

## СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ / PLANT BREEDING, SEED PRODUCTION AND BIOTECHNOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.67>ОЦЕНКА ЭФФЕКТА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM L.*) В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Научная статья

Мартынов А.А.<sup>1,\*</sup>, Боме Н.А.<sup>2</sup>, Базюк Д.А.<sup>3</sup>, Юркова В.А.<sup>4</sup><sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-3498-9497;<sup>3</sup> ORCID : 0000-0001-7676-9260;<sup>4</sup> ORCID : 0000-0001-9653-4194;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Тюменский государственный университет, Тюмень, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (m76549[at]gmail.com)

**Аннотация**

Проведено изучение изменчивости морфобиологических признаков растений яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum L.*) сортов Тюменская 25 и Шортандинская 95 улучшенная под влиянием биопрепаратов АФГ, АФГ-В, Бисолбисан, Бисолбифит, Экстрасол, Альбит, Цитогумат и Штаммы (бактерии родов *Bacillus simplex* 948 P-1 TS и *Bacillus megaterium* 312 TS). Выращивание растений выполнено в вегетационных сосудах на фитостеллаже при температуре 22-24°C, освещении 5 тыс. люкс, фотопериод: день – 16 часов, ночь – 8 часов, повторность опыта трехкратная. Выявлен стимулирующий эффект биопрепаратов на прорастание семян, длину побега и корней, содержание хлорофилла в листьях. Ответная реакция сортов на предпосевную обработку семян была неоднозначной, наибольший эффект получен у сорта Шортандинская 95 улучшенная.

**Ключевые слова:** биопрепараты, морфобиологические параметры, всхожесть семян, динамика изменения хлорофилла, SPAD-502.

AN EVALUATION OF THE EFFECT OF BIOLOGICAL TREATMENT OF SPRING SOFT WHEAT SEEDS (*TRITICUM AESTIVUM L.*) IN LABORATORY CONDITIONS

Research article

Martynov A.A.<sup>1,\*</sup>, Bome N.A.<sup>2</sup>, Bazyuk D.A.<sup>3</sup>, Yurkova V.A.<sup>4</sup><sup>1</sup> ORCID : 0000-0003-3498-9497;<sup>3</sup> ORCID : 0000-0001-7676-9260;<sup>4</sup> ORCID : 0000-0001-9653-4194;<sup>1, 2, 3, 4</sup> University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

\* Corresponding author (m76549[at]gmail.com)

**Abstract**

The variability of morphophysiological characters of spring soft wheat (*Triticum aestivum L.*) Tyumenskaya 25 and Shortandinskaya 95 improved varieties under the influence of biological drugs AFG, AFG-B, Bisolbisan, Bisolbifit, Extrasol, Albit, Cytogumat and bacteria (genera *Bacillus simplex* 948 P-1 TS and *Bacillus megaterium* 312 TS) was studied. Plants were grown in vegetative vessels on a phytoshelf at the temperature 22-24°C, illumination 5,000 lux, photoperiod: day – 16 hours, night – 8 hours, repeating the experiment three times. The stimulating effect of biological drugs on seed germination, shoot and root length, chlorophyll content in leaves was revealed. The response of varieties to pre-sowing seed treatment was ambiguous, the greatest effect was obtained in the variety Shortandinskaya 95 improved.

**Keywords:** biological drugs, morphophysiological parameters, seed germination, chlorophyll dynamics, SPAD-502.

**Введение**

Среди многих приемов, улучшающих адаптацию сельскохозяйственных растений к воздействию стресс-факторов, в последнее время широко используются методы инокуляции семян биологическими препаратами. Связанно это с тем, что химические средства защиты растений от болезней и вредителей рассматриваются как один из основных приемов подготовки семян к посеву. Вместе с тем хорошо известно их негативное влияние на окружающую среду и здоровье человека из-за высокой токсичности, а также способности накапливаться в растительной продукции, воде, атмосферном воздухе и почве [1].

Получены положительные результаты по применению микроорганизмов рода *Bacillus* spp. на пшенице, обеспечивающих повышение устойчивости растений к засухе за счет позитивного моделирования процессов метаболизма, изменения архитектуры корневой системы, улучшения доступности и усвояемости элементов минерального питания [2].

Для понимания механизма действия препаратов, подбора соответствующей концентрации и технологии обработки семян к числу перспективных методов относят лабораторные эксперименты. Изучение ростовых процессов на начальных этапах онтогенеза растений в контролируемых условиях по изменчивости морфобиологических параметров дает возможность минимизировать влияние факторов окружающей среды [3].

**Методы и принципы исследования**

Работа выполнена в Институте биологии Тюменского государственного университета в лаборатории биотехнологических и микробиологических исследований. Объект исследования – сорта яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Тюменская 25 и Шортандинская 95 улучшенная.

Предпосевная обработка семян проводилась с использованием восьми биопрепаратов: АФГ, АФГ-В, Экстрасол, Альбит, Бисолбифит, Бисолбисан, Цитогумат, Консорциум штаммов *Bacillus simplex* 948 P-1 TS и *Bacillus megaterium* 312 TS.

В соответствии с рекомендациями производителей биопрепараты АФГ, АФГ-В, Цитогумат и Штаммы растворяли в соотношении 20 мл препарата на 80 мл дистиллированной воды, Альбит, Бисолбисан и Экстрасол – в соотношении 80 мл препарата на 20 мл воды, Бисолбифит – 0,5 г порошка на 100 мл воды. Семена в течение 3 часов выдерживали в растворах биопрепаратов, контроль – в дистиллированной воде.

