

УДК 633.16:547.992

DOI: 10.33284/2658-3135-104-3-114

**Влияние гуминовых препаратов на усвоение элементов минерального питания  
посевами ячменя**

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

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

**Резюме.** В результате исследований по обработке семян ячменя комплексными препаратами на основе гуматов установлено, что препараты оказывают положительное влияние на усвояемость растениями элементов минерального питания из почвы: увеличивают содержание в растениях азота и калия, способствуют большему выносу элементов минерального питания с единицей основной продукции, повышают коэффициенты использования элементов питания из почвы.

Обработка семян ячменя Борогумами (комплексным и молибденовым) в сельскохозяйственном производстве в условиях недостаточного увлажнения и высокой температуры воздуха будет способствовать росту урожайности, повышению рентабельности и экологической безопасности производства зерна.

**Ключевые слова:** ячмень, гуминовые препараты, семена, азот, фосфор, калий.

UDC 633.16:547.992

**The effect of humic preparations on the assimilation of mineral nutrition elements by barley crops**

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

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

**Abstract.** As a result of studies on the treatment of barley seeds with complex preparations based on humates. It was found that the preparations have a positive effect on the assimilation of mineral nutrition elements by plants from the soil: they increase the content of nitrogen and potassium in plants, contribute to a greater removal of mineral nutrition elements with a unit of the main product, increase the coefficients of the use of nutrients from the soil.

Processing of barley seeds with Borogums (complex and molybdenum) in agricultural production in conditions of insufficient moisture and high air temperature will contribute to the growth of yield, increase the profitability and environmental safety of grain production.

**Keywords:** barley, humic preparations, seeds, nitrogen, phosphorus, potassium.

**Введение.**

Устойчивое растениеводство остаётся основной глобальной проблемой, привлекающей внимание политиков, бизнеса и научного сообщества (Agora NK, 2013). Ведётся поиск технологий, безопасных для здоровья человека, животных и окружающей среды.

Во многих экономически развитых странах переходят к биологическому земледелию, которое предусматривает минимальное внешнее антропогенное воздействие на агроэкосистему и максимальное использование её собственного потенциала.

Особый интерес для сохранения плодородия почв, повышения урожайности культур и охраны биосферы представляют биодобрения. Они способствуют связыванию атмосферного азота, улучшают усвоение фосфора и азота из органических удобрений и почвенных запасов, повышают устойчивость к засухе и засолённости почв (Agora NK, 2013; Vessey JK, 2003).

Используются они путём внесения в почву или предпосевной обработки ими семян культурных растений.

Применение биопрепаратов на основе гуминовых кислот в составе биостимуляторов улучшает антиоксидантную систему растений, подверженных стрессам окружающей среды (O'Donnell RW, 1973; Zhang X and Schmidt RE, 2000; Artlip TS and Wisniewski ME, 2001; Eyheraguibel B et al., 2008).

В условиях нехватки воды обработка гуминовыми кислотами улучшает оводнённость листьев и метаболизм антиоксидантов (Delfine S et al., 2005).

Засуха является основным абиотическим фактором, ограничивающим производство сельскохозяйственных культур. Реакция растений на нехватку воды зависит от фазы развития, тяжести и продолжительности стресса (Castrillo M et al., 2001). Экологический стресс вызывает избыток АФК, который может повредить клетки растений путём окисления клеточных компонентов (Reddy AR et al., 2004; Seufert V et al., 2012; Wezel A et al., 2014).

В современных экономических условиях при постоянном росте цен на сырьевые ресурсы очень важно применять в земледелии высокоэффективные приёмы повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, способствующие снижению себестоимости продукции и повышению её конкурентной способности.

К таким высокоэффективным и малозатратным приёмам относится, очевидно, обработка семян ячменя микроскопическими дозами регуляторов роста.

В исследованиях авторов (Zhang W et al., 2017) регуляторы роста значительно увеличили урожай зерна кукурузы на 10,7 % из-за увеличения абсолютной массы зерна на 3,2 % и количества зёрен в початке – на 4,4 %.

Регуляторы роста действуют не только как химические вещества, которые модулируют рост растений, но и как сигнальные молекулы при различных биотических и абиотических стрессах. Из них абсцизовая кислота (АБК) давно известна своей ролью в регуляции реакции растений на биотический и абиотический стрессы. Хотя генетическая информация для биосинтеза АБК в растениях хорошо документирована, знания о биосинтезе АБК в других организмах всё ещё находятся в зачаточном состоянии (Spence C and Bais H, 2015).

Обработки семян различными регуляторами роста уменьшали относительное содержание воды в проростках чувствительного к засухе сорта, несмотря на положительное влияние на относительную проводимость, скорость транспирации и диффузионное сопротивление. Это указывает на то, что регуляторы роста растений можно использовать в качестве предпосевной обработки семян, чтобы снизить потерю воды из-за засухи (Li L and Staden J, 1998; Sanvicente P et al., 1999).

Основными группами природных гормонов растений являются ауксины, гиббереллины, цитокинины, абсцизины и этилен. Понимание способа действия биорегуляторов растений на молекулярном уровне требует идентификации рецепторного гена для каждого регулятора, а также выяснения последующих реакций. Halmann M (1990) делает вывод, что регуляторы роста растений можно рассматривать как новое поколение агрохимикатов – после удобрений, пестицидов и гербицидов.

