

УДК 633.16:631.82

DOI: 10.33284/2658-3135-104-2-131

**Влияние регуляторов роста на динамику элементов минерального питания  
в почве и растениях**

*А.С. Верещагина, А.А. Неверов, Р.Ш. Ураскулов*

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

**Аннотация.** Роль регуляторов роста в оптимизации питания растений, повышении урожайности культур и охране окружающей среды изучена недостаточно. Изучалось влияние предпосевной обработки семян ярового ячменя сорта Натали регуляторами роста на динамику элементов минерального питания в почве и растениях. Были взяты регуляторы роста: Мивал-Агро, Фитоспорин-М, Ж экстра, Экстрасол, Гуми-20М калийный, Фитоспорин-М, Ж фунги-бактерицид, Борогум-М комплексный, Борогум-М молибденовый. Испытание препаратов проводили в полевых условиях в степной зоне Оренбургской области. Исследования по содержанию питательных веществ в почве и растениях выполнялись по соответствующим ГОСТам. Азот, фосфор и калий в почве и растениях определяли в основные фазы развития ячменя. В вариантах применения регуляторов роста к фазе колошения увеличивается содержание нитратного азота в почве. В вариантах Мивал-Агро и Борогум-М молибденовый снижается содержание доступного фосфора и обменного калия в почве. Содержание азота в надземной массе ячменя повысилось в фазе кущения в вариантах применения препаратов с разными штаммами *Bacillus subtilis*. На содержание фосфора и калия в растениях регуляторы роста не оказали существенного влияния. Сделано заключение, что препараты на основе различных штаммов *Bacillus subtilis* улучшают азотное питание растений в условиях засухи.

**Ключевые слова:** ячмень яровой, регуляторы роста, семена, биопрепараты, азот, фосфор, калий.

UDC 633.16:631.82

**Influence of growth regulators on the dynamics of mineral nutrition elements in soil and plants**

*Antonina S Vereshchagina, Aleksandr A Neverov, Ruslan Sh Uraskulov*

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

**Summary.** The role of growth regulators in optimizing plant nutrition, increasing crop yields and protecting the environment has not been enough studied. The aim of the research was to study the effect of pre-sowing treatment of spring barley seeds with growth regulators on the dynamics of mineral nutrition elements in soil and plants. Research objects: spring barley variety Natali, growth regulators: Mival-Agro, Fitosporin-M, Zh extra, Extrasol, Gumi-20M potassium, Fitosporin-M, Zh fungi-bactericide, Borogum-M complex, Borogum-M molybdenum. The preparations were tested in the field in the steppe zone of the Orenburg region. Studies on the content of nutrients in soil and plants were carried out in accordance with the relevant GOSTs. Nitrogen, phosphorus, and potassium in soil and plants were determined during the main phases of barley development. In the variants of application of growth regulators to the heading phase, the content of nitrate nitrogen in the soil increases. In the variants with Mival-Agro and Borogum-M molybdenum, the content of available phosphorus and exchangeable potassium in the soil decreases. The nitrogen content in the aboveground mass of barley increased in the tillering phase in the variants of using preparations with different strains of *Bacillus subtilis*. Growth regulators did not have a significant effect on the content of phosphorus and potassium in plants. It was concluded that preparations based on various strains of *Bacillus subtilis* improve nitrogen nutrition of plants under drought conditions.

**Key words:** spring barley, growth regulators, seeds, biological products, nitrogen, phosphorus, potassium., nitrogen, phosphorus, potassium.

**Введение.**

Растения, выращиваемые в полевых условиях, подвергаются различным воздействиям окружающей среды, таким как высокая или низкая температура, засуха и засоление. Среди этих стрессов засуха является наиболее серьёзной проблемой для мирового сельского хозяйства, затрагивающей примерно 40 % площади суши в мире (United Nations Environment Management Group, 2011). Засуха и высокотемпературный стресс нарушают физиологические функции растений, влияют на усвоение питательных веществ. Засуха препятствует росту, соотношению питательных веществ и воды, фотосинтезу, разделению ассимилятов и, в конечном итоге, вызывает значительное снижение урожайности сельскохозяйственных культур (Farooq M et al., 2009; Praba ML et al., 2009). Активность основных ферментов, таких как нитратредуктаза, участвующих в метаболизме питательных веществ, также может быть значительно снижена при высокотемпературном стрессе (Klimenko SB et al., 2006). Снижение потребления питательных веществ при тепловом стрессе может быть связано с такими факторами, как уменьшение массы корня и потребление питательных веществ на единицу площади корня (Basirirad H, 2000). Растения увеличивают длину и площадь поверхности корней и изменяют свою архитектуру, чтобы улавливать менее подвижные питательные вещества (Lynch JP and Brown KM, 2001). Дефицит влаги в почве в разы замедляет рост корней и, следовательно, снижает потребление менее подвижных питательных веществ, таких как фосфор (Garg BK, 2003). Оптимизация условий роста растений и обеспечения водой, питательными веществами и регуляторами роста растений может снизить воздействие абиотических стрессов (Yakhin OI et al., 2017)