Посев семян и выращивание растений яровой пшеницы выполнены в вегетационных сосудах из инертного материала, емкостью 1,4 л, заполненных универсальным почвенным грунтом из расчета 300 г на сосуд.

В каждый сосуд высевали по 20 семян на глубину 2 см, в трехкратной повторности. Сосуды размещали рандомизировано на фитостеллаже. В период проведения эксперимента поддерживалась температура 22-24°C, освещенность 5 тыс. люкс, фотопериод из расчета 16 часов – день, 8 часов – ночь. Продолжительность эксперимента составила 10 суток; на 3, 5 и 7 сутки в каждый вегетационный сосуд вносили 80 мл дистиллированной воды для поддержания оптимальной влажности почвенного субстрата.

Для комплексной оценки эффективности каждого биопрепарата ежедневно проводили наблюдения за ростом и развитием растений пшеницы с учетом следующих морфофизиологических признаков: всхожесть семян, длина побега и корней, число корней и листьев, динамика накопления хлорофилла в листьях, сырая масса надземной части и корней растений.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по стандартным методикам. Рассчитаны: средняя арифметическая ( $X_{\text{ср.}}$ ), стандартная ошибка средней арифметической ( $S_x$ ), коэффициент вариации ( $CV$ , %), достоверность различий между вариантами по критерию Стьюдента [4], [5].

### Основные результаты

Одним из основных показателей, характеризующих биологические свойства семян, является их способность к прорастанию и укоренению проростков. Для понимания влияния биопрепаратов на всхожесть семян в вегетационных сосудах выполняли подсчет всходов на 3 и 10 сутки от начала эксперимента (рис. 1).

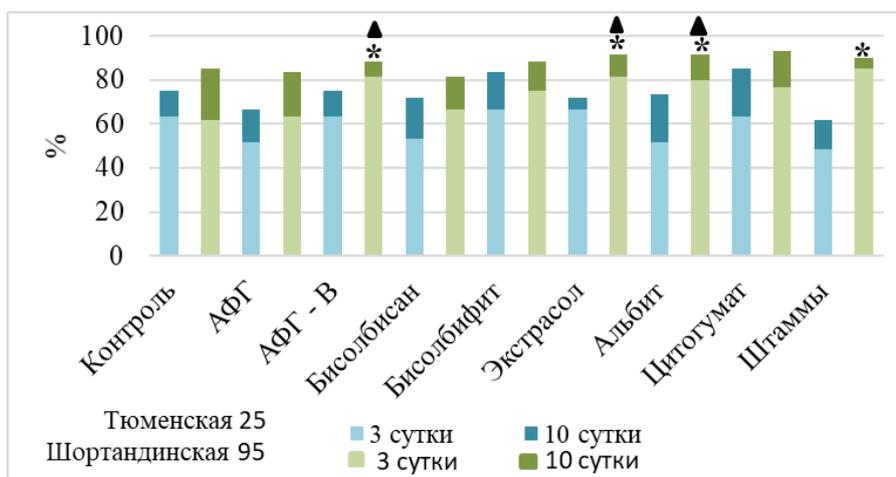


Рисунок 1 - Сравнение сортов яровой пшеницы по динамике всхожести семян в контроле и опытных вариантах

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.67.1>

Примечание: различия достоверны на уровне  $P \geq 0,05$ : \* – при сравнении контроля и вариантов с биопрепаратами; ▲ – при сравнении между сортами

У сорта Тюменская 25 по всхожести семян не выявлено достоверных различий между контролем и опытными вариантами, как на 3, так и на 10 сутки.

При рассмотрении сорта Шортандинская 95 отмечено положительное влияние биопрепаратов на количество нормально проросших семян на 3 сутки, среди которых достоверное отличие от контроля (выше на 20-23%) было в опытных вариантах АФГ-В, Экстрасол, Штаммы. При этом стоит отметить, что исследуемый показатель на 10 сутки был на уровне контроля.

Сравнение двух сортов по всхожести семян показало, что применение биопрепаратов привело к повышению процента проросших семян у сорта Шортандинская 95. Достоверное отличие зафиксировано в вариантах с АФГ-В, Экстрасолом, Альбитом и Штаммами на 3 сутки. Также отмечено, что эффект от Альбита и Штаммов сохраняется на 10 сутки, что подтверждено статистически.

Морфометрические параметры оценивали на 10 сутки, для этого все растения извлекали из сосудов и выполняли необходимые промеры.

По числу зародышевых корней у сорта Тюменская 25 достоверное снижение по сравнению с контролем обнаружено в вариантах с Бисолбифитом, Экстрасолом, Альбитом и Штаммами, при этом длина корней увеличивалась под действием Экстрасола и оставалась на уровне контроля в вариантах с другими препаратами (табл. 1).

Степень изменчивости числа корней была в диапазоне от слабой ( $CV=6,44\%$ , Контроль) до средней ( $CV=15,27\%$ , Бисолбисан). Вариабельность признака длины корней была выражена сильнее, что подтверждено пределами коэффициента вариации от  $14,03\%$  (АФГ) до  $23,29\%$  (Бисолбисан).