В исследованиях учёных (Grašič M et al., 2019) по регуляторам роста, содержащих кремний, дефицит воды существенно повлиял на элементный состав растений ячменя. В наибольшей степени в растениях снизилось содержание кремния и хлора, в меньшей – кальция, фосфора и серы, тогда как по содержанию калия изменений не наблюдалось.

Выявлено (Nabti E et al., 2014) влияние стимулирующих рост растений бактериальных изолятов из засоленной сельскохозяйственной ризосферной почвы из Беджаи (Алжир) на проростки ячменя, а также способность этих изолятов к биологическому контролю против фитопатогенных грибов. Четыре изолята значительно стимулировали прорастание и рост проростков ячменя в аксенической тест-системе и в почвенных горшках. Изолят S16 (*Cellulosimicrobium sp.*) стимулировал рост проростков ячменя на 185 % (высота стебля – 13,0±0,11 см) по сравнению с неинокулированными контрольными проростками (7,0±0,12 см).

Работы ряда авторов (Kebede A et al., 2019; Pancheva TV et al., 1996; Liu Q et al., 2016) посвящены изучению механизмов устойчивости к засухе важных полевых культур и предоставлению новейшей современной информации о механизмах борьбы с засухой, включая молекулярную ос-

нову реакции растений на ограниченную влажность сред. В связи с изменением климата на первый план выходят исследования относительно устойчивости к засухе ячменя.

Заслуживает внимание работа учёных (Jiang X et al., 2004) по влиянию обработки семян ячменя растворами солей молибдена и вольфрама. Повышенные уровни АБК в побеге в ответ и одновременное усиление активности АО и ХДН в корне указывают на то, что молибдат и вольфрамат влияют на биосинтез АБК посредством регуляции активности могоидроксилазы корня.

Засуха, возникновение значительного дефицита воды в почве или в атмосфере, является тревожным препятствием для продуктивности сельскохозяйственных культур и стабильности урожая во всем мире. Это – ведущий экологический стресс в мировом сельском хозяйстве, вызывающий потери урожая, превышающие, вероятно, потери от всех других причин, вместе взятых.

Стресс, вызванный засухой, отрицательно влияет на целый ряд жизненно важных физиологических и биохимических процессов в растениях, что приводит к снижению роста и конечной урожайности. Некоторые виды растений разработали механизмы для борьбы со стрессом, включая предотвращение засухи, предотвращение обезвоживания или устойчивость к обезвоживанию. Такие адаптивные механизмы являются результатом множества морфо-анатомических, физиологических, биохимических и молекулярных изменений. Осморегуляция является наиболее распространённой физиологической адаптацией, что происходит за счёт снижения водного потенциала клетки посредством накопления различных органических и неорганических растворённых веществ в клетке. Как следствие, такие растения способны поглощать воду из среды с низким потенциалом для поддержания нормальных или почти нормальных физиологических процессов, необходимых для роста и развития. Тем не менее большинство экономически важных видов сельскохозяйственных культур не способны справиться с этим типом стресса, вызванного засухой, что препятствует их выращиванию в условиях нехватки воды. Были предложены различные стратегии для облегчения производства сельскохозяйственных культур в условиях засухи, в частности, разработка новых сортов сельскохозяйственных культур с повышенной устойчивостью к засухе. Генетическое улучшение сельскохозяйственных культур для обеспечения устойчивости к засухе является долгосрочным усилием, которое требует, среди прочего, наличия генетических источников устойчивости, знание физиологических механизмов и генетического контроля признаков толерантности на разных стадиях развития, а также применение подходящих протоколов скрининга и селекции гермоплазмы.

Ashraf M с коллегами (2011) считают, что альтернативной и более быстрой стратегией для содействия устойчивости растений к засухе является экзогенное применение различных соединений, в том числе органических растворов (органических осмолитов и регуляторов роста растений) и минеральных питательных веществ. В последнее время этой стратегии уделяется значительное внимание в связи с её эффективностью и экономичностью.

В последние годы появились новые комплексные препараты для предпосевной обработки семян зерновых культур на основе гуминовых кислот, имеющие в своём составе микроэлементы, различные штаммы ризосферных бактерий с росторегулирующими свойствами, но малоизученные в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения в сочетании с высокой экстремальной температурой воздуха в летний период. Такие условия в 80 % случаев наблюдаются в сухостепной зоне Оренбуржья, что создаёт уникальные возможности для проверки эффективности этих препаратов.

Наименее изученными остаются вопросы о влиянии регуляторов роста на минеральное питание растений.

#### **Цель исследования.**

Изучение влияния обработки семян ярового ячменя комплексными гуминовыми препаратами на усвояемость растениями элементов минерального питания из почвы.

**Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Сорб ярового ячменя Натали.

**Характеристика территорий, природно-климатические условия.**

Почва – чернозём южный карбонатный среднесуглинистый, среднемощный, с содержанием гумуса в пахотном слое 4,1 %.