Обеспокоенность по поводу безопасности поставок и колебания стоимости фосфорных удобрений привели к росту интереса к микроорганизмам, которые способствуют поглощению растением фосфора из почвы (Richardson AE and Simpson RJ, 2011). Усиление роста растений некоторыми растительными микроорганизмами и почвенными микроорганизмами связано с их способностью действовать как «биоудобрения» за счёт увеличения доступности питательных веществ в ризосфере растений (Vessey JK, 2003).

Способность биостимуляторов увеличивать усвоение питательных макроэлементов объяснялась их влиянием на активность поглощения или стимуляцию метаболизма азота (Calvo P et al., 2014; Rose MT et al., 2014).

С учётом изменения климата роль регуляторов роста в смягчении абиотических стрессовых условий сельскохозяйственных культур приобретает большое значение и является многообещающим направлением исследований по предпосевной обработке семян.

**Цель исследования.**

Изучение влияния предпосевной обработки семян ярового ячменя регуляторами роста на динамику элементов минерального питания в почве и растениях.

**Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Сорт ярового ячменя Натали.

**Характеристика территорий, природно-климатические условия.** Испытание препаратов проводили в полевых условиях на опытном участке ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФНЦ БСТ РАН), расположенном в степной зоне Оренбургской области.

Почва участка – чернозём южный карбонатный среднесуглинистый, среднемощный.

Посев ячменя был проведён 30 апреля. Период от посева до колошения сопровождался воздушно-почвенной засухой, создавшей неблагоприятные условия для роста и развития растений ячменя. Среднесуточная температура воздуха в фазу колошения превышала среднегодовые показатели на 2,5 °С, максимальная температура была выше +33 °С.

Запасы продуктивной влаги в начале вегетации в полутораметровом слое почвы в результате сильного иссушения почвы осенью, после уборки предшественника, были низкими и составили 132 мм или 49 % от НВ, что ниже оптимального увлажнения (75-80 % НВ) для посевов ячменя.

К критическому периоду развития растений – колошению запасы влаги в метровом слое почвы снизились до 25 мм. Обеспеченность посевов ячменя водой по А.М. Алпатьеву в течение всего периода вегетации была на уровне 30 % от потребности.

**Схема эксперимента.** Сорт ярового ячменя Натали характеризуется умеренной устойчивостью к болезням, засухоустойчив.

Для обработки семян ячменя использовали различные по происхождению регуляторы роста: синтетический аналог ауксина Мивал-Агро, микробные препараты: Фитоспорин и Экстрасол, а также комплексные препараты, включающие в себя гуматы, микробные препараты и микроэлементы в различных сочетаниях и концентрациях: Гуми-20М калийный, Борогум-М комплексный, Борогум-М молибденовый.

Семена ячменя перед посевом обрабатывали растворами препаратов по схеме, представленной в таблице 1.

Таблица 1. Варианты опыта  
Table 1. Variants of experience

Номер варианта /Variant number	Наименование препарата /Drug name	Норма расхода препарата и воды на 1 т семян / Consumption of drug and water per 1 ton of seeds
1	Контроль/Control	10 л воды/10 l of water
2	Фитоспорин-М, Ж экстра/Fitosporin-M, Zh extra	1,5 л в 20 л воды/1.5 liters in 20 liters of water
3	Мивал-Агро/Mival-Agro	10 г в 10 л воды/10 g in 10 l of water
4	Гуми-20М калийный/ Gumi-20M potash	0,4 л в 10 л воды/0.4 l in 10 l of water
5	Экстрасол/ Extrasol	1,0 л в 10 л воды/1.0 l in 10 l of water
6	Фитоспорин-М, Ж фунги-бактерицид/ Fitosporin-M, Zh fungi-bactericide	1,0 л в 20 л воды/1.0 l in 20 l of water
7	Борогум-М комплексный/Borogum-M complex	0,2 л в 10 л воды/0.2 l in 10 l of water
8	Борогум-М молибденовый/Borogum-M molibdenum	0,3 л в 10 л воды/0.3 l in 10 l of water

**Оборудование и технические средства.** Полевые работы выполнялись с помощью российской сельскохозяйственной техники: трактор Т-25, плуг ПН-4-35, культиватор КПС-4, сеялка СН-16, кольчатые катки и бороны зубовые, трактор МТЗ 1221 (Беларусь). Уборку урожая зерна ячменя производили зерноуборочным комбайном TERRION-SAMPO SR 2010 (ЗАО "Агротехмаш", Россия).