Таблица 1 - Морфометрические параметры растений сорта яровой пшеницы Тюменская 25

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.67.2>

Варианты опыта	Число корней, шт.	Длина корней, см	Длина побега, см		
			$X \pm m_x$		
	$X \pm m_x$	$X \pm m_x$	5 сутки	7 сутки	10 сутки
Контроль	$5,0 \pm 0,06$	$14,0 \pm 0,50$	$12,1 \pm 0,56$	$18,2 \pm 0,46$	$26,7 \pm 0,69$
АФГ	$4,9 \pm 0,12$	$14,1 \pm 0,36$	$12,4 \pm 0,42$	$19,2 \pm 0,28$	$24,6 \pm 0,47^*$
АФГ - В	$5,0 \pm 0,12$	$15,2 \pm 0,52$	$12,6 \pm 0,46$	$19,1 \pm 0,36$	$27,0 \pm 0,64$
Бисолбисан	$4,8 \pm 0,13$	$15,2 \pm 0,65$	$13,6 \pm 0,24^*$	$19,0 \pm 0,35$	$26,0 \pm 0,79$
Бисолбифит	$4,8 \pm 0,08^*$	$14,3 \pm 0,40$	$12,4 \pm 0,44$	$18,1 \pm 0,38$	$25,7 \pm 0,73$
Экстрасол	$4,6 \pm 0,11^*$	$15,6 \pm 0,60^*$	$12,8 \pm 0,26$	$18,5 \pm 0,44$	$25,9 \pm 0,64$
Альбит	$4,5 \pm 0,16^*$	$13,9 \pm 0,50$	$12,7 \pm 0,38$	$18,9 \pm 1,11$	$27,5 \pm 0,68$
Цитогумат	$4,9 \pm 0,09$	$14,2 \pm 0,47$	$12,8 \pm 0,40$	$19,4 \pm 0,32^*$	$27,4 \pm 0,81$
Штаммы	$4,7 \pm 0,10^*$	$14,5 \pm 0,44$	$11,6 \pm 0,65$	$18,1 \pm 0,54$	$26,3 \pm 0,82$

Примечание: \* - различия при сравнении с контролем достоверны на уровне  $P \geq 0,05$

При измерении длины побегов в разные сроки обнаружен стимулирующий эффект на 5 сутки под влиянием Бисолбисана, на 7 сутки – Цитогумата. На 10 сутки опытные варианты (исключение с препаратом АФГ) существенно не отличались от контроля. Была обнаружена средняя степень варьирования признака в контроле и всех опытных вариантах.

По числу корней растений сорта Шортандинская 95 улучшенная статистически достоверных различий между контролем и вариантами с биопрепаратами не обнаружено (табл. 2). Изменчивость признака была в диапазоне от  $9,54\%$  (Альбит, Бисолбисан) до  $17,9\%$  (Контроль). Максимальное значение коэффициента вариации в сосудах без обработки семян препаратами может косвенно свидетельствовать о неравномерном развитии растений в раннем онтогенезе.

Таблица 2 - Морфометрические параметры растений сорта Шортандинская 95

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.67.3>

Варианты опыта	Число корней, шт.	Длина корней, см	Длина побега, см		
			$X \pm m_x$		
	$X \pm m_x$	$X \pm m_x$	5 сутки	7 сутки	10 сутки
Контроль	$4,6 \pm 0,15$	$16,0 \pm 0,42$	$7,3 \pm 0,36$	$16,3 \pm 0,37$	$24,6 \pm 0,25$
АФГ	$4,8 \pm 0,10$	$16,3 \pm 0,37$	$8,3 \pm 0,22^*$	$16,4 \pm 0,42$	$23,6 \pm 0,43^*$
АФГ - В	$4,8 \pm 0,10$	$16,9 \pm 0,30$	$8,7 \pm 0,25^*$	$17,1 \pm 0,33$	$25,2 \pm 0,28$
Бисолбисан	$4,8 \pm 0,08$	$16,5 \pm 0,52$	$8,2 \pm 0,25^*$	$17,2 \pm 0,31$	$25,0 \pm 0,28$
Бисолбифит	$4,8 \pm 0,10$	$18,0 \pm 0,48^*$	$8,6 \pm 0,22^*$	$16,3 \pm 0,49$	$24,3 \pm 0,36$
Экстрасол	$4,7 \pm 0,12$	$15,9 \pm 0,53$	$8,7 \pm 0,26^*$	$16,6 \pm 0,31$	$23,8 \pm 0,27^*$
Альбит	$4,8 \pm 0,08$	$17,6 \pm 0,48^*$	$8,7 \pm 0,26^*$	$17,3 \pm 0,21^*$	$24,2 \pm 0,30$
Цитогумат	$4,7 \pm 0,10$	$16,4 \pm 0,36$	$8,5 \pm 0,24^*$	$16,4 \pm 0,41$	$24,7 \pm 0,38$
Штаммы	$4,7 \pm 0,11$	$16,8 \pm 0,42$	$8,5 \pm 0,28^*$	$16,8 \pm 0,35$	$23,6 \pm 0,37^*$

Примечание: \* - различия при сравнении с контролем достоверны на уровне  $P \geq 0,05$

Обработка семян биопрепаратами не вызывала угнетения первичной корневой системы растений пшеницы, более того препараты Альбит и Бисолбифит способствовали достоверному увеличению длины корней. Варьирование признака более выражено в сосудах с Экстрасолом (CV=18,38%), в контроле и большинстве вариантов изменчивость средняя, АФГ-В – слабая (CV=9,84%).

