

УДК 631.895;59.64;631.417;631.46;633.16 «321»

EDN PRNANV

Суслов А. А.,<sup>1</sup> Свириденко Д. Г.<sup>1</sup>, Васильева Н. А.<sup>1</sup>, Ефимова Е. С.<sup>1</sup>, Якубовская А. И.<sup>2</sup>

## ДЕЙСТВИЕ «ГУМИТОНА» И МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЫ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

<sup>1</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»;

<sup>2</sup>ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

**Реферат.** Современные технологии выращивания сельскохозяйственных культур предполагают внесение питательных веществ путем обработки вегетирующих растений и посевного материала органоминеральными комплексами. Наличие в их составе гуминовых соединений влияет на протекание ферментативных реакций в почве. Фактором, усиливающим почвенные микробиологические процессы трансформации питательных веществ, являются микробные препараты, которыми обрабатывают семена. Цель исследований – оценить влияние нового органоминерального комплекса и микробных препаратов на активность почвенных ферментов в прикорневой зоне растений ярового ячменя в период начального роста. Эксперимент проводили в 2019–2020 гг. в условиях вегетационного опыта лаборатории Агротехнических исследований и технологий ведения растениеводства Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии. Планирование эксперимента, выполнение лабораторных исследований ферментативной активности почвы проводили по общепринятым методикам. Изучали следующие варианты: 1) дерново-подзолистая почва без растений; 2) контроль (обработка семян водой); 3) органоминеральный комплекс «Гумитон»; 4) КМП (комплекс микробных препаратов); 5) комплексная обработка: органоминеральный комплекс «Гумитон» + КМП. Посевной материал ярового ячменя обрабатывали «Гумитоном» и комплексом микробных препаратов (КМП). Показана активизация ферментативной активности почвы при использовании органоминерального комплекса «Гумитон». Предпосевная обработка семян «Гумитоном» и «Гумитоном» в сочетании с КМП стимулировала активность фермента уреазы на 12,9 % (2,4 мг  $\text{NH}_4^+$  / г / 24 ч) в среднем за два года, по сравнению с контролем. Выявлено увеличение активности дегидрогеназы на 7,8 мг ТТХ / г / 24 часа в варианте с органоминеральным комплексом и на 4,1 мг ТТХ / г / 24 часа при совместном применении «Гумитон» + КМП. Применение гуматного препарата увеличило активность инвертазы в среднем за годы исследований на 2,6 мг  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  / г / 24 ч (7,8 %).

**Ключевые слова:** «Гумитон», комплекс микробных препаратов, яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.), ферментативная активность, дерново-подзолистая почва.

**Для цитирования:** Суслов А. А., Свириденко Д. Г., Васильева Н. А., Ефимова Е. С., Якубовская А. И. Действие «Гумитона» и микробных препаратов на ферментативную активность прикорневой зоны ярового ячменя // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 1(29). С. 145–154. EDN: PRNANV.

**For citation:** Suslov A. A., Sviridenko D. G., Vasilyeva N. A., Efimova E. S., Yakubovskaya A. I. Effect of “Gumiton” and microbial preparations on the enzymatic activity in the rhizosphere of spring barley // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 1(29). P. 145–154. EDN: PRNANV.

### Введение

Результаты многочисленных многолетних полевых экспериментов научных учреждений и опыт работы отдельных регионов показывают, что Россия имеет все возможности для повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур. Внесение минеральных удобрений в условиях Центрального и Северо-

Кавказского федерального округа в дозе 100 кг/га, позволяет получать урожайность зерновых культур до 40 ц/га [1].

Выращивание сельскохозяйственных культур в Нечерноземье требует проведения комплекса агрохимических мероприятий. Почвы данной зоны характеризуются низким уровнем естественного плодородия – содержанием гумуса до 2 %, невысокой обеспеченностью подвижных форм макро- и микроэлементов питания, кислой реакцией почвенного раствора [2].