Исследования по содержанию питательных веществ в почве и растениях выполнялись в лаборатории массовых анализов и на оборудовании Испытательного центра ЦКП БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.2015).

Для лабораторных исследований использовались: шкаф сушильный CHIRANAHS 62/1 (Чехословакия), мельница растительных проб МРП-2 (Россия).

Содержание нитратного азота в почве определяли иономером лабораторным И-160 (ГОСТ 26951-86), подвижного фосфора – по методу Мачигина спектрофотометром КФК-3КМ (ГОСТ 26205-91), обменного калия – по методу Мачигина спектрофотометром атомно-абсорбционным «Формула ФМ-400» (ГОСТ 26205-91).

В образцах растений азот определяли аппаратом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93), фосфор – колориметром фотоэлектрическим концентрационным КФК-2 (ГОСТ 26657-97), калий – спектрофотометром атомно-абсорбционным «Формула ФМ-400» (ГОСТ 30504-97).

**Статистическая обработка.** Полученные экспериментальные данные обрабатывались методом дисперсионного анализа с помощью офисного программного обеспечения «Microsoft Office» в программе «Statistica 6.0» (StatSoftinc., США).

#### Результаты исследований.

Обеспеченность основными элементами минерального питания пахотного слоя почвы 0-30 см в период появления всходов по вариантам опыта существенно не различалась.

Содержание нитратного азота 11,3-14,5 мг кг<sup>-1</sup> почвы соответствовало низкой обеспеченности почвы этим элементом, содержание подвижного фосфора 42,5-46,5 мг было высоким, обменного калия 233-255,5 мг – средним (табл. 2).

Таблица 2. Содержание питательных веществ под посевами ячменя в пахотном слое почвы, мг в 1 кг почвы

Table 2. The content of nutrients under crops of barley in the arable layer of soil, mg per 1

Варианты опыта/ <i>Variant of experiment</i>	N-NO <sub>3</sub>			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O		
	всходы / <i>seedlings</i>	колошение / <i>earring</i>	полная спелость зерна / <i>full ripeness of seed</i>	всходы / <i>seedlings</i>	колошение / <i>earring</i>	полная спелость зерна / <i>full ripeness of seed</i>	всходы / <i>seedlings</i>	колошение / <i>earring</i>	полная спелость зерна / <i>full ripeness of seed</i>
Контроль / <i>Control</i>	11,9	13,5	13,4	44,5	30,0	24,0	246,5	228,0	246,5
Фитоспорин-М, Ж экстра / <i>Fitosporin-M, Zh extra</i>	11,4	15,8*	20,9*	44,5	27,5	20,5	237,5	219,0*	223,5*
Мивал-Агро / <i>Mival-Agro</i>	11,3	16,3*	22,9*	42,5	24,5*	21,0	242,0	196,0*	214,5*
Гуми-20М калийный / <i>Gumi-20M potash</i>	12,9*	16,2*	21,6*	46,5	29,0	22,5	237,5	223,5	219,0*
Экстрасол / <i>Extrasol</i>	12,6*	18,7*	21,9*	43,0	27,5	24,5	246,5	228,0	256,0
Фитоспорин-М, Ж фунги-бактерицид / <i>Fitosporin-M, Zh fungi-bactericide</i>	14,5*	17,4*	21,6*	46,0	26,5	21,0	237,5	223,5	251,5
Борогум-М комплекс / <i>Borogum-M complex</i>	12,8*	13,1	21,2*	43,0	25,0*	23,0	233,0	233,0	256,0
Борогум-М молибденовый / <i>Borogum-M molibdenum</i>	14,0*	12,9	22,4*	46,5	25,5*	24,0	255,5	237,5*	251,5
Обеспеченность почвы / <i>Soil sufficiency:</i>									
низкая / <i>low</i>		≤15			≤16			≤200	
средняя / <i>average</i>		15-20			16-30			201-300	
высокая / <i>high</i>		≥20			≥31			≥300	

Примечание: \* – Различия с контролем достоверны при P≤0,05

Note: \* – Differences with control are significant at P≤0.05

Максимальное потребление элементов минерального питания проходит до фазы колошения ячменя. Содержание подвижного фосфора в почве в вариантах применения регуляторов роста снизилось до 24,5-25,5; в контрольном варианте – до 30 мг кг<sup>-1</sup>. Снижение содержания обменного калия в наибольшей степени отмечалось в вариантах Мивал-Агро и Борогум-М молибденовый.

