандартов, 1985. 57 с. [GOST 12038-84. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Vved. 01.07.1986. Moscow: Izd-vo standartov; 1985:57 p. (In Russ)].
4. Демиденко Г.А. Влияние натриево-хлоридного засоления на развитие и рост пшеницы // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2018. № 2(137). С. 22-25. [Demidenko GA. The influence of sodium chloride salinity on the development and growth of wheat. *The Bulletin of KrasGAU*. 2018;2(137):22-25. (In Russ)].
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. [Dospekhov BA. Metodika polevogo opyta. (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy). 5-e izd., dop. i pererab. Moscow: Agropromizdat; 1985:351 p. (In Russ)].
6. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция). Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1994. 148 с. [Zhuchenko AA. Strategiya adaptivnoj intensivifikacii sel'skogo hozyajstva (konceptsiya). Pushchino: ONTI PNTs RAN; 1994:148 p. (In Russ)].
7. Короткова А.М. Влияние наночастиц металлов и их оксидов на физиолого-биохимические показатели растения *Triticum vulgare* vill: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2017. 23 с. [Korotkova AM. Vliyanie nanochastic metallov i ih oksidov na fiziologo-biohimicheskie pokazateli rasteniya *Triticum vulgare* vill: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Ufa; 2017:23 p. (In Russ)].
8. Кумаков В.А. Физиология формирования урожая яровой пшеницы и проблемы селекции // *Сельскохозяйственная биология*. 1995. Т. 30. № 5. С. 3-19. [Kumakov VA. Fiziologiya formirovaniya urozhaya yarovoj pshenicy i problemy selekcii. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*. [Agricultural Biology]. 1995;30(5):3-19. (In Russ)].
9. Оценка морфологических и биохимических параметров устойчивости различных генотипов пшеницы к хлоридному засолению / Н.В. Кононенко, Т.А. Диловарова, Р.В. Канавский, С.В. Лебедев, Е.Н. Баранова, Л.И. Федорева // *Вестник Российского университета дружбы народов*. Серия: Агронимия и животноводство. 2019. Т. 14. № 1. С. 18-39. [Kononenko NV, Dilovarova TA, Kanavsky RV, Lebedev SV, Baranova EN, Fedoreva LI. Evaluation of morphological and biochemical resistance parameters to chloride salination in different wheat genotypes. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2019;14(1):18-39. (In Russ)]. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39
10. Практикум по физиологии растений: учеб.-метод. пособие / В.Н. Воробьев, Ю.Ю. Невмержицкая, Л.З. Хуснетдинова, Т.П. Якушенкова. Казань: Казан. ун-т, 2013. 80 с. [Vorob'ev VN, Nevmerzhickaya YuYu, Husnetdinova LZ, Yakushenkova TP. Praktikum po fiziologii rastenij: ucheb.-metod. posobie. Kazan': Kazanskij universitet; 2013:80 p. (In Russ)].

11. Раздельное и комбинированное действие засоления и закаливающих температур на растения / В.В. Таланова, А.Ф. Титов, СВ. Минаева, С.Е. Солдатов // Физиология растений. 1993. Т. 40. № 4. С. 584-588. [Talanova VV, Titov AF, Minaeva SV, Soldatov SE. Razdel'noe i kombinirovannoe dejstvie zasoleniya i zakalivayushchih temperatur na rasteniya. Fiziologiya rastenij. 1993;40(4):584-588. (*In Russ*)].
12. Удовенко Г.В. Солеустойчивость культурных растений. Ленинград: Колос, 1977. 215 с. [Udovenko GV. Soleustojchivost' kul'turnyh rastenij. Leningrad: Kolos; 1977:215 p. (*In Russ*)].
13. Устойчивость мягкой пшеницы и тритикале к высокому уровню хлоридного засоления / К.У. Куркиев, З.М. Алиева, С.К. Темирбекова, Н.А. Хабиева // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 2. С. 26-28. [Kurkiev KU, Alieva ZM, Temirbekova SK, Habieva NA. Resistance of wheat and triticale to high level of chloride salting. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017;31(2):26-28. (*In Russ*)].
14. Федореева Л.И. Экспрессия  $K^+/Na^+$  транспортеров НКТ пшеницы твёрдых и мягких сортов в условиях солевого стресса // Экобиотех 2019: материалы VI Всероссийской конф. с междунар. участием, (г. Уфа, 01-04 окт. 2019 г.). Уфа: УИБ УФИЦ РАН, 2019. С. 323-325. [Fedoreyeva LI. Expression of  $K^+/Na^+$  transporters НКТ in durum and aestivum triticum under salt stress. (Conference proceedings) Ekobiotech 2019: materialy VI Vserossiiskoi konf. s mezhdunar. uchastiem, (g. Ufa, 01-04 okt. 2019 g.). Ufa: UIB UFITs RAN; 2019:323-325 (*In Russ*)].
15. Хусаинов А.Т., Сыздыкова Г.Т., Андреева Ю.А. Влияние степени сульфатного засоления на ростовые процессы генотипов яровой мягкой пшеницы // Аграрный вестник Урала. 2014. № 1 (119). С. 23-26. [Husainov AT, Syzdykova GT, Andreeva YuA. The effect of the sulfate salinity degree on the growth processes of spring soft wheat genotypes. Agrarian Bulletin of the Urals. 2014;1(119):23-26. (*In Russ*)].
16. Якушкина Н.И. Физиология растений: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. М.: Просвещение, 1993. 351 с. [Yakushkina NI. Fiziologiya rastenii: ucheb. posobie. 2-e izd., pererab. Moscow: Prosveshchenie; 1993:351 p. (*In Russ*)].
17. Arif Y, Singh P, Siddiqui H, Bajguz A, Hayat S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. Plant Physiol Biochem. 2020;156:64-77. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.08.042
18. Ashraf M, Akram NA. Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: an analytical comparison. Biotechnology Advances. 2009;27(6):744-752. doi: 10.1016/j.biotechadv.2009.05.026