Посев ячменя провели 1 мая. Среднесуточные температуры воздуха с 1 декады мая по 3 декаду июня были близки к среднесуточным значениям: +17 °С – в мае при среднесуточной норме +15,3 °С, +20,1 °С – в июне при норме +20,5 °С. Температуру воздуха по абсолютному значению в течение первых шести декад можно считать оптимальной для растений ячменя. Однако среднесуточный дефицит влажности воздуха (14 и 13 мб – в 1 и 3 декадах мая и 15 и 17 мб – в 1 и 2 декадах июня) характеризует интенсивную воздушную засуху. Ветреная погода способствовала сильному иссушению пахотного слоя почвы, и ко времени появления колоса у растений запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы резко уменьшились (со 133 мм до 26 мм).

Полная спелость зерна у ячменя наступила 27 июля, что раньше обычных сроков примерно на 10 дней. Ускорению созревания посевов способствовали экстремальные погодные условия в июле: высокая температура воздуха (+25,4 °С – в 1 декаде, 30,1 °С – во 2 и 22,2 °С – в 3), а также сильный среднесуточный дефицит влажности воздуха (22 мб – в 1 декаде, 32 мб – во 2 и 16 мб – в 3 декаде).

**Схема эксперимента.** Исследования проводили путём постановки полевого опыта на поле ФНЦ БСТ РАН, расположенном северо-западнее села Нежинка Оренбургского района Оренбургской области.

Предшественник – яровая пшеница. Основная обработка почвы – вспашка на глубину 22-24 см. Весенний агрокомплекс: покровное боронование зубowymi боронами в 2 следа, предпосевная культивация, посев, послепосевное прикатывание.

Исследовали сорт ярового ячменя Натали. Родословная: F<sub>2</sub> (Оренбургский 15×Нутанс 217)×F<sub>3</sub>(Вэлки×Донецкий 8). Включён в Госреестр по Уральскому (9) и Западно-Сибирскому (10) регионам. Рекомендован для возделывания в Оренбургской области и Алтайском крае. Разновидность нутанс. Среднеспелый, вегетационный период 70-84 дня, созревает на 1-2 дня позднее сорта Донецкий 8. Засухоустойчивость – на уровне сорта Донецкий 8. Ценный по качеству. Содержание белка – 12,0-17,7 %. Умеренно устойчив к пыльной и твёрдой головне; восприимчив к гельминтоспориозу и корневым гнилям.

Для обработки семян ячменя использовали различные комплексные препараты производства НВП «Башинком» (Россия), включающие в себя гуматы, споры бактерий, микроэлементы в различных сочетаниях и концентрациях: Гуми 20М калийный, Борогум-М комплексный, Борогум-М молибденовый.

Семена ячменя сорта Натали обрабатывали растворами гуминовых препаратов в соответствии со схемой опыта:

1. Контроль (обработка водой)
2. Гуми 20 М калийный
3. Борогум-М комплексный
4. Борогум-М молибденовый

**Оборудование и технические средства.** Полевые работы выполнялись с помощью российской сельскохозяйственной техники: культиватор КПГ-4, сеялка СЗП-3,6, комбайн Targion 3000, кольчатые катки и бороны зубовые, а также трактор МТЗ 80 (Белоруссия).

Исследования по содержанию основных элементов минерального питания в почве и растениях выполнялись на оборудовании Испытательного центра ЦКП БСТ РАН (аттестат аккредитации № RA.RU.21ПФ59 от 02.12.2015).

Для лабораторных исследований использовались: измельчитель растительных материалов ИРМ (Россия), шкаф сушильный CHIRANA HS 62/1 (Чехословакия).

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 статистического анализа с помощью офисного программного комплекса «Microsoft Office» с применением программы «Excel» («Microsoft», США) с обработкой данных в «Statistica 6.0» («Stat Soft Inc.», США).

#### Результаты исследований.

Образцы пахотного слоя почвы анализировали в фазу появления всходов ячменя. Содержание нитратного азота было высоким и варьировало незначительно по вариантам опыта: от 24,1 – на контроле до 26,9 мг кг<sup>-1</sup> – в варианте с Борогумом комплексным (табл. 1).

Содержание подвижного фосфора составило 25,8-26,4 мг кг<sup>-1</sup> и соответствовало средней обеспеченности почвы этим элементом. Обеспеченность почвы обменным калием была высокой – на уровне 313,1-323,4 мг кг<sup>-1</sup>.

Существенных различий между вариантами опыта по всем трём основным минеральным элементам питания растений не наблюдалось.

Таблица 1. Содержание в почве элементов минерального питания в фазу полных всходов, мг кг<sup>-1</sup>  
Table 1. The content of mineral nutrition elements in soil during the full germination phase, mg kg<sup>-1</sup>

Варианты опыта / <i>Experiment variant</i>	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль / <i>Control</i>	24,1	26,0	323,4
Гуми 20М / <i>Gumi-20 M</i>	24,8	26,4	320,0
Борогум комплексный / <i>Borogum complex</i>	26,9	25,8	313,1
Борогум молибденовый / <i>Borogum molibdenum</i>	24,8	26,1	315,0

Наблюдения за динамикой прироста надземной биомассы в разные фазы развития растений показали, что опытные варианты в фазу кушения не имели преимущества перед контролем (табл. 2).