Содержание нитратного азота в вариантах применения регуляторов роста к фазе колошения увеличивается, достигая к полной спелости зерна 20,9-22,9 мг кг<sup>-1</sup> почвы. В контрольном варианте оно остаётся на уровне 13,4 мг кг<sup>-1</sup>.

Примерно за 40 дней до полной спелости зерна потребление основных элементов минерального питания посевами ячменя заканчивается. К этому времени наблюдалось некоторое увеличение содержания обменного калия до 214,5-256 мг кг<sup>-1</sup> почвы. Содержание фосфора в почве незначительно снизилось во всех вариантах опыта до 20,5-24,5 мг кг<sup>-1</sup> почвы.

Содержание в надземной массе растений общих форм азота, фосфора и калия в фазу кущения и колошения было оптимальным, за исключением азота в фазу кущения, которое было низким и варьировало от 2,8 % на контроле до 2,9-3,6 % по вариантам опыта (табл. 3).

Таблица 3. Содержание макроэлементов в растениях ячменя по фазам развития, % от абсолютно сухого вещества

Table 3. Content of macronutrients in barley plants by phase development, % of absolutely dry matter

Варианты/ <i>Variants</i>	Фаза развития/ <i>Development phases</i>					
	кущение/ <i>tillering</i>			колошение/ <i>earring</i>		
	азот/ <i>nitrogen</i>	фосфор/ <i>phosphorus</i>	калий/ <i>potassium</i>	азот/ <i>nitrogen</i>	фосфор/ <i>phosphorus</i>	калий/ <i>potassium</i>
Контроль/ <i>Control</i>	2,8	0,6	5,1	1,6	0,4	2,5
Фитоспорин-М, Ж экстра <i>/Fitosporin-M, Zh extra</i>	3,1	0,7	4,8	1,8	0,4	2,4
Мивал-Агро/ <i>Mival-Agro</i>	3,0	0,7	4,7	1,7	0,4	2,3
Гуми-20М калийный/ <i>Gumi-20M potash</i>	2,9	0,7	5,1	1,9	0,4	2,5
Экстрасол/ <i>Extrasol</i>	3,6*	0,6	4,4	1,9	0,4	2,5
Фитоспорин-М, Ж фунги- бактерицид/ <i>Fitosporin-M, Zh</i> <i>fungi-bactericide</i>	3,3*	0,6	4,6	2,0*	0,4	2,3
Борогум-М комплексный/ <i>Borogum-M complex</i>	3,3*	0,6	5,0	2,2*	0,4	2,7
Борогум-М молибденовый <i>/Borogum-M molybdenum</i>	3,3*	0,5	4,8	1,9	0,4	2,7
Оптимальное содержание по В.В. Церлинг/ <i>The optimal content</i> <i>according to V.V. Zerling</i>	4,7-5,3	0,55-0,65	4,2-5,0	1,2-1,9	0,30-0,40	1,5-2,1

Примечание: \* – Различия с контролем достоверны при P≤0,05

Note: \* – Differences with control are significant at P≤0.05

Результаты растительной диагностики коррелируют с почвенными анализами пахотного слоя почвы. В фазу кущения отмечалось низкое содержание нитратного азота в почве, к фазе колошения обеспеченность почвы нитратами увеличилась до среднего уровня, и содержание общего азота в надземной массе ячменя выросло до оптимальных значений 1,6-2,2 % от абсолютно сухого вещества для данной фазы развития растений.

В зерне в фазу полной спелости наибольшее содержание азота получено в вариантах с Экстрасолом, Фитоспорином-М, Ж фунги-бактерицидом и Борогумом-М молибденовым – 2,4 % (табл. 4).

Таблица 4. Содержание общих форм азота, фосфора и калия в зерне ячменя, % от абсолютно сухого вещества

Table 4. Content of common forms of nitrogen, phosphorus and potassium in grain barley, % of absolutely dry matter

Варианты/Variants	Зерно/Grain		
	азот/ nitrogen	фосфор/ phosphorus	калий/ potassium
Контроль /Control	2,1	0,7	6,3
Фитоспорин-М, Ж экстра / <i>Fitosporin-M, Zh extra</i>	2,3	0,6	6,1
Мивал-Агро / <i>Mival-Agro</i>	2,3	0,8	6,4
Гуми-20М калийный / <i>Gumi-20M potash</i>	2,3	0,8	6,1
Экстрасол / <i>Extrasol</i>	2,4*	0,7	6,4
Фитоспорин-М, Ж фунги-бактерцид/ <i>Fitosporin-M, Zh fungi-bactericide</i>	2,4*	0,5	6,3
Борогум-М комплексный / <i>Borogum-M complex</i>	2,3	0,7	6,3
Борогум-М молибденовый / <i>Borogum-M molibdenum</i>	2,4*	0,7	6,6

Примечание: \* – Различия с контролем достоверны при  $P \leq 0,05$

Note: \* – Differences with control are significant at  $P \leq 0.05$

По содержанию фосфора (0,5-0,8 %) и калия (6,1-6,6 %) варианты существенно не различались.