Данная ситуация усугубляется ежегодным изыманием из почвы питательных веществ с получаемым урожаем. В научных публикациях упоминается, что среднегодовой вынос элементов питания с урожаем может превышать количество вносимого с удобрениями до 17 раз [3]. Для бездефицитного баланса гумуса и элементов питания следует вносить 9–10 т/га навоза и соломы, сравнительно с реально применяемыми (1 т/га) [4]. На дерново-подзолистых почвах следует совмещать применение минеральных и органических удобрений, при этом следует использовать агрохимические мероприятия, которые способствуют увеличению кислотности почвенного раствора (нейтральная и слабокислая среда) [5].

Вносимые минеральные удобрения влияют на биохимические процессы в почве, которые контролируют ферменты. Ферментативная активность микробной биомассы в агроэкосистемах обусловлена агротехнологическими приемами возделывания сельскохозяйственных культур [6].

Основополагающими для оценки биологической активности являются почвенные ферменты из классов гидролаз (инвертаза, фосфатаза, уреазы) и оксидоредуктаз (дегидрогеназа, каталаза) [7–9]. Изменение интенсивности ферментативных процессов происходит под влиянием природных экологически безопасных препаратов и зависит от активности почвенной биоты. К таким препаратам относят гуматные (содержащие водорастворимые гуматы), микробные (имеющие высокоактивные штаммы агрономически полезных микроорганизмов) [10, 11]. Установлены различные механизмы влияния данных препаратов на почвенно-растительное взаимодействие (улучшение посевных качеств семян, стимуляция роста растений, усиление биологической активности почвы, повышение стрессоустойчивости культур) [12–15]. В литературе недостаточно данных о действии современных гуматных препаратов на ферментативные процессы в прикорневой зоне растений.

**Цель исследований** – дать оценку протекания ферментативных процессов в прикорневой зоне ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в период начального роста растений на дерново-подзолистой почве при обработке посевного материала органоминеральным комплексом и микробными препаратами.

#### **Материалы и методы исследований**

Вегетационный опыт проводили в январе–феврале 2019 и 2020 гг. в сосудах вместимостью 0,5 кг почвы (по 15 растений в 1 сосуде). Количество повторностей три, в каждой по три сосуда. Культура – сорт ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) Владимир. Репродукция семян – первая (урожая 2018 г.) Растения выращивали 21 сутки (начало фазы кущения). Полив растений проводили по 100 мл воды на сосуд один раз в два дня с учетом потребления растениями влаги. Освещенность регулировали путем дополнительного досвечивания к естественному освещению по 2 часа утром и вечером. Температура воздуха – 18–20 °С.

Почва опыта – дерново-подзолистая со следующими агрохимическими характеристиками: рН<sub>KCl</sub> 4,7 (потенциометрическим методом); гидролитическая кислотность – 4,12 мг-экв./100 г почвы (по Каппену в модификации ЦИНАО); содержание гумуса – 1,2 % (по методу Тюрина); содержание подвижного фосфора – 124 мг/кг почвы (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО) и обменного калия –

135 мг/кг почвы (по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО), Са и Mg – 1,17 и 0,21 мг-экв./100 г почвы (комплексометрическим методом), соответственно [16, 17].

В эксперименте применяли биологически активный органоминеральный комплекс «Гумитон», включающий микроэлементы (бор, марганец, молибден) (разработка ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»), а также комплекс микробных препаратов (КМП), разработанный ФГБУН «НИИСХ Крыма». Запатентованный состав комплекса «Гумитон» разработан на основе торфа и не имеет аналогов в России [18].

Микробный комплекс включает препараты: «Ризоагрин» (на основе ассоциативных азотфиксаторов – *Agrobacterium radiobacter* 204), «Фосфоэнтерин» (на основе фосфатмобилизаторов – *Enterobacter nimipressuralis* 32-3), «Биополицид» (на основе антагонистов фитопатогенов – *Paenibacillus polymyxa* П).