Ответная реакция сорта Шортландинская 95 улучшенная на биологическую обработку семян проявилась в активном росте вегетативной части растений, что следует из результатов промера длины побегов на 5 сутки, по которой во всех сосудах с препаратами выявлено преимущество в сравнении с сосудами без обработки. Однако на 7 сутки достоверное превышение над контролем зарегистрировано только в варианте с Альбитом, на 10 сутки отмечено замедление роста побегов в высоту под влиянием АФГ, Экстрасола и Штаммов. Варьирование признака более выражено в сосудах с АФГ (CV=10,04%), в контроле и во всех остальных вариантах изменчивость слабая (от 5,63 до 8,68%).

Для более полного понимания ростовых процессов на начальных этапах онтогенеза проведен анализ относительной скорости роста растений и степени влияния исследуемых биопрепаратов на данный процесс. Потенциально это дает возможность оптимизации алгоритма использования имеющихся ресурсов в технологии выращивания растений [6].

Расчет показателя относительной скорости роста проводили по формуле:

$$K = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1};$$

где K – абсолютная скорость роста;

$W_2$  и  $W_1$  – размеры органа в исходный и конечный моменты времени;

$t_2$  и  $t_1$  – в сутках [7].

Сопоставление данных по изученным сортам выявило различия по показателю абсолютной скорости роста побегов (рис. 2-3).

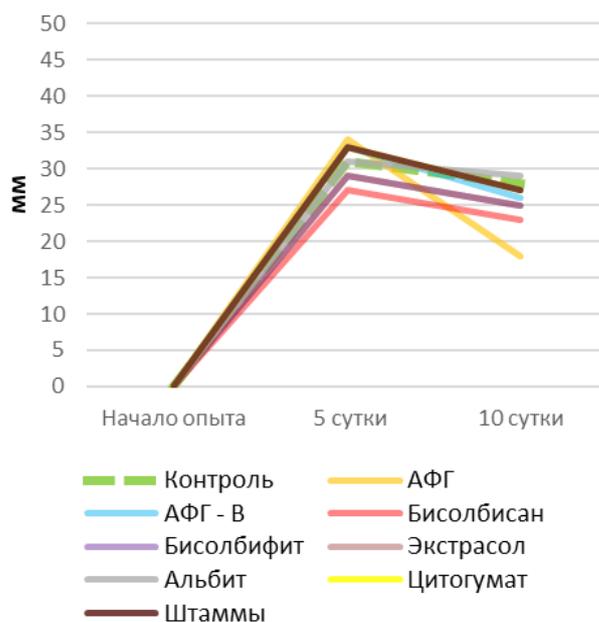


Рисунок 2 - Влияние биопрепаратов на относительную скорость роста побега растений сорта «Тюменская 25»

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.67.4>

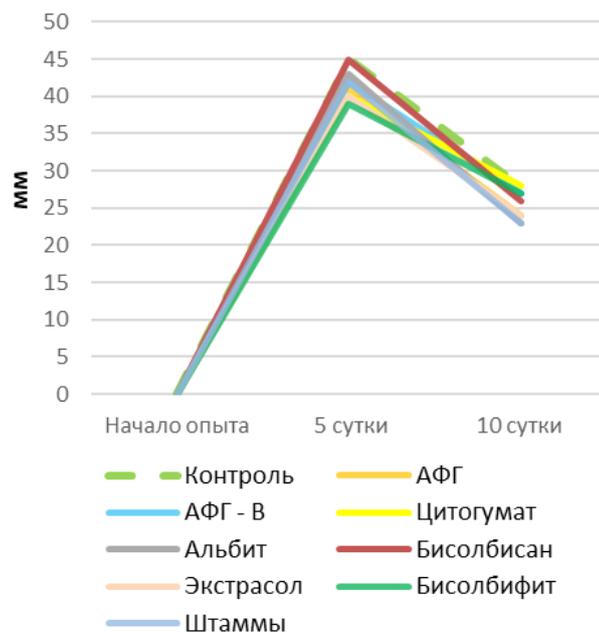


Рисунок 3 - Влияние биопрепаратов на относительную скорость роста побега растений сорта «Шортандинская 95»  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.67.5>

При рассмотрении абсолютной скорости роста побегов сорта Тюменская 25 отмечены как стимулирующий, так и подавляющий эффекты биопрепаратов. Увеличение показателя в первые 4 дня по сравнению с Контролем (31 мм) установлено в вариантах с АФГ (34 мм), АФГ-В, Цитогуматом и Штаммами (33 мм), прирост составил 6,5-10,0%. После чего зафиксировано снижение ростовой активности под влиянием биопрепаратов на 3,5-36,0%, за исключением варианта с Альбитом, в котором суточный прирост составил 29 мм (контроль – 28 мм); минимальный эффект получен от применения АФГ (18 мм).

Растения сорта Шортандинская 95 улучшенная, выращенные из семян, обработанных биопрепаратами, в большинстве случаев характеризовались замедлением роста в раннем онтогенезе. Только в двух вариантах прирост за сутки был на уровне контроля – Бисолбисан (45 мм, 5-7 сутки) и Цитогумат (28 мм, 7-10 сутки). Снижение скорости роста по отношению к Контролю на 5-7 сутки составляло 4,5% (Альбит) – 13,3% (Бисолбифит) и 3,6% (АФГ-В, Бисолбифит) – 17,9% (Альбит, Штаммы).

Сравнение изученных сортов по значениям абсолютной скорости роста выявило преимущество сорта Шортандинская 95 улучшенная как в контроле, так и при обработке семян биопрепаратами.