#### Обсуждение полученных результатов.

Обеспеченность растений питательными веществами является одним из определяющих факторов формирования урожайности культур. Регуляторы роста, применяемые для обработки семян, повышают коэффициент использования питательных веществ из почвы и удобрений (Антонова О.И. и др., 2003; Колягин Ю.С. и Новичихин О.В., 2011).

Увеличение содержания нитратного азота в почве в вариантах применения регуляторов роста к фазе колошения и полной спелости зерна ячменя происходит, по нашему мнению, за счёт усиления процессов нитрификации содержащимися во всех препаратах, кроме Мивал-Агро, бактериями *Bacillus subtilis*. Мивал-Агро увеличивает численность сапрофитных бактерий, утилизирующих органические соединения азота (Черемисин А.И. и Кумпан В.Н., 2018).

Различные роды бактерий (например, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Pseudomonas*, *Bacillus* и *Burkholderia*) содержат виды, которые положительно влияют на рост и развитие растений. Эти полезные бактерии, также обозначаемые как РGPВ, отвечают за защиту растений от биотических и абиотических стрессов, улучшая рост и продуктивность растений с помощью прямых и косвенных механизмов (Glick BR, 1995, Glick BR, 2012; Timmusk S et al., 2017). РGPВ может действовать как биоудобрение, фитостимуляторы, ризоремедиаторы, биопоглоотители стресса, биомодификаторы или агенты биологической борьбы (BCA)/биопестициды (Lugtenberg B and Kamilova F, 2009; MaYet al., 2016). Прямые механизмы включают облегчение усвоения питательных веществ, например, фиксацию азота (N), солюбилизацию фосфора (P) и калия (K). Снижение содержания доступного фосфора и обменного калия в почве к фазе колошения ячменя в вариантах с регуляторами роста косвенно может служить показателем лучшего использования этих элементов питания растениями.

Рост растений после инокуляции семян кукурузы штаммами *Bacillus megaterium* и *Bacillus licheniformis* ассоциировался с улучшенным усвоением растениями общего азота, фосфора и калия (Wu SC et al., 2005; Abbas SM, 2013). Применение РGPR привело к значительному увеличению поглощения N, P и K хлопком, пшеницей и сахарной свёклой (Egamberdiyeva D and Höflich G, 2004;

Shaharoon B et al., 2008; Hammad SAR and Ali OAM, 2014; Куликова А.Х. и Дронина О.С., 2009). Механизм действия биостимуляторов на основе метаболитов микроорганизмов заключается в стимуляции поглощения азота растениями (Jenkins TA, 2014; Плечова О.И. и Куликова А.Х., 2013). Содержание азота в надземной массе ячменя повысилось уже в фазе кущения в вариантах применения препаратов с разными штаммами *Bacillus subtilis*.

#### **Выводы**

В результате исследований по предпосевной обработке семян ярового ячменя регуляторами роста установлено, что препараты на основе различных штаммов *Bacillus subtilis* улучшают азотное питание растений в условиях засухи.

Использование в технологии возделывания сельскохозяйственных культур регуляторов роста, усиливающих усвоение питательных веществ из почвы растениями, может снизить расход минеральных удобрений и повысить уровень экологической безопасности.