Схема эксперимента:

1. Дерново-подзолистая почва без растений (полив водой без добавления препаратов);
2. Контроль (обработка семян водой);
3. Органоминеральный комплекс «Гумитон» (предпосевная обработка семян из расчета 1 л/га норму);
4. КМП (комплекс микробных препаратов) (предпосевная обработка семян из расчета 100 мл/га норму);
5. Комплексная обработка: органоминеральный комплекс «Гумитон» (предпосевная обработка семян из расчета 1л/га норму) + КМП (комплекс микробных препаратов) (предпосевная обработка семян из расчета 100 мл/га норму).

Дозировка выбрана на основе рекомендаций разработчиков данных препаратов, а также результатов их применения при обработке посевного материала.

Показатели ферментативной активности почвы определяли в прикорневой зоне растений (до 5 см от корневой системы) по окончании эксперимента. Активность почвенной инвертазы определяли колориметрическим методом с использованием динитросалициловой кислоты в качестве реактива на моносахара. Определение уреазной активности проводили с использованием в качестве субстрата 2,3,5-трифенилтетразолия хлористого (ТТХ), переходящего в результате реакции в 2,3,5-трифенилформазан (ТФФ), имеющего малиновую окраску, интенсивность которой определяли фотоколориметрически. Активность ферментов выражали в миллиграммах субстрата на грамм почвы за 24 ч [16, 19, 20].

Для планирования экспериментальной работы и анализа полученных данных использовали методики Б.А. Доспехова [21]. Статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили с использованием программного пакета MS Excel 2007 с 5 %-ным уровнем значимости результатов методом дисперсионного анализа.

### Результаты и их обсуждение

**Активность почвенных ферментов.** Ферментный пул почв различен и связан комплексом взаимодействующих факторов. Одним из показателей биологической активности почвы является ее ферментативная активность (уреазы, дегидрогеназы, инвертазы) [22]. Активность фермента уреазы отражает азотный режим почвы и коррелирует с активностью ферментов азотного метаболизма [23].

В результате серии экспериментов установлено, что в почве контрольного варианта (без использования препаратов) зафиксировано повышение активности уреазы на 3,2 мг  $\text{NH}_4^+$ /г за 24 ч, по сравнению с почвой без растений (таблица 1). Значение абсолютного контроля указанного показателя (активность фермента уреазы на фоне отсутствия растений и дополнительно вносимых препаратов) составило 15,4 мг  $\text{NH}_4^+$ /г/24 ч. В варианте с применением «Гумитона» отмечено усиление

активности исследуемого фермента на 12,9 %, что объяснимо наличием азотных соединений (12 %) в указанном препарате. Совместное применение органоминерального комплекса с КМП стимулировало активность фермента уреазы на 2,4 мг  $\text{NH}_4^+$ / г/24 ч в среднем за два года по сравнению с контролем.

Результаты проведенных исследований в других странах показывают повышение активности ферментов (в том числе и уреазы) под влиянием гуматных препаратов на основе торфа [24, 25]. При этом величина данного показателя возрастает с увеличением количества вносимого азота [26, 27].

Поскольку «Гумитон» дополнительно содержит азот, то отмечено возрастание активности уреазы.

**Таблица 1 – Активность уреазы в дерново-подзолистой почве прикорневой зоны ячменя обыкновенного при использовании Гумитона и микробных препаратов (вегетационный опыт, среднее за 2019–2020 гг.)**

Вариант опыта	Активность уреазы, мг $\text{NH}_4^+$ / г/24 часа
Почва без растений	15,4
Контроль (обработка семян водой)	18,6
«Гумитон»	21,0
КМП	20,0
«Гумитон» + КМП	21,0
НСР <sub>05</sub>	1,2

Дегидрогеназы играют ключевую роль в дыхании и, по мнению Garcia C. et al. [28], повышение активности данного фермента связано с увеличением общего метаболического состояния почвенной биоты. Дегидрогеназы в почве обеспечивают дегидрогенирование неспецифических органических соединений [28].