Дополнительно к данным по изменчивости морфологических признаков ставилась задача определения физиологического состояния растений. Хлорофилл является жизненно важным компонентом растительного организма, его роль заключается в осуществлении реакции преобразования электромагнитного излучения, представленного в виде солнечного света, в свободную энергию химических связей, и активации поглотительного процесса фотонов светособирающими комплексами, связанными с ФС I и ФСII. Показано, что содержание хлорофилла является специфичным для листьев каждого вида и сорта растений, также отмечена зависимость динамики хлорофилла от освещения, минерального питания, возраста листьев и других факторов [8].

Взаимосвязь генотипа и содержания хлорофилла (а и b) позволяет использовать данный показатель как физиолого-биохимический маркер, который, согласно исследованиям на различных сельскохозяйственных культурах, в том числе на яровой пшенице, тесно коррелирует с биологическими параметрами и урожайностью [9].

В нашем эксперименте содержание хлорофилла в листьях растений пшеницы измеряли с помощью прибора spad 502 на 5, 7 и 10 сутки. Выявлены различия по изменению количества хлорофилла в листьях как между сортами, так и опытными вариантами (рис. 3).

У сорта Тюменская 25 количество пигмента изменялось в диапазоне от 37,7 (Штаммы) до 39,9 spad ed. (Бисолбисан) при измерении через 5 суток от начала эксперимента. На 7 сутки достоверное различие с контролем (38,5 spad ed.) отмечено только в варианте с биопрепаратом АФГ (42,3 spad ed.). На 10 сутки значения признака варьировали от 35,8 (Штаммы) до 38,4 spad ed. (Цитогумат) при контрольном значении 36,9 spad ed.

Анализ данных промера на 5 сутки выявил статистически достоверное увеличение содержания хлорофилла в листьях сорта Шортандинская 95 улучшенная во всех опытных вариантах (рис. 4-5).

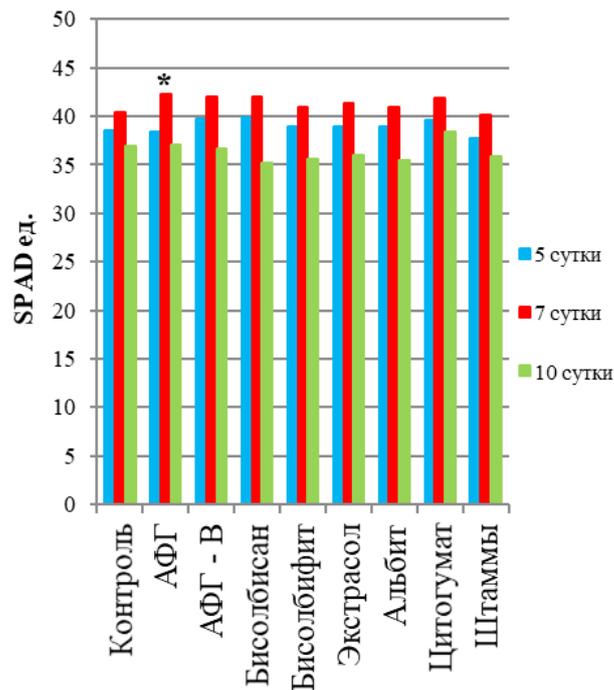


Рисунок 4 - Содержание хлорофилла в листьях растений сорта «Тюменская 25»  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.67.6>

Примечание: \* – различия при сравнении с контролем достоверны на уровне  $P \geq 0,05$

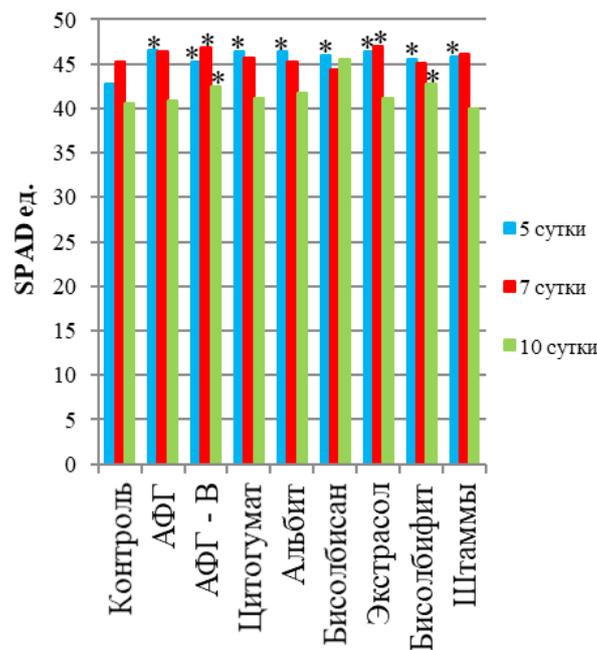


Рисунок 5 - Содержание хлорофилла в листьях растений сорта «Шортандинская 95»  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.67.7>

Примечание: \* – различия при сравнении с контролем достоверны на уровне  $P \geq 0,05$

Содержание пигмента в целом по опыту изменялось от 42,7 spad ed. (контроль) до 46,6 spad ed. (биопрепарат АФГ). На 7 сутки отмечено увеличение количества хлорофилла в опыте с АФГ-В (49,6 spad ed.) и Экстрасолом (47

spad ed.), остальные варианты находились на уровне контроля (45,3 spad ed.). На 10 сутки статистически доказанные различия отмечены в опытных вариантах с АФГ-В (42,5 spad ed.), Бисолбифитом (42,8 spad ed.) и Бисолбисаном (45,5 spad ed.) при контрольном значении в 40,6 spad ed.