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

#### Литература

1. Антонова О.И., Деккерт В.А., Потапов С.А. Биопрепараты как средство повышения урожайности и качества зерна, маслосемян подсолнечника и корней сахарной свеклы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003. № 2. С. 9-16. [Antonova OI, Deckert VA, Potapov SA. Biopreparaty kak sredstvo povysheniya urozhainosti i kachestva zerna, maslosemyan podsolnechnika i kornei sakharnoi svekly. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2003;2:9-16. (*In Russ*)].
2. ГОСТ 13496.4-93 Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Методы определения содержания азота и сырого протеина. Введ. 01.01.1995. М.: Изд-во стандартов, 1993. 15 с. [GOST 13496.4-93 Fodder, mixed fodder and animal feed raw stuff. Methods of nitrogen and crude protein determination. Vved. 01.01.1995. Moscow: Izd-vo standartov; 1993:15 p. (*In Russ*)].
3. ГОСТ 26951-86 Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом. Введ. 01.07.1987. М.: Изд-во стандартов, 1986. 7 с. [GOST 26951-86 Soils. Determination of nitrate by ionometric method. Vved. 01.07.1987. Moscow: Izd-vo standartov; 1986:7 p. (*In Russ*)].
4. ГОСТ 26205-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. Введ. 01.07.1993. М.: Изд-во стандартов, 1992. 8 с. [GOST 26205-91 Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by the Machigin method modified by ZINAO. Vved. 01.07.1993. Moscow: Izd-vo standartov; 1992:8 p. (*In Russ*)].
5. ГОСТ 26657-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Методы определения содержания фосфора. Введ. 01.01.1999. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. 10 с. [GOST 26657-97 Fodders, mixed fodders, mixed fodder raw materials. Methods for determination of phosphorus content. Vved. 01.01.1999. Minsk: Mezhhgosudarstvennyi sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii; 1997:10 p. (*In Russ*)].
6. ГОСТ 30504-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырьё. Пламенно-фотометрический метод определения содержания калия. Введ. 01.01.1999. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. 8 с. [GOST 30504-97 Fodders, mixed fodders and mixed fodder raw materials. Flame photometric method for determination of potassium content. Vved. 01.01.1999. Minsk: Mezhhgosudarstvennyi sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii; 1997:8 p. (*In Russ*)].
7. Колягин Ю.С., Новичихин О.В. Влияние корневого питания на рост растений и урожайность подсолнечника // Аграрная наука. 2011. № 10. С. 15-16. [Kolyagin YuS, Novichihin OV. Influ-

ence of root feeding on growth and yield of sunflower plants. *Agrarian Science*. 2011;10:15-16. (*In Russ*).

8. Куликова А.Х., Дронина О.С. Эффективность предпосевной обработки семян сахарной свёклы биопрепаратами и диатомитовым порошком в условиях Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2009. № 2(9). С. 55-63. [Kulikova AKh, Dronina OS. Effektivnost' predposevnoi obra-botki semyan sakharnoi svekly biopreparatami i diatomitovym poroshkom v usloviyakh Srednego Povolzh'ya. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2009;2(9):55-63. (*In Russ*)].

9. Плечова О.И., Куликова А.Х. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы биопрепаратами на основе diaзотрофов // Агрохимический вестник. 2013. № 3. С. 38-40. [Plechova OI, Kulikova AKh. Research of presowing treatment of spring wheat seeds by biopreparations on diazotrophic basement. *Agrochemical Herald*. 2013;3:38-40. (*In Russ*)].

10. Черемисин А.И., Кумпан В.Н. Изучение влияния применения биопрепаратов и стимуляторов роста на полезную микрофлору и продуктивность картофеля // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 4(51). С. 91-95. [Cheremisin AI, Kumpan VN. Study the impact of biopreparations and growth stimulators application on useful microflora and productivity of potato. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2018;13.4(51):91-95. (*In Russ*)]. doi: 10.12737/article\_5c3de390ad4cc9.66646319

11. Abbas SM. The influence of biostimulants on the growth and on the biochemical composition of *Vicia faba* CV. Giza 3 beans. *Rom Biotechnol Lett*. 2013;18(2):8061-8068.

12. Basirirad H. Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change. *New Phytol*. 2000;147(1):155-169. doi: 10.1046/j.1469-8137.2000.00682.x

13. Calvo P, Nelson L, Kloepper JW. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*. 2014;383:3-41. doi: 10.1007/s11104-014-2131-8

14. Egamberdiyeva D, Höflich G. Effect of plant growth-promoting bacteria on growth and nutrient uptake of cotton and pea in a semi-arid region of Uzbekistan. *J Arid Environ*. 2004;56(2):293-301. doi: 10.1016/S0140-1963(03)00050-8

15. Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Basra SMA. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron Sustain Dev*. 2009;29:185-212. doi: 10.1051/agro:2008021

16. Garg BK. Nutrient uptake and management under drought: nutrient-moisture interaction. *Curr Agric*. 2003;27(1/2):1-8.

17. Glick BR. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can J Microbiol*. 1995;41(2):109-117. doi: 10.1139/m95-015

18. Glick BR. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica*. 2012;2012:963401. doi: 10.6064/2012/963401

19. Hammad SAR, Ali OAM. Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Ann Agric Sci*. 2014;59(1):133-145.

20. Jenkins TA, inventor; Donaghys Industries Limited (Nz), assignee. Bio-stimulant for improved plant growth and development. United States patent US 2014/0162877 A1. 2014 Jun 12.

21. Klimenko SB, Peshkova AA, Dorofeev NV. Nitrate reductase activity during heat shock in winter wheat. *J Stress Physiol Biochem*. 2006;2(1):50-55.