Результаты исследований показали, что предпосевная обработка семян органоминеральным комплексом способствовала увеличению активности дегидрогеназы на 65 % относительно контроля (таблица 2). В варианте опыта с применением КМП отмечали незначительную тенденцию к стимуляции активности фермента дегидрогеназы – 4,2 % к контролю, что, вероятно, связано с поглощением микроорганизмами питательных веществ из гуматов. Отмечено, что при совместном применении «Гумитон» + КМП исследуемый показатель увеличивался на 34 % (4,1 мг ТТХ / г/24 ч), по сравнению с контролем. Так как отсутствуют растения, дополнительно не вносили микробные препараты и органоминеральный комплекс, и в почву дополнительно не поступали продукты метаболизма. На процессы снижения дегидрогеназной активности указывают полученные данные – 1,3 мг ТТХ / г/24 часа. Таким образом, можно предположить уменьшение активности дегидрогеназы без дополнительного поступления органических компонентов.

В литературных источниках указано, что использование микробных препаратов обеспечивает активизацию дегидрогеназы [29], вследствие активного роста и развития микробоценоза почвы. В результате усиливается микробная окислительная активность в почвах. В работе Hanna Sulewska с соавт. [30], отмечено, что активность дегидрогеназы повышается при опрыскивании вегетирующих растений биологически активными препаратами [30]. Однако образующиеся дегидрогеназы быстро разлагаются [31]. К подобному выводу мы пришли при анализе наших результатов: при использовании комплекса микробных препаратов (КМП), наблюдалось снижение активности данного фермента.

Фермент инвертаза – показатель биохимической активности почв, участвует в разложении безазотистых органических веществ из группы олигосахаров. Опубликованные результаты исследований указывают, что внесение различных норм

и форм органических и минеральных удобрений приводит к повышению активности инвертазы в почве [31]. Применяемый органоминеральный комплекс содержит органическую составляющую, благодаря чему оказал положительное влияние на инвертазную активность почвы.

**Таблица 2 – Активность дегидрогеназы в дерново-подзолистой почве прикорневой зоны ячменя обыкновенного при использовании «Гумитона» и микробных препаратов (вегетационный опыт, среднее за 2019–2020 гг.)**

Вариант опыта	Активность фермента, мг ТТХ / г/24 часа
Почва без растений	1,3
Контроль (вода)	12,0
«Гумитон»	19,8
КМП	12,5
«Гумитон» + КМП	16,1
НСР <sub>05</sub>	2,7

Полученные результаты по активности инвертазы (минимальное значение – 21,0 мг  $C_6H_{12}O_6$ /г/24 часа) в почве без растений и без внесения биологически активных препаратов, указывают на низкую активность метаболических процессов. Корневые выделения обеспечили повышение активности данного фермента на 12,2 мг  $C_6H_{12}O_6$ /г / 24 часа или на 58,1%, относительно абсолютного контроля. Применение гуматного препарата увеличило активность инвертазы в среднем за годы исследований на 2,6 мг  $C_6H_{12}O_6$ /г/24 ч или на 7,8 %, по сравнению с контролем (таблица 3).

**Таблица 3 – Активность инвертазы в дерново-подзолистой почве прикорневой зоны ячменя обыкновенного при использовании Гумитона и микробных препаратов (вегетационный опыт, среднее за 2019–2020 гг.)**

Вариант опыта	Активность фермента, мг $C_6H_{12}O_6$ /г/24 ч
Почва без растений	21,0
Контроль (вода)	33,2
«Гумитон»	35,8
КМП	28,0
«Гумитон» + КМП	30,9
НСР <sub>05</sub>	2,0