Таким образом, установлено, что применение биопрепаратов статистически достоверно влияет на динамику накопления хлорофилла у сорта Шортандинская 95 улучшенная практически во вариантах, в отличие от сорта Тюменская 25, где увеличение показателя наблюдалось только под влиянием АФГ (измерение на 5 сутки).

В завершение экспериментальной работы был проведен анализ структуры биомассы, позволяющий оценить потенциальную приспособленность растений к меняющимся условиям обитания.

В отечественных и зарубежных работах способность растений к перераспределению биомассы относят к важным ростовым адаптациям [10], [11], которая зависит от экспрессии определенного ряда генов, ответственных за контроль гормональной регуляции растительного организма [12]. Отмечается, что высокая биомасса, накопленная на ранних этапах онтогенеза, связана с высоким уровнем метаболической активности генотипа и высоким темпом синтеза органического вещества. Предположительно, у растений, имеющих такие генотипы, происходит хорошее усвоение питательных элементов при их низкой концентрации в субстрате [13]. Это подтверждает результаты работ, в которых отмечается, что растения, имеющие развитую первичную корневую систему, лучше используют почвенные ресурсы [14].

В структуре биомассы растений сорта Тюменская 25 зафиксировано влияние биопрепаратов на массу побега и корней. В контроле надземная часть растений и корневой системы распределились в соотношении 70 и 30% соответственно. Действие биопрепаратов проявилось в увеличении доли корней до 32-35% в общей биомассе во всех опытных вариантах, кроме Цитогумата (рис. 6-7).

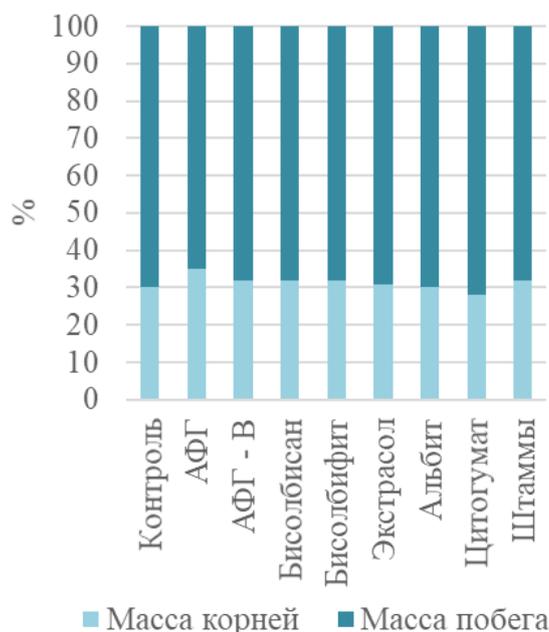


Рисунок 6 - Соотношение сырой биомассы в разных вариантах эксперимента сорта «Тюменская 25»  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.67.8>

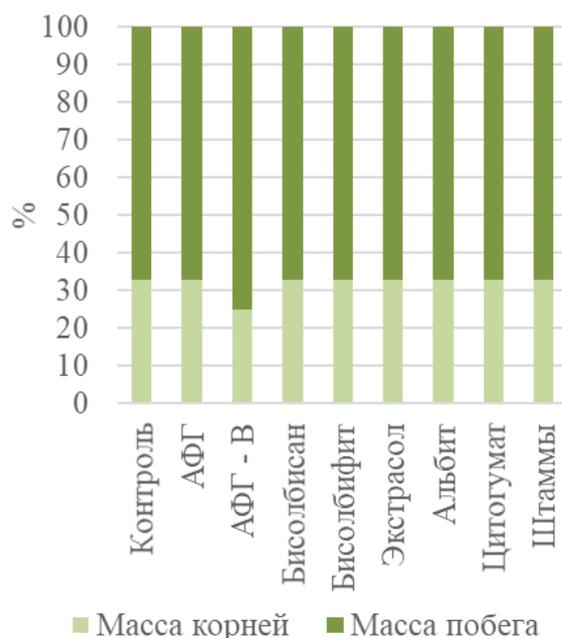


Рисунок 7 - Соотношение сырой биомассы в разных вариантах эксперимента сорта «Шортандинская 95»  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.67.9>

Установлено, что у сорта Шадринская 95 улучшенная в контрольном варианте преобладали побеги, доля которых составляла 67% и соответственно корней – 33%. Обработка семян Альбитом привела к увеличению до 40%. Биопрепараты АФГ-В, Бисолбисан, Бисолбифит, Экстрасол, Цитогумин, Штаммы способствовали еще более активному развитию корневой системы, доля которой в общей структуре составила 50%. Одинаковая биомасса с контролем по соотношению надземной массы и корней (67 и 33% соответственно) сформировалась под действием АФГ.

В нашем исследовании установлено, что у сорта Тюменская 25 доля побегов была выше доли корней, что может свидетельствовать о недостатке обеспечения эффективного поступления в растительный организм элементов питания через корни. Сорт Шортандинская 95 имел равное соотношение доли побега и корней, что может быть связано с благоприятными условиями местоположения для роста и развития данных растений и поступление элементов питания в необходимых количествах [15]. Хорошо развитая корневая система в полевых условиях при недостатке влаги в почве может получить ее из более глубоких слоев и таким образом снизить влияние водного стресса.

### Заключение

В моделируемых условиях лаборатории выявлена неоднозначная ответная реакция двух сортов яровой мягкой пшеницы (Тюменская 25 и Шортандинская 95 улучшенная) на предпосевную обработку семян биопрепаратами.

