

## ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОСТОСТИМУЛИРУЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ ЭНДОМЕТАБОЛИТОВ ЦИАНОБАКТЕРИЙ *LIMNOSPIRA PLATENSIS* ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СОИ

**К.Ю. ЗУБАРЕВА**, кандидат биологических наук, ORCID ID:0000-0002-7083-6730

**Т.А. ХРЫКИНА**, старший научный сотрудник, ORCID ID:0000-0003-2037-6059

**А.В. БЕЛОЗЕРОВА**, аспирант

**Н.И. КОСОЛАПОВА\***, кандидат химических наук

ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР  
\*ФГБОУ ВО КУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
E-mail: kristi\_orel@bk.ru

**Аннотация.** Впервые получены данные о применении комплекса эндометаболитов цианобактерий *Limnospira platensis* и его модификаций, фортифицированных (дополнительно обогащенных) элементами питания B, Se и P в технологии возделывания сои, которые выступили не только как регуляторы роста, но и как адаптогены на внешние абиотические стрессфакторы в течение вегетации изучаемой культуры. Установлено, что применение комплексов фортифицированных селеном и фосфором в предпосевной обработке семян (0,6 л/т) и фолиарных подкормках вегетирующих растений сои в фазу 1-3 тройчатых листьев (0,3 л/га) обеспечивает наибольшую прибавку урожая зерна в среднем за 2 года исследований на 0,28 т/га, или на 11,5% у индетерминантного сорта Мезенка, а сбор белка при этом составляет 1105,7 и 1088,1 кг/га соответственно.

**Ключевые слова:** соя, биостимуляторы, эндометаболиты цианобактерий *Limnospira platensis*, урожайность, качество, предпосевная обработка, фолиарные подкормки.

**Для цитирования:** Зубарева К. Ю., Хрыкина Т.А., Косолапова Н.И. Оценка перспектив использования ростостимулирующих комплексов эндометаболитов цианобактерий *Limnospira platensis* при возделывании сои. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2026. № 1 (57):48-54 DOI: 10.24412/2309-348X-2026-1-48-54

## EVALUATION OF PROSPECTS FOR THE USE OF GROWTH-PROMOTING COMPLEXES OF ENDOMETABOLITES OF CYANOBACTERIA *LIMNOSPIRA PLATENSIS* IN SOYBEAN CULTIVATION

**K. Yu. Zubareva, T. A. Khrykina, A. V. Belozerova, N. I. Kosolapova\***

FSBSI FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS  
\*FSBEI OF HIGHER EDUCATION KURSK STATE UNIVERSITY

**Abstract:** For the first time, data were obtained on the use of a complex of endometabolites of cyanobacteria *Limnospira platensis* and its modifications, fortified (additionally enriched) with the nutrients B, Se and P in soybean cultivation technology, which acted not only as growth regulators, but also as adaptogens to external abiotic stress factors during the growing season of the studied crop. It was found that the use of complexes fortified with selenium and phosphorus in pre-sowing seed treatment (0.6 l/t) and foliar feeding of vegetative soybean plants in the phase of 1-3 trifoliolate leaves (0.3 l/ha) provides the greatest increase in grain yield on average over 2 years of research by 0.28 t/ha, or by 11.5% for the indeterminate variety Mezenka, while the protein collection is 1105.7 and 1088.1 kg/ha, respectively.

**Keywords:** soybeans, biostimulants, endometabolites of cyanobacteria *Limnospira platensis*, yield, quality, pre-sowing treatment, foliar treatment.

Перспективы применения биопрепаратов как биологизированных элементов в новых современных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур с учетом требований органического земледелия не вызывают сомнений. Биопрепараты способны запускать важные физиолого-биохимические механизмы растительного организма, участвующие в формировании урожайности и качества получаемой продукции, в том числе и на фоне внешних биотических и абиотических стресс-факторов [1].