Возможно, при совместном применении «Гумитона» + КМП часть органического вещества первого компонента трансформируется в элементы питания для интродуцируемых микроорганизмов второй составляющей. Результаты опыта показали, что комплексное внесение «Гумитона» и микробных препаратов способствует снижению активности фермента инвертазы на 6,9 %, относительно контроля. На наш взгляд, это можно объяснить деятельностью микроорганизмов, которые активно потребляют легкогидролизуемые углеводы, образовавшиеся в результате применения органоминерального комплекса. В варианте с применением «Гумитона» зафиксирована наивысшая активность инвертазы, а внесение двух препаратов достоверно снижало величину этого показателя. Это может указывать на развитие почвенных гетеротрофов и свидетельствует об усилении общей биологической активности.

### Выводы

Установлено, что в почве без растений и внесенных биологически активных препаратов ферментативная активность находится на минимальном уровне.

Зафиксированы значения активности уреазы 15,4 мг  $\text{NH}_4^+$ /г/24 ч, дегидрогеназы – 1,3 мг ТТХ /г/24 ч, инвертазы – 21,0 мг  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ / г/24 часа.

По результатам лабораторных исследований было установлено увеличение показателей ферментативной активности дерново-подзолистой почвы при использовании органоминерального комплекса «Гумитон» и комплекса микробных препаратов. Показано, что предпосевная обработка семян ячменя «Гумитоном» и вариант совместного применения органоминерального комплекса с КМП стимулировали активность фермента уреазы на 2,4 мг  $\text{NH}_4^+$ /г /24 ч (12,6 %) в среднем за два года, по сравнению с контролем. Указанные значения свидетельствуют о наличии активатора азотного метаболизма в «Гумитоне», что может быть обусловлено наличием в его составе мочевины.

Выявлено, что предпосевная обработка семян органоминеральным комплексом способствовала увеличению активности дегидрогеназы на 65 %, а при совместном применении «Гумитон» + КМП исследуемый показатель увеличивался на 34 % в сравнении с контролем, что свидетельствует об усилении общего метаболического состояния почвенной биоты. Активная почвенная микрофлора обеспечивает ускорение биохимических реакций, в результате которых происходит освобождение доступных питательных элементов для растений.

### Литература

1. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 3–13. DOI: 10.31857/S0002188120060125.
2. Прудников П. В. Использование агрономических руд и новых комплексных минеральных удобрений на радиоактивно загрязненных почвах. Брянск: Издательство ГУП «Клинцовская городская типография», 2012. 296 с.
3. Арефьев А. Н., Кузина Е. Е., Кузин Е. Н., Власова Т. А., Зуев В. В., Панасов М. Н. Эффективность использования клиноптилолита для повышения плодородия черноземных почв // *Аграрный научный журнал*. 2017. № 8. С. 3–7.
4. Кузин Е. Е., Арефьев А. Н., Кузин Е. Н. Последствия диатомита и его сочетаний с навозом на плодородие чернозема выщелоченного и урожайность моркови // *Нива Поволжья*. 2019. № 3(52). С. 111–116.
5. *Агрохимия: классический университетский учебник для стран СНГ* // Под ред. Минеева В. Г. М.: Изд-во ВНИИА имени Прянишникова, 2017. 854 с.
6. Ахмедова З. Н., Рамазанова Н. И. Диагностика состояния почв Дагестана по уровню гидролитических процессов // *Вестник ДГУ*. 2013. Вып. 6. С. 172–175.
7. *Soil microbiology, ecology and biochemistry (4 th ed.)* // Ed. by Eldor A. Paul, 2015. 582 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-415955-6.00001-3.
8. Горобцова О. Н., Хежева Ф. В., Улигова Т. С., Темботов Р. Х. Эколого-географические закономерности изменения биологической активности автоморфных почв равнинных и предгорных территорий северного макросклона Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии) // *Почвоведение*. 2015. № 3. С. 347–359. DOI: 10.7868/S0032180X15010074.
9. Гедгафова Ф. В., Улигова Т. С., Горобцова О. Н., Темботов Р. Х. Биологическая активность черноземных почв Центрального Кавказа (в пределах терского варианта пояности Кабардино-Балкарии) // *Почвоведение*. 2015. 12. С. 1474–1482. DOI: 10.7868/S0032180X15120072.
10. Суслов А. А., Свириденко Д. Г., Арышева С. П., Пименов Е. П., Васильева Н. А., Морозова А. И. Влияние ГЕОТОНа и микробных препаратов на аммонифицирующие и амилитические микроорганизмы прикорневой зоны ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2017. 3. С. 40–44.
11. Суслов А. А., Свириденко Д. Г., Пименов Е. П., Васильева Н. А. Влияние ГЕОТОНа и микробных препаратов на олиготрофные микроорганизмы в прикорневой зоне ярового ячменя // *Таврический вестник аграрной науки*. 2018. № 3(15). С. 112–120. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.12.
12. Bettoni M., Mogor A., Pauletti V., Goicoechea N., Aranjuelo I., Garmendia I. Nutritional quality and yield of onion as affected by different application methods and doses of humic substances // *J. Food Composit. Anal.* 2016. Vol. 51. P. 37–44. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.06.008.
13. Kulikowska D., Gusiati Z. M., Bulkowska K., Klik B. Feasibility of using humic substances from compost to remove heavy metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) from contaminated soil aged for different periods of time // *J. Hazard. Mater.* 2015. Vol. 300. P. 882–891. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.08.022.