Стимулирующий эффект биопрепаратов на прорастание семян в вегетационных сосудах более ярко был выражен у сорта Шортандинская 95 улучшенная. Высота растений при промере на 5 сутки в опытных вариантах достоверно превышала контроль на 1,0-1,4 см. У сорта Тюменская 25 положительная реакция на обработку отмечена только под воздействием Бисолбисана.

Экспресс-диагностика растений в раннем онтогенезе по содержанию хлорофилла в листьях с помощью оптического счетчика SPAD 502 не выявила существенных различий у сорта Тюменская 25. У сорта Шортандинская 95 улучшенная активация ростовых процессов в начале вегетации (5 сутки) сопровождалась увеличением хлорофилла по сравнению с контролем во всех опытных вариантах.

На развитие длины первичной корневой системы благоприятное влияние оказывали препараты: Экстрасол (Тюменская 25), Альбит, Бисолбифит (Шортандинская 95 улучшенная). В структуре сырой биомассы растений сорта Шортандинская 95 улучшенная отмечено увеличение доли массы корней в большинстве вариантов до 40-60% (контроль 33%). Хорошо развитая первичная корневая система растений пшеницы может повысить устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды в полевых условиях.

**Финансирование**

Статья подготовлена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № FEWZ-2021-0007 «Адаптивная способность сельскохозяйственных растений в экстремальных условиях Северного Зуралья».

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Funding**

The article was prepared within the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation № FEWZ-2021-0007 "Adaptive capacity of agricultural plants in the extreme conditions of the Northern Trans-Urals".

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

1. Штерншис М.В. Биологическая защита растений / М.В. Штерншис, Ф.С.-У. Джалилов, И.В. Андреева [и др.]; под ред. М.В. Штерншис. — М.: Колос, 2004. — 264 с.
2. Ласточкина О.В. Адаптация и устойчивость растений пшеницы к засухе, опосредованная природными регуляторами роста *Bacillus* spp.: механизмы реализации и практическая значимость (обзор) / О.В. Ласточкина // Сельскохозяйственная биология. — 2021. — 5. — с. 843-867.
3. Волкова Л.В. Использование морфобиологических параметров проростков яровой пшеницы в селекции на алюмоустойчивость / Л.В. Волкова, О.С. Амунова, Л.Н. Тиунова // Аграрный вестник Урала. — 2021. — 04(207). — с. 24-33.
4. Лакин Г.Ф. Биометрия / Г.Ф. Лакин. — М.: Высшая школа, 1968. — 287 с.
5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. — М.: Альянс, 2014. — 351 с.
6. Васюта В.В. Ростовые процессы свеклы столовой в зависимости от сочетания элементов технологии выращивания при капельном орошении в Южной степи Украины / В.В. Васюта // Приволжский научный вестник. — 2015. — 7(47). — с. 42-45.
7. Шандрикова Л.Н. Физиология и биохимия роста и развития растений: методические рекомендации / Л.Н. Шандрикова, Н.В. Вогулкина, С.В. Хамцова. — Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2013. — 32 с.
8. Кононенко Н.В. Оценка морфологических и биохимических параметров устойчивости различных генотипов пшеницы к хлоридному засолению / Н.В. Кононенко, Т.А. Диловарова, Р.В. Канавский [и др.] // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. — 2019. — 1. — с. 18-39.
9. Сидько А.Ф. Оценка содержания хлорофилла и урожайности зерновых культур по хлорофилльному потенциалу / А.Ф. Сидько, И.Ю. Ботвич, Т.И. Письман [и др.] // Биофизика. — 2017. — Т. 62. — 3. — с. 565-569.
10. Шевлягина О.Ф. Особенности реализации донорно-акцепторных отношений при нарушении целостности зародышевой корневой системы проростка *Triticum aestivum* L / О.Ф. Шевлягина, В.В. Коробко // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. — 2020. — Т. 20. — 2. — с. 219—225.
11. Akman N. Cereals Have Greater Root and Shoot Biomass and Less Root: Shoot Ratio than Forage Legumes / N. Akman // International Journal of Ecosystems and Ecology Science. — 2018. — Vol. 8. — 1. — p. 177-182.
12. Gupta N. Molecular Basis of Aluminium Toxicity in Plants: A Review / N. Gupta, S. Gaurav, A. Kumar // American Journal of Plant Sciences. — 2013. — Vol. 4. — 12. — p. 21-37.
13. Кильчевский А.В. Экологическая селекция растений / А.В. Кильчевский, Л.В. Хотылева. — Минск: Тэхналогія, 1997. — 372 с.
14. Шаманин В.П. Морфометрические параметры корневой системы и продуктивность растений у синтетических линий яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири в связи с засухоустойчивостью / В.П. Шаманин, И.В. Потоцкая, С.С. Шепелев [и др.] // Сельскохозяйственная биология. — 2018. — Т. 53. — 3. — с. 587-597.
15. Деверолл Б.Д. Защитные механизмы растений / Б.Д. Деверолл; пер. с англ. М. И. Бухара; под ред. Л.А. Воронкова. — Москва: Колос, 1980. — 128 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Shternshis M.V. Biologicheskaja zashhita rastenij [Biological Plant Protection] / M.V. Shternshis, F.S.-U. Dzhaliylov, I.V. Andreeva [et al.]; ed. by M.V. Shternshis. — M.: Kolos, 2004. — 264 p. [in Russian]
2. Lastochkina O.V. Adaptacija i ustojchivost' rastenij pshenicy k zasuhe, oposredovannaja prirodnyimi reguljatorami rosta *Bacillus* spp.: mehanizmy realizacii i prakticheskaja znachimost' (obzor) [Wheat Plant Adaptation and Resistance to Drought Mediated by Natural Growth Regulators of *Bacillus* spp.: Mechanisms of Implementation and Practical Relevance (A Review)] / O.V. Lastochkina // Sel'skhozjajstvennaja biologija [Agricultural Biology]. — 2021. — 5. — p. 843-867. [in Russian]
3. Volkova L.V. Ispol'zovanie morfofiziolgicheskikh parametrov prorstkov jarovoj pshenicy v selekcii na aljumooustojchivost' [The Use of Morphophysiological Parameters of Spring Wheat Seedlings in Selection for Alumina Tolerance] / L.V. Volkova, O.S. Amunova, L.N. Tiunova // Agrarnyj vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]. — 2021. — 04(207). — p. 24-33. [in Russian]
4. Lakin G.F. Biometrija [Biometrics] / G.F. Lakin. — M.: Vysshaja shkola, 1968. — 287 p. [in Russian]