Таблица 2. Сбор абсолютно сухого вещества с надземной биомассой в разные фазы развития растений, кг га<sup>-1</sup>  
Table 2. Collection of absolutely dry matter with aboveground biomass in different phases of plant development, kg ha<sup>-1</sup>

Варианты опыта / <i>Experiment variant</i>	Кушение / <i>Tillering</i>	Колошение / <i>Earing</i>	Полная спелость зерна / <i>Full ripeness of grain</i>		
			надземной биомассы / <i>in aboveground biomass</i>	соломы / <i>straw</i>	зерна / <i>grains</i>
Контроль / <i>Control</i>	419,0	2300,0	4635,0	3202,8	1432,2
Гуми 20М / <i>Gumi 20M</i>	393,0	2200,0	4650,0	3366,6	1283,4
Борогум комплексный / <i>Borogum complex</i>	379,0	2400,0	4956,0*	3444,4*	1511,6*
Борогум молибденовый / <i>Borogum molibdenum</i>	378,0	2400,0	4900,0*	3415,3*	1484,7*

Примечание: \* – Различия относительно контроля при уровне достоверности P≤0,05

Note: \* – Differences with respect to control at the confidence level P≤0.05

Выход сухого вещества на контроле составил 419 кг га<sup>-1</sup>, по вариантам опыта – от 378 до 393 кг га<sup>-1</sup>, существенных достоверных различий не наблюдалось. К фазе колошения наибольший прирост биомассы ячменя наметился в вариантах с Борогумом комплексным и молибденовым – по 2400 кг га<sup>-1</sup> против 2300 кг на контроле. Но это преимущество имело лишь форму тенденции.

В более поздний период – созревание – влияние обработки семян препаратами становится достоверным и существенным не только по сбору сухого вещества, но и по урожайности зерна.

По содержанию азота в надземной массе (2,0-2,3 %) существенных различий между вариантами в фазу кущения не наблюдалось (табл. 3). Все варианты опыта в данный период имели низкую обеспеченность азотом.

Таблица 3. Содержание общего азота в надземной массе ячменя в разные фазы развития растений, % от абсолютно сухого вещества  
Table 3. Total nitrogen content in the aboveground mass of barley in different phases of plant development, % of absolutely dry matter

Варианты опыта / <i>Experiment variant</i>	Кущение / <i>Tillering</i>	Колошение / <i>Earing</i>	Полная спелость зерна / <i>Full ripeness of the grain</i>		
			в надземной биомассе / in <i>aboveground biomass</i>	в соломе / <i>in the straw</i>	в зерне / <i>in the grains</i>
Контроль / <i>Control</i>	2,0	1,4	1,1	0,8	2,0
Гуми 20М / <i>Gumi 20M</i>	2,0	1,7*	1,2	0,8	2,2
Борогум комплексный / <i>Borogum complex</i>	2,1	1,6*	1,4*	1,0*	2,5*
Борогум молибденовый / <i>Borogum molibdenum</i>	2,3	1,6*	1,3*	0,8	2,4*
Оптимум / <i>Optimum</i>	4,7-5,3	1,2-1,9	-	-	-

Примечание: \* – Различия относительно контроля при уровне достоверности  $P \leq 0,05$   
Note: \* – Differences with respect to control at the confidence level  $P \leq 0,05$

По мере роста растений – к фазе колошения – обеспеченность растений азотом улучшилась и находилась в пределах оптимальных значений 1,4-1,7 %. Все варианты обработки семян гуминовыми препаратами показали преимущество по содержанию азота: 1,6-1,7 % против контроля 1,4 %.

В более поздний период – полной спелости зерна – это преимущество сохранилось, особенно в варианте с Борогумом комплексным и молибденовым. Содержание азота в зерне повысилось до 2,5-2,4 % против 2,0 % на контроле.

По содержанию фосфора в растительной массе по всем фазам развития различий между вариантами не наблюдалось (табл. 4).

Таблица 4. Содержание общего фосфора в надземной массе ячменя в разные фазы развития растений, % от абсолютно сухого вещества  
Table 4. Total phosphorus content in the aboveground mass of barley in different phases of plant development, % of absolutely dry matter

Варианты опыта / <i>Experiment variant</i>	Кущение / <i>Tillering</i>	Колошение / <i>Earing</i>	Полная спелость зерна / <i>Full ripeness of the grain</i>		
			в надземной биомассе / in <i>aboveground biomass</i>	в соломе / <i>in the straw</i>	в зерне / <i>in the grains</i>
Контроль / <i>Control</i>	0,9	0,5	0,3	0,2	0,6
Гуми 20М / <i>Gumi 20M</i>	0,8	0,7	0,3	0,2	0,7
Борогум комплексный / <i>Borogum complex</i>	0,9	0,5	0,3	0,2	0,6
Борогум молибденовый / <i>Borogum molibdenum</i>	0,7	0,6	0,3	0,1	0,7
Оптимум / <i>Optimum</i>	0,55-0,65	0,3-0,4	-	-	-

Обеспеченность растений фосфором была высокой – от 0,7-0,9 % в фазу кущения до 0,5-0,7 % в фазу колошения.