14. Zemanová V., Břendová K., Pavlíková D., Kubátová P., Tlustoš P. Effect of biochar application on the content of nutrients (Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard // *Plant Soil Environ.* 2017. Vol. 63. P. 322–327. DOI: 10.17221/318/2017-PSE.
15. Kameneva I. A., Yakubovskaya A. I., Melnichuk T. N., Radchenko L. A., Gritchin M. V., Radchenko A. F., Smirnova I. I. Influence of polyfunctional complex of microbial preparations on productivity of grain crops // *Материалы Международной научной конференции. «Растения и микроорганизмы: биотехнология будущего»* Уфа: ФГБУН «Институт биохимии и генетики Уфимского научного центра Российской академии наук», 2018. С. 37.
16. Минеев В. Г. Практикум по агрохимии М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
17. Пискунов А.С. Методы агрохимических исследований. М.: Колос, 2004. 312 с.
18. Патент РФ №2709737. «Биологически активный органоминеральный комплекс и способ его получения» // Санжарова Н. И., Петров К. В., Ратников А. Н., Свириденко Д. Г., Суслов А. А., Иванов И. А., Иванкин Н. Г. Бюлл. № 35. 19.12.19. 6 с.
19. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородская сельскохозяйственная академия, 2012. 64 с.
20. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энтомологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
21. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 336 с.
22. Хазиев Ф. Х. Экологические связи ферментативной активности почв // *Экобиотех.* 2018. Т. 1. № 2. С. 80–92. DOI: 10.31163/2618-964X-2018-1-2-80-92.
23. Utobo E. B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status // *Applied Ecology and Environmental Research.* 2014. Vol. 13(1). P. 147–169. DOI:10.15666/aeer/1301\_147169.
24. Gul S., Whalen J. K., Thomas B. W., Sachdeva V., Deng H. Y. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions // *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 2015. Vol. 206. P. 46–59. DOI: 10.1016/j.agee.2015.03.015.
25. Khodadad C. L. M., Zimmerman A. R., Green S. J., Uthandi S., Foster J. S. Taxa-specific changes in soil microbial community composition induced by pyrogenic carbon amendments // *Soil Biology and Biochemistry.* 2011. Vol. 43. P. 385–392. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.11.005.
26. Pukalchik M. A., Terekhova V. A., Yakimenko O. S., Kydralievа K. A., Akulova M. I. Triad method for assessing the remediation effect of humic preparations on urbanozems // *Euras. Soil Sci.* 2015. Vol. 48. P. 654–663. DOI: 10.1134/S1064229315060083.
27. Garcia C., Hernandez T., Costa F. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils // *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1997. Vol. 28 (1-2). P. 123–134. DOI: 10.1080/00103629709369777.
28. Gałązka A., Gawryjolek K., Perzyński A., Gałązka R., Księżnak J. Changes in enzymatic activities and microbial communities in soil under long-term maize monoculture and crop rotation // *Polish Journal of Environmental Studies.* 2017. Vol. 26. P. 39–46. DOI:10.15244/pjoes/64745.
29. Sulewska H., Niewiadomska A., Ratajczak K., Budka A., Panasiewicz K., Faligowska A., Wolna-Maruwka A., Dryjanski L. Changes in *Pisum sativum* L. plants and in soil as a result of application of selected foliar fertilizers and biostimulators // *Agronomy.* 2020. Vol. 10. Art. No. 1558. DOI: 10.3390/agronomy10101558.
30. Супрун С. В. Влияние антропогенных факторов на плодородие почвы, урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М.: ГНУ «Научно-исследовательский ордена Трудового Красного Знамени Институт сельского хозяйства Центрально-Чернозёмной полосы имени В. В. Докучаева Российской академии сельскохозяйственных наук», 2008. 23 с.
31. Попова В. П. Агроэкологические аспекты формирования продуктивных садовых экосистем. Краснодар: ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия», 2005. 242 с.