22. Lugtenberg B, Kamilova F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annu Rev Microbiol*. 2009;63:541-556. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162918

23. Lynch JP, Brown KM. Topsoil foraging - an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant Soil*. 2001;237(2):225-237. doi: 10.1023/A:1013324727040

24. Ma Y, Oliveira RS, Freitas H, Zhang C. Biochemical and molecular mechanisms of plant-microbe-metal interactions: relevance for phytoremediation. *Front Plant Sci*. 2016;7:918. doi: 10.3389/fpls.2016.00918

25. Praba ML, Cairns JE, Babu RC, Lafitte HR. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. *J Agron Crop Sci.* 2009;195(1):30-46. doi: 10.1111/j.1439-037X.2008.00341.x
26. Richardson AE, Simpson RJ. Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant Physiol.* 2011;156(3):989-996. doi: 10.1104/pp.111.175448
27. Rose MT, Patti AF, Little KR, Brown AL, Jackson WR, Cavagnaro TR. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. *Adv Agron.* 2014;124:37-89. doi:10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4
28. Shaharoon B, Naveed M, Arshad M, Zahir Z. Fertilizer-dependent efficiency of *Pseudomonads* for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Appl Microbiol Biotechnol.* 2008;79:147-155. doi:10.1007/s00253-008-1419-0
29. Timmusk S, Behers L, Muthoni J, Muraya A, Aronsson AC. Perspectives and challenges of microbial application for crop improvement. *Front Plant Sci.* 2017;8:49. doi: 10.3389/fpls.2017.00049
30. United Nations Environment Management Group. 2011. [Internet]. Global Drylands: A UN system-wide response. Available from: [https://www.unep-wcmc.org/system/dataset\\_file\\_fields/files/000/000/091/original/Global-Drylands-FINAL-LR.pdf?1398440625](https://www.unep-wcmc.org/system/dataset_file_fields/files/000/000/091/original/Global-Drylands-FINAL-LR.pdf?1398440625) (cited by 2021 February 11)
31. Vessey JK. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil.* 2003;255:571-586. doi: 10.1023/A:1026037216893
32. Wu SC, Cao ZH, Li ZG, Cheung KC, Wong MH. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma.* 2005;125:155-166. doi:10.1016/j.geoderma.2004.07.003
33. Yakhin OI, Lubyantsov AA, Yakhin IA, Brown PH. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Front Plant Sci.* 2017;7:2049. doi: 10.3389/fpls.2016.02049

#### References

1. Antonova OI, Deckert VA, Potapov SA. Biopreparaty kak sredstvo povysheniya urozhainosti i kachestva zerna, maslosemyan podsolnechnika i kornei sakharnoi svekly. *Bulletin of Altai State Agricultural University.* 2003;2:9-16.
2. GOST 13496.4-93 Fodder, mixed fodder and animal feed raw stuff. Methods of nitrogen and crude protein determination. Introduction 01.01.1995. Moscow: Publishing house of standards; 1993:15 p.
3. GOST 26951-86 Soils. Determination of nitrate by ionometric method. Introduction 01.07.1987. Moscow: Publishing house of standards; 1986:7 p.
4. GOST 26205-91 Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by the Machigin method modified by ZINAO. Introduction 01.07.1993. Moscow: Publishing house of standards; 1992:8 p.
5. GOST 26657-97 Fodders, mixed fodders, mixed fodder raw materials. Methods for determination of phosphorus content. Introduction 01.01.1999. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; 1997:10 p.
6. GOST 30504-97 Fodders, mixed fodders and mixed fodder raw materials. Flame photometric method for determination of potassium content. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; 1997:8 p.
7. Kolyagin YuS, Novichihin OV. Influence of root feeding on growth and yield of sunflower plants. *Agrarian science.* 2011;10:15-16.
8. Kulikova AKh, Dronina OS. Efficiency of pre-sowing treatment of sugar beet seeds with biopreparations and diatomite powder in the conditions of the Middle Volga. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy.* 2009;2(9):55-63.
9. Plechova OI, Kulikova AK. Research of presowing treatment of spring wheat seeds by biopreparations on diazotrophic basement. *Agrochemical Herald.* 2013;3:38-40.