Существенных различий в обеспеченности растениями калием в фазу кущения и колошения не наблюдалось (табл. 5).

Таблица 5. Содержание общего калия в надземной массе ячменя в разные фазы развития растений, % от абсолютно сухого вещества

Table 5. Total potassium content in the aboveground mass of barley in different phases of plant development, % of absolutely dry matter

Варианты опыта / <i>Experiment variant</i>	Кущение / <i>Tillering</i>	Колошение / <i>Earing</i>	Полная спелость зерна / <i>Full ripeness of the grain</i>		
			в надземной биомассе/ <i>aboveground biomass</i>	в соломе/ <i>in the straw</i>	в зерне / <i>in the grains</i>
Контроль / <i>Control</i>	5,6	1,7	0,8	0,6	1,4
Гуми 20М / <i>Gumi 20M</i>	4,6	1,7	0,8	0,7	1,3
Борогум комплексный / <i>Borogum complex</i>	4,7	1,9	1,1*	0,9*	1,6*
Борогум молибденовый / <i>Borogum molibdenum</i>	4,3	1,7	1,0*	0,8*	1,4
Оптимум / <i>Optimum</i>	4,2-5	1,5-2,1	-	-	-

Примечание: \* – Различия относительно контроля при уровне достоверности  $P \leq 0,05$

Note: \* – Differences with respect to control at the confidence level  $P \leq 0.05$

Высокое содержание обменного калия в почве способствовало хорошей обеспеченности посевов ячменя калием.

Однако в поздний период – полная спелость зерна – более высокое содержание калия в биомассе отмечалось в двух вариантах: с Борогумом комплексным и молибденовым (1,1-1,0 % против 0,8 % на контроле). Данное различие было существенным, как в зерне, так и в соломе.

Обработка семян гуминовыми препаратами способствовала не только увеличению содержания в растениях азота и калия, но и увеличению коэффициентов использования всех трёх элементов минерального питания из почвы (табл. 6).

Таблица 6. Коэффициенты использования посевами ячменя элементов минерального питания из почвы, %

Table 6. Coefficients of mineral nutrition elements from the soil by barley crops, %

Варианты опыта / <i>Experiment variant</i>	Азот / <i>nitrogen</i>	Фосфор / <i>phosphorus</i>	Калий / <i>potassium</i>
Контроль / <i>Control</i>	60,4	14,7	3,3
Гуми 20М / <i>Gumi 20M</i>	62,3	16,6*	3,3
Борогум комплексный / <i>Borogum complex</i>	73,3*	16,6*	4,8*
Борогум молибденовый / <i>Borogum molibdenum</i>	69,5*	15,4*	4,1*

Примечание: \* – Различия относительно контроля при уровне достоверности  $P \leq 0,05$

Note: \* – Differences with respect to control at the confidence level  $P \leq 0.05$



Наиболее высокие коэффициенты использования элементов минерального питания отмечались в вариантах с препаратами Борогум комплексный и молибденовый: по азоту – 69,5-73,3 % против 60,4 % на контроле, по фосфору – 16,6 % против 14,7 % на контроле, по калию – 4,14,8 % против 3,3 % на контроле.

Установлено, что обработка семян ячменя гуминовыми препаратами способствовала увеличению выноса всех основных элементов минерального питания в расчёте на 1 т зерна и соответствующим количеством побочной продукции (табл. 7).

Таблица 7. Вынос с 1 т зерна ячменя и соответствующим количеством побочной продукции элементов минерального питания, кг

Table 7. Removal from 1 ton of barley grain and the corresponding amount of dairy products of mineral nutrition elements, kg

Варианты опыта / <i>Experiment variant</i>	Азот / <i>nitrogen</i>	Фосфор / <i>phosphorus</i>	Калий / <i>potassium</i>
Контроль / <i>Control</i>	36,6	9,6	26,9
Гуми 20М / <i>Gumi 20M</i>	43,4*	12,3*	29,9*
Борогум комплексный / <i>Borogum complex</i>	46,9*	10,2*	35,6*
Борогум молибденовый / <i>Borogum molibdenum</i>	41,8*	9,7	31,5*

Примечание: \* – Различия относительно контроля при уровне достоверности  $P \leq 0,05$

Note: \* – Differences with respect to control at the confidence level  $P \leq 0.05$

Вынос азота с 1 т зерна варьировал по разным вариантам опыта от 41,8 до 46,9 кг против 36,6 кг на контроле.

Вынос фосфора по опытным вариантам варьировал от 9,7 до 12,3 кг т<sup>-1</sup> зерна против 9,6 на контроле. Вынос калия также существенно увеличился до 29,9-35,6 кг т<sup>-1</sup> против 26,9 кг на контроле.

#### Обсуждение полученных результатов.

В условиях воздушно-почвенной засухи и избыточной температуры воздуха очень важно подобрать малозатратные и одновременно высокоэффективные агроприёмы возделывания ячменя.

Полученные результаты в полевом опыте по обработке семян ячменя комплексными препаратами Борогум комплексный и молибденовый на основе гуматов в таких условиях показали высокую эффективность. Сбор биомассы в сухом веществе увеличился, в сравнении с контролем, на 300-400 кг га<sup>-1</sup> и зерна – почти на 100 кг.