5. Dosphehov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij) [Methodology of Field Experiments (with the basics of statistical processing of research results)] / B.A. Dosphehov. — M.: Al'jans, 2014. — 351 p. [in Russian]
6. Vasjuta V.V. Rostovye processy svekly stolovoj v zavisimosti ot sochetanija jelementov tehnologii vyrashhivaniya pri kapel'nom oroshenii v Juzhnoj stepi Ukrainy [Growth Processes of Table Beet Depending on the Combination of Cultivation Technology Elements under Drip Irrigation in the Southern Steppe of Ukraine] / V.V. Vasjuta // Privolzhskij nauchnyj vestnik [Volga Scientific Bulletin]. — 2015. — 7(47). — p. 42-45. [in Russian]
7. Shandrikova L.N. Fiziologija i biohimija rosta i razvitija rastenij : metodicheskie rekomendacii [Physiology and Biochemistry of Plant Growth and Development: Methodological Recommendations] / L.N. Shandrikova, N.V. Vogulkina, S.V. Hamcova. — Vitebsk: VSU named after P.M. Masherov, 2013. — 32 p. [in Russian]
8. Kononenko N.V. Ocenka morfologicheskikh i biohimicheskikh parametrov ustojchivosti razlichnyh genotipov pshenicy k hloridnomu zasoleniju [An Evaluation of Morphological and Biochemical Parameters of Resistance of Various Wheat Genotypes to Chloride Salinity] / N.V. Kononenko, T.A. Dilovarova, R.V. Kanavskij [et al.] // Vestnik RUDN. Serija: Agronomija i zhivotnovodstvo [Bulletin of the Russian University of Peoples Friendship. Series: Agronomy and Animal Husbandry]. — 2019. — 1. — p. 18-39. [in Russian]
9. Sid'ko A.F. Ocenka sodержanija hlorofilla i urozhajnosti zernovyh kul'tur po hlorofill'nomu potencialu [An Assessment of Chlorophyll Content and Crop Yield by Chlorophyll Potential] / A.F. Sid'ko, I.Ju. Botvich, T.I. Pis'man [et al.] // Biofizika [Biophysics]. — 2017. — Vol. 62. — 3. — p. 565-569. [in Russian]
10. Shevljagina O.F. Osobennosti realizacii donorno-akceptornyh otnoshenij pri narushenii celostnosti zarodyshevoj kornevoj sistemy prorostka Triticum aestivum L [Specific Features of Donor-Acceptor Relations when the Integrity of the Germinal Root System of Triticum aestivum Seedling is Disrupted] / O.F. Shevljagina, V.V. Korobko // Izvestija Saratovskogo universitetata. Novaja serija. Serija: Himija. Biologija. Jekologija [Proceedings of the University of Saratov. New Series. Series: Chemistry. Biology. Ecology]. — 2020. — Vol. 20. — 2. — p. 219—225. [in Russian]
11. Akman H. Cereals Have Greater Root and Shoot Biomass and Less Root: Shoot Ratio than Forage Legumes / H. Akman // International Journal of Ecosystems and Ecology Science. — 2018. — Vol. 8. — 1. — p. 177-182.
12. Gupta N. Molecular Basis of Aluminium Toxicity in Plants: A Review / N. Gupta, S. Gaurav, A. Kumar // American Journal of Plant Sciences. — 2013. — Vol. 4. — 12. — p. 21-37.
13. Kil'chevskij A.V. Jekologicheskaja selekcija rastenij [Ecological Plant Breeding] / A.V. Kil'chevskij, L.V. Hotyleva. — Minsk: Tjehnologija, 1997. — 372 p. [in Russian]
14. Shamanin V.P. Morfometricheskie parametry kornevoj sistemy i produktivnost' rastenij u sinteticheskikh linij jarovoj mjagkoj pshenicy v uslovijah Zapadnoj Sibiri v svjazi s zasuhoustojchivost'ju [Morphometric Parameters of Root System and Plant Productivity in Synthetic Lines of Spring Soft Wheat in Western Siberia in Relation to Drought Tolerance] / V.P. Shamanin, I.V. Potockaja, S.S. Shepelev [et al.] // Sel'skhozjajstvennaja biologija [Agricultural Biology]. — 2018. — Vol. 53. — 3. — p. 587-597. [in Russian]
15. Deveroll B.D. Zashhitnye mehanizmy rastenij [Plant Defense Mechanisms] / B.D. Deveroll; transl. from Eng. by M. I. Buhar; ed. by L.A. Voronkov. — Moscow: Kolos, 1980. — 128 p. [in Russian]