Научные исследования свидетельствуют об эффективности использования биостимуляторов различной природы при возделывании обширного круга культур [2, 3]. При этом остается открытым вопрос о влиянии природы биопрепарата на интенсивность ответа конкретной культуры на его применение. Сложности в установлении подобных взаимосвязей обусловлены наличием целого ряда причин, среди которых можно выделить следующие: разрозненность проводимых исследований, недостаточная представленность информации о химическом составе биопрепаратов, использование в исследованиях ограниченного числа сортов одной культуры, разнообразие почвенно-климатических условий проведения испытаний. В связи с этим накопление данных характеризующих перспективность использования ростостимулирующих комплексов при возделывании конкретных культур в конкретных почвенно-климатических условиях остается актуальным. Особую значимость приобретает получения подобных данных при разработке новых биопрепаратов.

В последнее время цианобактерии и их метаболиты приобрели известность в качестве биостимуляторов благодаря их способности воздействовать на ростовые процессы растений, регулировать эффективность использования питательных веществ, а также влиять на устойчивость к широкому спектру абиотических и биотических внешних стрессов. Цианобактерии секретируют несколько биоактивных и сигнальных молекул, включая осмолиты, фенолы, белки, витамины, углеводы, аминокислоты, полисахариды и фитогормоны, которые могут работать в синергии для стимулирования роста растений. Именно способность цианобактерий продуцировать биологически активные молекулы, эффективные в малых дозах на растениях, а также возможность получения биомассы со стабилизированными химическими и функциональными характеристиками, благодаря высоко контролируемым условиям культивирования, привели научное сообщество к сосредоточению внимания на цианобактериях как перспективном биоресурсе для производства нового класса высококачественных биостимуляторов. Однако их целенаправленное применение в растениеводстве все еще находится на начальной стадии.

Цианобактерии *Limnospira platensis* благодаря возможности осуществлять направленное регулируемое культивирование этого вида микроорганизмов и широкому спектру биологически-активных веществ в их составе являются перспективной базой для создания эффективных экологически безопасных продуктов [4, 5].

**Цель работы** – изучение влияния ростостимулирующих комплексов эндометаболитов цианобактерий *Limnospira platensis* при их применении в предпосевной обработке семян и фолиарных (листовых) подкормках вегетирующих растений на урожайность зерна сои.

#### **Материал и методы исследования**

Полевые и лабораторные исследования выполнялись на базе лаборатории управления вегетацией и продукционным процессом сельскохозяйственных культур ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых и крупяных культур» в 2023-2024 гг.

В работе использовались рассматриваемые в качестве прототипов для создания нового биостимулятора растений комплекс эндометаболитов цианобактерий *Limnospira platensis* (КМ) и его модификации, фортифицированные (дополнительно обогащенные) элементами питания В, Se и Р, разработанные на кафедре химии ФГБОУ ВО «Курский государственный университет». Базовый КМ представляет собой густую массу темно-зеленого цвета изготавливаемый путем ферментации биомассы цианобактерий *Limnospira platensis*. Фортификация базового КМ для получения модификаций осуществлялась путем добавления соответствующих элементов в форме растворимых солей. Производственная площадка по производству биомассы цианобактерий *Limnospira platensis* находится в п. Поныри Курской области – НИЦ МТ «Биосоляр МГУ».

Перед полевыми исследованиями был проведен ряд лабораторных опытов с применением широкого спектра различных доз указанных комплексов в предпосевной обработке семян различных азотфиксирующих культур разных сортов с целью выявления максимальной эффективности посредством определения энергии прорастания, лабораторной всхожести по ГОСТ 12038-84, энергии роста проростков с одновременной фиксацией биометрических показателей. Наилучшие варианты были отобраны для последующего исследования в полевых опытах.

Полевые исследования проводили на сорте сои Мезенка индетерминантного типа роста и развития селекции ФНЦ ЗБК (в Госреестре РФ с 2016 г.).

Влияние применения ростостимулирующих комплексов в полевых опытах изучали на серой лесной среднесуглинистой средне окультуренной почве в 2023-2024 гг. Учётная площадь делянки 10,0 м<sup>2</sup>, повторность – трехкратная, размещение систематизированное. Способ посева – широкорядный (0,45 м) селекционной сеялкой СКС-6-10, норма высева – 600 тысяч всхожих семян на 1 га.