## References

1. Sychev V. G., Shafran S. A., Vinogradova S. B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation // *Agrochimia.* 2020. No. 6. P. 3–13. DOI: 10.31857/S0002188120060125.
2. Prudnikov P. V. The use of agronomic ores and new complex mineral fertilizers on radioactively contaminated soils. Bryansk: Publishing House of State Unitary Enterprise “Klintsovskaya City Printing House”, 2012. 296 p.
3. Arefyev A. N., Kuzina E. E., Kuzin E. N., Vlasova T. A., Zuev V. V., Panasov M. N. The efficiency of using clinoptilolite on chernozem soils // *The Agrarian Scientific Journal.* 2017. No. 8. P. 3–7.
4. Kuzina E. E., Arefyev A. N., Kuzin E. N. Aftereffect of diatomite and its combinations with manure on the fertility of leached black cherozem and carrot yield // *Volga Region Farmland.* 2019. No. 3 (52). P. 65–69. DOI: 10.26177/VRF.2019.3.3.013.
5. *Agrochemistry: Classic university textbook for CIS countries* // Ed. by V.G. Mineev. Moscow: Pryanishnikov Institute of Agrochemistry Publ., 2017. 854 p.

6. Akhmedova Z. N., Ramazanova N. I. Diagnosis of the state of the soils of Dagestan by the level of hydrolytic processes // Herald of Dagestan State University. 2013. Iss. 6. P. 172–175.
7. Soil microbiology, ecology and biochemistry (4<sup>th</sup> ed.) // Ed. by Eldor A. Paul, 2015. 582 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-415955-6.00001-3.
8. Gorobtsova O. N., Khezheva F. V., Uligova T. S., Tembotov R. Kh. Ecological and geographical regularities of changes in the biological activity of automorphic soils of the foothills and adjacent plains of the Central Caucasus Region (Kabardino-Balkarian Republic) // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 3. P. 303–313. DOI: 10.1134/S106422931501007X.
9. Gedgafova F. V., Uligova T. S., Gorobtsova O. N., Tembotov R. Kh. The biological activity of chernozems in the Central Caucasus Mountains (Terskii variant of altitudinal zonality), Kabardino-Balkaria // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 12. P. 1341–1348. DOI: 10.1134/S1064229315120078.
10. Suslov A. A., Sviridenko D. G., Arysheva S. P., Pimenov E. P., Vasilyeva N. A., Morozova A. I. Effect of GEOTON and microbial preparations on the ammonifying and amylolytic microorganisms of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) rhizosphere // Problemy agrohimii i ekologii. 2017. No. 3. P. 40–44.
11. Suslov A. A., Sviridenko D. G., Pimenov E. P., Vasilyeva N. A. Effect of ‘GEOTON’ and microbial preparations on oligotrophic microorganisms in the rhizosphere of spring barley // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2018. No. 3 (15). P. 112–120. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.12.
12. Bettoni M., Mogor A., Pauletti V., Goicoechea N., Aranjuelo I., Garmendia I. Nutritional quality and yield of onion as affected by different application methods and doses of humic substances // J. Food Compos. Anal. 2016. Vol. 51. P. 37–44. DOI: 10.1016/j.jfca.2016.06.008.