#### References

1. Belozeroва AA, Bome NA. Study of spring wheat reaction to salinity on the variability of sprouts morphometric parameters. Fundamental Research. 2014;12(2):300-306.
2. Veselov DS, Markova IV, Kudoyarova GR. A response of plants to salinization and formation of salt tolerance. Advances in modern biology. 2007;127(5):482-493.
3. GOST 12038-84. Agricultural seeds. Methods for determination of germination. Introduction 01.07.1986. Moscow: Publishing house of standards; 1985:57 p.
4. Demidenko GA. The influence of sodium chloride salinity on the development and growth of wheat. The Bulletin of KrasGAU. 2018;2(137):22-25.
5. Dospekhov BA. Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results). 5th ed., Add. and revised. Moscow: Agropromizdat; 1985:351 p.
6. Zhuchenko AA. Adaptive agricultural intensification strategy (concept). Pushchino: ONTI PSC RAN;1994:148 p.
7. Korotkova AM. The influence of metal nanoparticles and their oxides on the physiological and biochemical parameters of *Triticum vulgare* vill: author. dis. ... kand. biol. sciences. Ufa; 2017:23 p.
8. Kumakov VA. Physiology of spring wheat yield formation and breeding problems. Agricultural Biology. 1995;30(5):3-19.



9. Kononenko NV, Dilovarova TA, Kanavsky RV, Lebedev SV, Baranova EN, Fedoreeva LI. Evaluation of morphological and biochemical resistance parameters to chloride salination in different wheat genotypes. RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2019;14(1):18-39. doi: 10.22363/2312-797X-2019-14-1-18-39
10. Vorobiev VN, Nevmerzchickaya YuYu, Khusnetdinova LZ, Yakushenkova TP. Workshop on plant physiology: tutorial. Kazan: Kazan. university; 2013:80 p.
11. Talanova VV, Titov AF, Minaeva SV, Soldatov SE. Separate and combined effect of salinization and hardening temperatures on plants. Plant Physiology. 1993;40(4):584-588.
12. Udovenko GV. Salt tolerance of cultivated plants. Leningrad: Kolos; 1977:215 p.
13. Kurkiev KU, Alieva ZM, Temirbekova SK, Habieva NA. Resistance of wheat and triticale to high level of chloride salting. Achievements of Science and Technology of AIC. 2017;31(2):26-28.
14. Fedoreyeva LI. Expression of  $K^+/Na^+$  transporters HKT in durum and aestivum triticum under salt stress. (Conference proceedings) Ecobiotech 2019: materials of the VI All-Russian conf. with int. participation, (Ufa, 01-04 October 2019). Ufa: UIB UFITS RAS; 2019:323-325.
15. Husainov AT, Syzdykova GT, Andreeva YuA. The effect of the sulfate salinity degree on the growth processes of spring soft wheat genotypes. Agrarian Bulletin of the Urals. 2014;1(119):23-26.
16. Yakushkina NI. Plant physiology: textbook. allowance. 2nd ed., Rev. Moscow: Education; 1993:351 p.
17. Arif Y, Singh P, Siddiqui H, Bajguz A, Hayat S. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. Plant Physiol Biochem. 2020;156:64-77. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.08.042
18. Ashraf M, Akram NA. Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: an analytical comparison. Biotechnology Advances. 2009;27(6):744-752. doi: 10.1016/j.biotechadv.2009.05.026

**Бесалиев Ишен Насанович**, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом технологий зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: +7(3532)30-83-47, e-mail: orniish\_tzk@mail.ru

**Панфилов Александр Леонидович**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: +7 (3532)30-83-47, e-mail: panfilov-1@mail.ru

**Регер Нелли Сергеевна**, специалист-исследователь отдела технологий зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: +7(3532)30-83-47, e-mail: 8ellen.13@mail.ru

Поступила в редакцию 25 августа 2021 г.; принята после решения редколлегии 13 сентября 2021 г.; опубликована 30 сентября 2021 г. / Received: 25 August 2021; Accepted: 13 September 2021; Published: 30 September 2021