**Схема опыта:** 1. контроль (не обработанные семена и растения), 2. базовый комплекс эндометаболитов цианобактерий *Limnospira platensis* (KM) (Spirustim Fer), 3. комплекс фортифицированный селеном (KM+Se) (Spirustim Fer+Se), 4. комплекс фортифицированный фосфором (KM+P) (Spirustim Fer+P), 5. комплекс фортифицированный бором (KM+B) (Spirustim Fer+B).

Расход изучаемых препаратов в предпосевной обработке семян составлял 0,6 л/т, а в листовой подкормке – 0,3 л/га, в фортификации: Spirustim Fer+Se – 0,6 л/т+0,008 г/т и 0,3 л/га+1,37 г/га; Spirustim Fer+P – 0,6 л/т+800 г/т и 0,3 л/га+\_350 г/га; Spirustim Fer+B – 0,6 л/т+400 Н<sub>3</sub>ВО<sub>3</sub> г/т и 0,3 л/га +15 Н<sub>3</sub>ВО<sub>3</sub> г/га.

Предпосевная обработка семян проводилась за день до посева, доза рабочего раствора – 20 л/т. Фолиарные (листовые) подкормки – в фазу 1-3 тройчатых листьев, доза рабочего раствора – 300 л/га. Способ уборки – прямое комбайнирование поделяночно селекционным комбайном Zürn 150 в макрофазу развития – отмирание (код ВВСН 909). Учёт урожая поделяночный.

Биохимическая оценка качества зерна сои проводилась в лаборатории физиологии и биохимии ФНЦ зернобобовых и крупяных культур. В образцах определялось содержание белка и жира с использованием анализатора зерна Infratec 1241 (программа SO 090711). Результаты учёта урожая и качества зерна обработаны методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (1985).

При проведении полевых испытаний дополнительно определялась активность пероксидаз в тканях различных органов растений сои в разные фазы их роста и развития. Определение проводилось методом Бояркина по скорости окисления субстрата – бензидина перикисью водорода. При этом была проведена некая модификация процесса пробоподготовки растительного материала с установлением массы навесок (0,2 и 0,5 г для стеблей и корней соответственно) и количества буферного раствора (5 и 10 мл соответственно) для последующего приготовления супернатанта, участвующего в реакции окисления. Статистическую обработку полученных результатов проводили методом однофакторного дисперсионного анализа полевого опыта по Б.А. Доспехову с использованием программы Дисперсия 3.0 (Office XL).

#### **Результаты исследований и их обсуждение**

В результате проведения лабораторных исследований впервые получены данные о влиянии предпосевной обработки семян сои различными концентрациями биопрепаратов (ростстимулирующих комплексов) на начальном этапе онтогенеза.

Так, на примере опыта со Spirustim-Fer без фортификации, общей реакцией на предпосевную обработку семян сои являлось увеличение показателей посевных качеств. Лабораторная всхожесть в опыте с применением различных концентраций Spirustim-Fer возросла в среднем по всем опытным вариантам в сравнении с контролем на 9,7% в относительном исчислении. Предпосевная обработка семян сои биопрепаратами достаточно эффективно воздействовала на начальные этапы ростовых процессов (рис.). Уже на 7 -е

сутки проращивания при использовании в предпосевной обработке семян Spirustim-Fer длина проростков превышала по сравнению с контрольным вариантами в 1,2 раза или на 19,8%. Визуальные наблюдения и оценка накопления сухой биомассы к общей длине проростка показала, что растения опытных вариантов характеризуются более разветвленной корневой системой с множеством боковых корешков последующих порядков и более мощной надземной частью, так как накопление сухой биомассы к погонному см проростка составило в пределах от 23,4 до 25,4 мг, что в среднем по вариантам на 14% выше контроля.