Все препараты способствовали лучшей усвояемости основных элементов минерального питания растениями ячменя из почвы. Аналогичные результаты получены в полевых опытах Федотовой Е.Н. (2016). Применение Аквадона-Микро положительно влияло на поглощение и накопление в растениях ячменя основных элементов питания – азота, фосфора и калия. Под их влиянием возрастал вынос основных элементов питания и коэффициенты их использования из почвы и удобрений. У Куликовой А.Х. с коллегами (2019) также биомодификация Азофоски препаратом БисолбиФит позволила увеличить коэффициенты использования азота из почвы на 4-8 %, фосфора – на 7-16 %, калия – на 5-15 %.

Биопрепараты особенно хорошо повлияли на увеличение концентрации азота и калия в надземной части растений. У исследователей (Завалин А.А. и Безгодова И.Л., 2009) инокуляция семян Флавобактерином увеличила коэффициент использования растениями в одновидового посева ячменя азота удобрений с 58 до 66 %. Вынос азота при внесении удобрений и биопрепаратов одновидовыми посева ячменя и гороха возрастал в 1,8, и в 1,6 раза соответственно, в том числе



биологического азота – с 29 до 51 кг/га в посеве гороха, а в смешанном посеве ячменя и гороха – в 2,2 раза, в том числе биологического азота – с 10,8 до 30,3 кг/га.

Вынос фосфора с урожаем зерна и соломы при внесении минеральных удобрений и использовании для инокуляции семян биопрепаратов возрастал в одновидовом посеве ячменя в 1,7, дополнительный вынос фосфора за счёт инокуляции семян достиг в одновидовом посеве гороха 0,7-1,7, в смешанном посеве – 1,6-3 кг/га. Под влиянием минеральных удобрений и биопрепаратов вынос калия урожаем чистого посева ячменя повышался в 1,5 раза.

Вероятно, инокуляция семян ячменя и других сельскохозяйственных культур способствует лучшему развитию корневой системы растений, в результате чего посевами лучше усваиваются элементы минерального питания из почвы и удобрений.

### **Выводы**

В результате исследований по обработке семян ячменя комплексными препаратами на основе гуматов установлено положительное влияние на усвояемость растениями элементов минерального питания из почвы: препараты увеличивают содержание в растениях азота и калия, способствуют большему выносу элементов минерального питания с единицей основной продукции, повышают коэффициенты использования элементов питания из почвы.

Обработка семян ячменя Борогумами: комплексным и молибденовым в сельскохозяйственном производстве в условиях недостаточного увлажнения и высокой температуры воздуха будет способствовать росту урожайности, повышению рентабельности и экологической безопасности производства зерна.

Результаты исследований – одногодичные, поэтому выводы носят предварительный характер. Исследования актуальны, их необходимо продолжить.

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

### **Литература**

1. 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 Iced raw stuff. Methods of nitrogen and crude protein determination. Vved. 01.01.1995. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 1993:15 p. (*In Russ*)].
2. 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 Machigin method modified by CINAО. Vved. 01.07.1993. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 1992:8 p. (*In Russ*)].
3. 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: Mezghosudarstvennyi sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii; 1997:10 p. (*In Russ*)].
4. 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 nitrates by ionometric method. Vved. 01.07.1987. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 1986:7 p. (*In Russ*)].
5. 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: Mezghosudarstvennyi sovet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii; 1997:8 p. (*In Russ*)].