10. Cheremisin AI, Kumpan VN. Study the impact of biopreparations and growth stimulators application on useful microflora and productivity of potato. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2018;13.4(51):91-95. doi: 10.12737/article\_5c3de390ad4cc9.66646319
11. Abbas SM. The influence of biostimulants on the growth and on the biochemical composition of *Vicia faba* CV. Giza 3 beans. *Rom Biotechnol Lett*. 2013;18(2):8061-8068.
12. Basirirad H. Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change. *New Phytol*. 2000;147(1):155-169. doi: 10.1046/j.1469-8137.2000.00682.x
13. Calvo P, Nelson L, Kloepper JW. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*. 2014;383:3-41. doi: 10.1007/s11104-014-2131-8
14. Egamberdiyeva D, Höflich G. Effect of plant growth-promoting bacteria on growth and nutrient uptake of cotton and pea in a semi-arid region of Uzbekistan. *J Arid Environ*. 2004;56(2):293-301. doi: 10.1016/S0140-1963(03)00050-8
15. Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D, Basra SMA. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron Sustain Dev*. 2009;29:185-212. doi: 10.1051/agro:2008021
16. Garg BK. Nutrient uptake and management under drought: nutrient-moisture interaction. *Curr Agric*. 2003;27(1/2):1-8.
17. Glick BR. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can J Microbiol*. 1995;41(2):109-117. doi: 10.1139/m95-015
18. Glick BR. Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica*. 2012;2012:963401. doi: 10.6064/2012/963401
19. Hammad SAR, Ali OAM. Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Ann Agric Sci*. 2014;59(1):133-145.
20. Jenkins TA, inventor; Donaghys Industries Limited (Nz), assignee. Bio-stimulant for improved plant growth and development. United States patent US 2014/0162877 A1. 2014 Jun 12.
21. Klimentko SB, Peshkova AA, Dorofeev NV. Nitrate reductase activity during heat shock in winter wheat. *J Stress Physiol Biochem*. 2006;2(1):50-55.
22. Lugtenberg B, Kamilova F. Plant-growth-promoting rhizobacteria. *Annu Rev Microbiol*. 2009;63:541-556. doi: 10.1146/annurev.micro.62.081307.162918
23. Lynch JP, Brown KM. Topsoil foraging - an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. *Plant Soil*. 2001;237(2):225-237. doi: 10.1023/A:1013324727040
24. Ma Y, Oliveira RS, Freitas H, Zhang C. Biochemical and molecular mechanisms of plant-microbe-metal interactions: relevance for phytoremediation. *Front Plant Sci*. 2016;7:918. doi: 10.3389/fpls.2016.00918
25. Praba ML, Cairns JE, Babu RC, Lafitte HR. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. *J Agron Crop Sci*. 2009;195(1):30-46. doi: 10.1111/j.1439-037X.2008.00341.x
26. Richardson AE, Simpson RJ. Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. *Plant Physiol*. 2011;156(3):989-996. doi: 10.1104/pp.111.175448
27. Rose MT, Patti AF, Little KR, Brown AL, Jackson WR, Cavagnaro TR. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. *Adv Agron*. 2014;124:37-89. doi:10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4
28. Shaharoon B, Naveed M, Arshad M, Zahir Z. Fertilizer-dependent efficiency of Pseudomonads for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Appl Microbiol Biotechnol*. 2008;79:147-155. doi:10.1007/s00253-008-1419-0
29. Timmusk S, Behers L, Muthoni J, Muraya A, Aronsson AC. Perspectives and challenges of microbial application for crop improvement. *Front Plant Sci*. 2017;8:49. doi: 10.3389/fpls.2017.00049
30. United Nations Environment Management Group. 2011. [Internet]. Global Drylands: A UN system-wide response. Available from: [https://www.unep-wcmc.org/system/dataset\\_file\\_fields/files/000/000/091/original/Global-Drylands-FINAL-LR.pdf?1398440625](https://www.unep-wcmc.org/system/dataset_file_fields/files/000/000/091/original/Global-Drylands-FINAL-LR.pdf?1398440625) (cited by 2021 February 11)

31. Vessey JK. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*. 2003;255:571-586. doi: 10.1023/A:1026037216893

32. Wu SC, Cao ZH, Li ZG, Cheung KC, Wong MH. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*. 2005;125:155-166. doi:10.1016/j.geoderma.2004.07.003

33. Yakhin OI, Lubyantsov AA, Yakhin IA, Brown PH. Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective. *Front Plant Sci*. 2017;7:2049. doi: 10.3389/fpls.2016.02049

**Верещагина Антонина Сергеевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологий кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 8 (3532)30-83-48, 8-919-853-17-26

**Неверов Александр Алексеевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 8 (3532) 30-83-48, 8-919-861-84-18, e-mail: nevalex2008@yandex.ru

**Ураскулов Руслан Шамильевич**, старший научный сотрудник отдела технологий кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051, г. Оренбург, пр. Гагарина, 27/1, тел.: 8 (3532) 30-83-48

Поступила в редакцию 8 апреля 2021 г.; принята после решения редколлегии 15 июня 2021 г.; опубликована 30 июня 2021 г. / Received: 8 April 2021; Accepted: 15 June 2021; Published: 30 June 2021