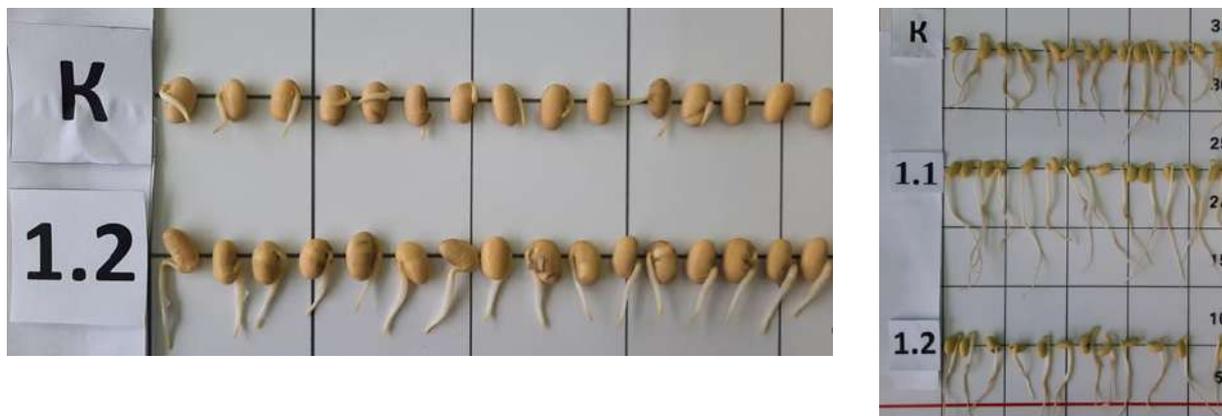


Рис. Проростки сои: слева – на 3 - е сутки проращивания, справа – на 7 - е сутки (К – необработанные семена, 1.1 и 1. 2 - семена, обработанные Spirustim-Fer). Фото авторов

Результаты исследований влияния комплекса эндометаболитов цианобактерий *Limnospira platensis* и его фортифицированных модификаций на урожайность и качество зерна сои сорта Мезенка представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Влияние биопрепаратов на урожайность и качество зерна сои сорта Мезенка**

Вариант	Урожай зерна, т/га		Содержание в зерне, %			
	2023 г.	2024 г.	Белка		Жира	
			2023 г.	2024 г.	2023 г.	2024 г.
Контроль	2,27	2,58	40,9	39,7	21,2	22,0
Spirustim Fer	2,32	2,79	41,1	39,9	21,4	21,9
Spirustim Fer+Se	2,47	2,94	41,0	40,6	21,5	21,6
Spirustim Fer+P	2,5	2,92	40,9	39,4	21,7	22,2
Spirustim Fer+B	2,29	2,55	40,9	40,3	21,6	21,9
HCP <sub>05</sub>	0,21	0,26	0,32	0,22	0,22	0,1

Анализ таблицы 1 показал, что соя сорта Мезенка по-разному реагировала на применение комплексов разного состава. Применение составов комплекса эндометаболитов + P и комплекса эндометаболитов + Se (Spirustim Fer+P и Spirustim Fer+ Se) для предпосевной обработки семян в дозе 0,6 л/т и одной листовой подкормкой в фазу 1-3 тройчатых листьев в дозе 0,3 л/га за 2 года исследований привело к получению максимальных статистически значимых прибавок урожая зерна в среднем 0,28 т/га или 11,5% при урожайности на контрольном варианте 2,43 т/га.

Повышение продуктивности сельскохозяйственных растений под действием биостимуляторов констатируется различными авторами. При этом отмечается, что интенсивность влияния зависит от типа биостимулятора, его концентрации и количества применений [6]. Влияние на показатели качества урожая также определяются различными факторами. Szparaga A. и соавторы (2018) при исследовании влияния синтетических стимуляторов на культуру сои установили, что приводя к увеличению продуктивности растений, используемые ими препараты приводили к снижению содержания белка и жира в

Научно – производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры» № 1 (57) 2026 г. зерне независимо от количества обработок или концентраций тестируемых объектов. В другой их работе показано, что использование натуральных стимуляторов при возделывании сои приводило к повышению общей концентрации липидов в семенах при незначительном снижении содержания белка. Кроме того, ученые фиксировали изменения в аминокислотном профиле и составе жирных кислот семян (Szparaga A. и соавторы, 2021).

При совокупности высоких значений у показателей урожайность и количество белка в зерне, максимальный сбор белка наблюдался на варианте с применением Spirustim Fer+ Se и составляет в среднем 1105,7 кг/га, что больше контрольного варианта на 126,4 кг/га или на 11,4%.