6. Завалин А.А., Безгодова И.Л. Применение удобрений и биопрепаратов в чистых и смешанных посевах ячменя и гороха // Плодородие. 2009. № 2(47). С. 34-36. [Zavalin AA, Bezgodova IL. Efficiency of the using the fertilizers and biopreparation in chistyh and mixed sowing of barley and goroha. Plodorodie. 2009;2(47):34-36. (*In Russ*)].
7. Куликова А.Х., Сайдышева Г.В., Лашенков А.Н. Эффективность модифицированных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур в среднем Поволжье // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3(47). С. 54-58. [Kulikova AKh, Saydyasheva GV, Lashchenkov AN. Efficiency of modified fertilizers for cultivation of agricultural crops in the middle Volga region. Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii. 2019;3(47):54-58. (*In Russ*)]. doi: 10.18286/1816-4501-2019-3-54-58
8. Федотова Е.Н. Действие микроэлементов и биопрепаратов на вынос питательных веществ растениями ярового ячменя из почвы и минеральных удобрений // Владимирский земледелец. 2016. № 4(78). С. 23-25. [Fedotova EN. Impact of microelements and biopreparations on nutritive substances loss by the plants of spring barley from soil and mineral fertilizers. Vladimirskii zemledelets. 2016;4(78):23-25. (*In Russ*)].
9. Arora NK, editor. Plant microbe symbiosis: fundamentals and advances. Springer India; 2013:459 p. doi: 10.1007/978-81-322-1287-4
10. Artlip TS, Wisniewski ME. Induction of proteins in response to biotic and abiotic stresses. In: Handbook of plant and crop physiology. Pessaraki M, editor. New York: Marcel Dekker Inc; 2001:657-680.
11. Ashraf M, Akram NA, Al-Qurainy F, Foolad MR. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. *Advances in Agronomy*. 2011;111:249-296. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387689-8.00002-3>
12. Castrillo M, Fernandez D, Calcagno AM, Trujillo I, Guenni L. Responses of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase, protein content, and stomatal condcutance to water deficit in maize, tomato, and bean. *Photosynthetica*. 2001;39(2):221-226. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1013731210309>
13. Delfine S, Tognetti R, Desiderio E, Alvino A. Effects of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*. 2005;25(2):183-191. doi: <https://doi.org/10.1051/agro:2005017>
14. Eyheraguibel B, Silvestre J, Morard P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Biore-source Technology*. 2008;99(10):4206-4212. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.082>
15. Grašič M, Dobravec M, Golob A, Vogel-Mikuš K, Gaberščik A. Water shortage reduces silicon uptake in barley leaves. *Agricultural Water Management*. 2019;217:47-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.030>
16. Halmann M. Synthetic plant growth regulators. *Advances in Agronomy*. 1990;43:47-105. doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60476-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60476-9)
17. Jiang X, Omarov RT, Yesbergenova SZ, Sagi M. The effect of molybdate and tungstate in the growth medium on abscisic acid content and the Mo-hydroxylases activities in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Science*. 2004;167(2):297-304. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.03.025>
18. Kebede A, Kang MS, Bekele E. Advances in mechanisms of drought tolerance in crops, with emphasis on barley. *Advances in Agronomy*. 2019;156:265-314.
19. Li L, Staden J. Effects of plant growth regulators on drought resistance of two maize cultivars. *South African Journal of Botany*. 1998;64(2):116-120. doi: [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30844-9](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30844-9)
20. Liu Q, Zhang Sh, Liu B. 14-3-3 proteins: Macro-regulators with great potential for improving abiotic stress tolerance in plants. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2016;477(1):9-13. doi: 10.1016/j.bbrc.2016.05.120
21. Nabti E, Bensidhoum L, Tabli N, Dahel D, Hartmann A. Growth stimulation of barley and bi-control effect on plant pathogenic fungi by a Cellulosimicrobium sp. strain isolated from salt-affected rhizosphere soil in northwestern Algeria. *European Journal of Soil Biology*. 2014;61:20-26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.12.008>

22. O'Donnell RW. The auxin-like effects of humic preparations from leonardite. *Soil Science*. 1973;116(2):106-112. doi: 10.1097/00010694-197308000-00007
23. Pancheva TV, Popova LP, Uzunova AN. Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *Journal of Plant Physiology*. 1996;149(1-2):57-63. doi: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(96\)80173-8](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80173-8)
24. Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*. 2004;161(11):1189-1202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013>
25. Sanvicente P, Lazarevitch S, Blouet A, Guckert A. Morphological and anatomical modifications in winter barley culm after late plant growth regulator treatment. *European Journal of Agronomy*. 1999;11(1):45-51. doi: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(99\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00017-9)
26. Seufert V, Ramankutty N, Foley JA. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*. 2012;485:229-232. doi: 10.1038/nature11069
27. Spence C, Bais H. Role of plant growth regulators as chemical signals in plant-microbe interactions: a double edged sword. *Current Opinion in Plant Biology*. 2015;27:52-58. doi: 10.1016/j.pbi.2015.05.028
28. Vessey JK. Plant growth promoting Rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*. 2003;255:571-586. doi: 10.1023/A:1026037216893
29. Wezel A, Casagrande M, Celette F, Vian JF, Ferrer A, Peigné J. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agron. Sust. Dev.* 2014;34:1-20. doi: 10.1007/s13593-013-0180-7
30. Zhang W, Yu C, Zhang K, Zhou L, Duan L, et al. Plant growth regulator and its interactions with environment and genotype affect maize optimal plant density and yield. *European Journal of Agronomy*. 2017;91:34-43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.008>
31. Zhang X, Schmidt RE. Hormone-containing products' impact on antioxidant status of tall fescue and creeping bentgrass subjected to drought. *Crop Science*. 2000;40(5):1344-1349. doi: 10.2135/cropsci2000.4051344x

#### References

1. GOST 13496.4-93. Fodder, mixed fodder and animal iced raw stuff. Methods of nitrogen and crude protein determination. Intro. 01.01.1995. Moscow: Publishing house of standards; 1993:15 p.
2. GOST 26205-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Machigin method modified by CINAO. Intro. 01.07.1993. Moscow: Publishing house of standards; 1992:8 p.
3. GOST 26657-97. Fodders, mixed fodders, mixed fodder raw materials. Methods for determination of phosphorus content. Intro. 01.01.1999. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; 1997:10 p.
4. GOST 26951-86. Soils. Determination of nitrates by ionometric method. Intro. 01.07.1987. Moscow: Publishing house of standards; 1986:7 p.
5. GOST 30504-97. Fodders, mixed fodders and mixed fodder raw materials. Flame photometric method for determination of potassium content. Intro. 01.01.1999. Minsk: Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification; 1997:8 p.
6. Zavalin AA, Bezdodova IL. Efficiency of the using the fertilizers and biopreparation in chistyh and mixed sowing of barley and peas. *Fertility*. 2009;2(47):34-36.
7. Kulikova AKh, Saydyasheva GV, Lashchenkov AN. Efficiency of modified fertilizers for cultivation of agricultural crops in the middle Volga region. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2019;3(47):54-58. doi: 10.18286/1816-4501-2019-3-54-58
8. Fedotova EN. Impact of microelements and biopreparations on nutritive substances loss by the plants of spring barley from soil and mineral fertilizers. *Vladimirsky Farmer*. 2016;4(78):23-25.
9. Arora NK, editor. *Plant microbe symbiosis: fundamentals and advances*. Springer India; 2013:459 p. doi: 10.1007/978-81-322-1287-4