Интерес представляют результаты определения пероксидазной активности в тканях различных органов растений сои, полученные в ходе опыта в 2023 году (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние биопрепаратов на активность пероксидазы (у.е./мг сырой массы) в растениях сои в фазу 1-3 тройчатых листьев до и после фолиарной подкормки**

Варианты	Стебли		Корни	
	До	После	До	После
Контроль	0,0718	Не определялась	0,0061	0,0076
Spirustim Fer	0,1317		0,0088	0,0107
Spirustim Fer+Se	0,1237		0,0138	0,0177
Spirustim Fer+P	0,1197		0,0213	0,0190
Spirustim Fer+B	0,1133		0,0190	0,0297
НСР <sub>05</sub>	0,0496		0,0050	0,0041

Показано, что пероксидазная активность в тканях растений сои в фазу 1-3 тройчатых листьев на опытных вариантах после проведенной предпосевной обработки семян в среднем по вариантам опыта была выше на 23,2% в стеблях и на 61,1% в корнях растений, чем пероксидазная активность тканей тех же частей растений контрольного варианта. После листового опрыскивания в среднем повышается скорость протекания реакции в корнях на 60,4% в сравнении с необработанными растениями. Полученные результаты согласуются с данными, полученными рядом авторов, демонстрирующими активацию антиоксидантной системы сельскохозяйственных растений под действием ростостимулирующих препаратов [7, 8].

При этом считается, что более выражено реагируют на различные стимулы системы корней как более чувствительные к ним, что нашло свое отражение и в результатах проведенного исследования.

Полученные результаты свидетельствуют в пользу предположения, выдвигаемого рядом авторов о том, что использование биостимуляторов фактически является управляемым стрессированием растений. В определенном диапазоне низких концентраций они вызывают «мягкий» стресс, способствующий интенсификации физиологических процессов и быстрому наступлению этапа адаптации с восстановлением баланса между образованием и нейтрализацией активных форм кислорода в растениях.

В этой связи важно отметить, что в течение роста и развития растений сои в рамках опыта в 2023 году наблюдались внешние абиотические стресс-факторы, которые наиболее выражено проявились в первой половине вегетации растений. При сумме осадков в первой декаде июня 1,7 мм или 11,3% от среднегодовой нормы при предшествующих месяцах апреле-мае с ГТК (гидротермическим коэффициентом) = 0,21-0,29 наблюдается недостаточное увлажнение в верхних слоях почвы (почвенная засуха!).

Таким образом, можно заключить, что используемые комплексы в данном случае выступили как адаптогены, тем самым способствуя повышению продуктивности. Наиболее важным является тот факт, что биостимуляторы, в отличие от гормонов, влияют на метаболические процессы растений без изменения их естественных путей.

### Заключение

Результаты исследований показали значительные отличия по влиянию разных комплексов эндометаболитов цианобактерий *Limnospira platensis*, в том числе фортифицированных (обогащенных) элементами питания, на урожайность сои и возможность применения последних в качестве препаратов для предпосевной обработки семян и внекорневых (листовых, фолиарных) подкормок.

Выявлена эффективность применения комплексов, фортифицированных фосфором и селеном, при предпосевной обработке семян и опрыскивании растений в фазу 1-3 тройчатых листьев в дозе 0,6 л/т +0,3 л/га на сое сорта Мезенка.

Применение данных препаратов помогает в активации обменных окислительно-восстановительных процессов, тем самым повышая стрессоустойчивость к неблагоприятным воздействиям извне и способствует поддержанию гомеостаза.

### Литература

1. Полухин А.А., Зубарева К.Ю. Развитие органического земледелия в Российской Федерации и рентабельность производства органической сои. // Достижения науки и техники АПК. – 2023. – Т. 37, № 6. – С. 44-49. – DOI 10.53859/02352451\_2023-37-6-44. – EDN WHFPLK.
2. Зотиков В.И., Зубарева К.Ю., Хрыкина Т.А. Биологизированные агроприемы в технологии возделывания сои. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2025. – № 1(53). – С. 14-22. – DOI 10.24412/2309-348X-2025-1-14-22. – EDN GGHCWX.
3. Зубарева К.Ю., Прудников П.С. Влияние биопрепаратов на начальные ростовые процессы азотфиксирующих культур. // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: Материалы XX международной научной конференции, Брянск, 14 марта 2023 года. – Брянск: Брянский государственный аграрный университет, - 2023. – С. 211-216. – EDN OWEVIQ.
4. Сорока В.В., Болдин А.А., Косолапова Н.И. [и др.]. Эффективность применения эндометаболитов цианобактерий *Arthrospira platensis* при возделывании сахарной свеклы. // Проблемы региональной экологии. - 2024. - № 6. – С. 5-12. – DOI 10.24412/1728-323X-2024-6-5-12. – EDN XJXIFD.
5. Сорока В.В., Косолапова Н.И., Проценко Е.П. Оценка возможности использования препарата на основе экзометаболитов цианобактерии *Arthrospira platensis* для предпосевной обработки семян кукурузы. // Биосистемы: организация, поведение, управление: Тезисы докладов 78-й Всероссийской с международным участием школы-конференции молодых ученых, Нижний Новгород, 14–18 апреля 2025 года. – Нижний Новгород: Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, - 2025. – С. 238. – EDN FNACUU.
6. Баранов В.Ф., Уго Торо Корреа, Ширинян О.М. и др. Влияние стимуляторов роста растений на продуктивность сои. //Научно-технический бюллетень ВНИИМК. - 2006. - №. 2 (135). – С. 104-106.
7. Effect of germination with sodium selenite on the isoflavones and cellular antioxidant activity of soybean (*Glycine max*) //LWT. – 2018. – Т. 93. – С. 64-70.
8. Guardado-Félix D. et al. Effect of sodium selenite on isoflavonoid contents and antioxidant capacity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts //Food chemistry. – 2017. – Т. 226. – С. 69-74.

### References

1. Polukhin A. A., Zubareva K. Yu. Development of organic farming in the Russian Federation and the profitability of organic soybean production. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2023, Vol. 37, no. 6, pp. 44-49. DOI 10.53859/02352451\_2023\_37\_6\_44. EDN WHFPLK.
2. Zotikov V. I., Zubareva K. Yu., Khrykina T. A. Biologized agricultural practices in soybean cultivation technology. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2025, no.1(53), pp. 14-22. DOI 10.24412/2309-348X-2025-1-14-22. EDN GGHCWX.
3. Zubareva K. Yu., Prudnikov P. S. The Effect of Biopreparations on the Initial Growth Processes of Nitrogen-Fixing Crops. *Agroecological Aspects of Sustainable Development of the Agricultural Sector: Proc. XX International Scientific Conference, Bryansk, March 14, 2023*. Bryansk: Bryansk State Agrarian University, 2023, pp. 211-216. - EDN OWEVIQ.

- Научно – производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры» № 1 (57) 2026 г.
4. Soroka V. V., Boldin A. A., Kosolapova N. I. [et al.] Efficiency of using endometabolites of cyanobacteria *Arthrospira platensis* in sugar beet cultivation. *Problemy regional'noi ekologii*. 2024, no. 6, pp. 5-12, DOI 10.24412/1728-323X-2024-6-5-12, EDN XJXIFD.
  5. Soroka V. V., Kosolapova N. I., Protsenko E. P. Assessing the feasibility of using a product based on exometabolites of the cyanobacterium *Arthrospira platensis* for pre-sowing treatment of corn seeds. *Biosystems: Organization, Behavior, and Control: Abstracts of the 78th All-Russian International Conference-School for Young Scientists*, Nizhny Novgorod, April 14-18, 2025. *Natsional'nyi issledovatel'skii Nizhegorodskii gosudarstvennyi universitet im. N.I. Lobachevskogo*, 2025, pp. 238, EDN FNACUU.
  6. Baranov V. F., Ugo Toro Korrea, Shirinyan O.M. et al. The influence of plant growth stimulants on soybean productivity. *Nauchno-tekhnicheskii byulleten' VNIIMK*, 2006, no.2 (135), pp. 104-106.
  7. Effect of germination with sodium selenite on the isoflavones and cellular antioxidant activity of soybean (*Glycine max*). *LWT*, 2018, Vol. 93, pp. 64-70.
  8. Guardado-Félix D. et al. Effect of sodium selenite on isoflavonoid contents and antioxidant capacity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprouts. *Food chemistry*, 2017, Vol. 226, pp. 69-74.