10. Artlip TS, Wisniewski ME. Induction of proteins in response to biotic and abiotic stresses. In: Handbook of plant and crop physiology. Pessaraki M, editor. New York: Marcel Dekker Inc; 2001:657-680.
11. Ashraf M, Akram NA, Al-Qurainy F, Foolad MR. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. *Advances in Agronomy*. 2011;111:249-296. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387689-8.00002-3>
12. Castrillo M, Fernandez D, Calcagno AM, Trujillo I, Guenni L. Responses of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase, protein content, and stomatal conductance to water deficit in maize, tomato, and bean. *Photosynthetica*. 2001;39(2):221-226. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1013731210309>
13. Delfine S, Tognetti R, Desiderio E, Alvino A. Effects of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*. 2005;25(2):183-191. doi: <https://doi.org/10.1051/agro:2005017>
14. Eyheraguibel B, Silvestre J, Morard P. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. *Biore-source Technology*. 2008;99(10):4206-4212. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.082>
15. Grašič M, Dobravec M, Golob A, Vogel-Mikuš K, Gaberščik A. Water shortage reduces silicon uptake in barley leaves. *Agricultural Water Management*. 2019;217:47-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.030>
16. Halmann M. Synthetic plant growth regulators. *Advances in Agronomy*. 1990;43:47-105. doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60476-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60476-9)
17. Jiang X, Omarov RT, Yesbergenova SZ, Sagi M. The effect of molybdate and tungstate in the growth medium on abscisic acid content and the Mo-hydroxylases activities in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Science*. 2004;167(2):297-304. doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.03.025>
18. Kebede A, Kang MS, Bekele E. Advances in mechanisms of drought tolerance in crops, with emphasis on barley. *Advances in Agronomy*. 2019;156:265-314.
19. Li L, Staden J. Effects of plant growth regulators on drought resistance of two maize cultivars. *South African Journal of Botany*. 1998;64(2):116-120. doi: [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30844-9](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30844-9)
20. Liu Q, Zhang Sh, Liu B. 14-3-3 proteins: Macro-regulators with great potential for improving abiotic stress tolerance in plants. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2016;477(1):9-13. doi: 10.1016/j.bbrc.2016.05.120
21. Nabti E, Bensidhoum L, Tabli N, Dahel D, Hartmann A. Growth stimulation of barley and biocontrol effect on plant pathogenic fungi by a Cellulosimicrobium sp. strain isolated from salt-affected rhizosphere soil in northwestern Algeria. *European Journal of Soil Biology*. 2014;61:20-26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.12.008>
22. O'Donnell RW. The auxin-like effects of humic preparations from leonardite. *Soil Science*. 1973;116(2):106-112. doi: 10.1097/00010694-197308000-00007
23. Pancheva TV, Popova LP, Uzunova AN. Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *Journal of Plant Physiology*. 1996;149(1-2):57-63. doi: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(96\)80173-8](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80173-8)
24. Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*. 2004;161(11):1189-1202. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013>
25. Sanvicente P, Lazarevitch S, Blouet A, Guckert A. Morphological and anatomical modifications in winter barley culm after late plant growth regulator treatment. *European Journal of Agronomy*. 1999;11(1):45-51. doi: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(99\)00017-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00017-9)
26. Seufert V, Ramankutty N, Foley JA. Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*. 2012;485:229-232. doi: 10.1038/nature11069
27. Spence C, Bais H. Role of plant growth regulators as chemical signals in plant-microbe interactions: a double edged sword. *Current Opinion in Plant Biology*. 2015;27:52-58. doi: 10.1016/j.pbi.2015.05.028
28. Vessey JK. Plant growth promoting Rhizobacteria as biofertilizers. *Plant Soil*. 2003;255:571-586. doi: 10.1023/A:1026037216893

29. Wezel A, Casagrande M, Celette F, Vian JF, Ferrer A, Peigné J. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agron. Sust. Dev.* 2014;34:1-20. doi: 10.1007/s13593-013-0180-7

30. Zhang W, Yu C, Zhang K, Zhou L, Duan L, et al. Plant growth regulator and its interactions with environment and genotype affect maize optimal plant density and yield. *European Journal of Agronomy*. 2017;91:34-43. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.008>

31. Zhang X, Schmidt RE. Hormone-containing products' impact on antioxidant status of tall fescue and creeping bentgrass subjected to drought. *Crop Science*. 2000;40(5):1344-1349. doi: 10.2135/cropsci2000.4051344x

**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.: 8-919-861-84-18, e-mail: nevalex2008@yandex.ru

**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)43-46-23, 8-919-853-17-26

**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 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