13. Kulikowska D., Gusiatin Z. M., Bulkowska K., Klik B. Feasibility of using humic substances from compost to remove heavy metals (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) from contaminated soil aged for different periods of time // J. Hazard. Mater. 2015. Vol. 300. P. 882–891. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2015.08.022.
14. Zemanová V., Břendová K., Pavlíková D., Kubátová P., Tlustoš P. Effect of biochar application on the content of nutrients (Ca, Fe, K, Mg, Na, P) and amino acids in subsequently growing spinach and mustard // Plant Soil Environ. 2017. Vol. 63. P. 322–327. DOI: 10.17221/318/2017-PSE.
15. Kameneva I. A., Yakubovskaya A. I., Melnichuk T. N., Radchenko L. A., Gritchin M. V., Radchenko A. F., Smirnova I. I. Influence of polyfunctional complex of microbial preparations on productivity of grain crops // Proceedings of the International Scientific Conference. “Plants and microorganisms: biotechnology of the future”. Ufa: Institute of Biochemistry and Genetics of the Ufa Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 2018. P. 37.
16. Mineev V. G. Workshop on Agrochemistry. Moscow: Moscow State University Publ., 2001. 689 p.
17. Piskunov A. S. Methods of agrochemical research. Moscow: Kolos, 2004. 312 p.
18. Patent RF No.2709737. “Biologically active organic mineral complex and the method of its production”// Sanzharova N.I., Petrov K.V., Ratnikov A.N., Sviridenko D.G., Suslov A.A., Ivanov I.A., Ivankin N.G. Bull. No. 35, Publ. 19.12.19. 6p.
19. Titova V. I., Kozlov A. V. Methods for assessing the functioning of the microbocenosis of soil involved in the transformation of organic matter: Scientific and methodological manual. Nizhny Novgorod: Nizhegorodsk Agricultural Academy, 2012. 64 p.
20. Khaziev F. Kh. Methods of soil entomology. Moscow: Nauka, 2005. 252 p.
21. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kolos, 1985. 336 p.
22. Khaziev F. Kh. Ecological relations of the enzymatic activity of soil // Ecobiotech. 2018. Vol. 1. No. 2. P. 80–92. DOI: 10.31163/2618-964X-2018-1-2-80-92
23. Utobo E. B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem status // Applied Ecology and Environmental Research. 2014. Vol. 13(1). P. 147–169. DOI:10.15666/aer/1301\_147169.
24. Gul S., Whalen J. K., Thomas B. W., Sachdeva V., Deng H. Y. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2015. Vol. 206. P. 46–59. DOI: 10.1016/j.agee.2015.03.015.
25. Khodadad C. L. M., Zimmerman A. R., Green S. J., Uthandi S., Foster J. S. Taxa-specific changes in soil microbial community composition induced by pyrogenic carbon amendments // Soil Biology and Biochemistry. 2011. Vol. 43. P. 385–392. DOI: 10.1016/j.soilbio.2010.11.005.
26. Pukalchik M. A., Terekhova V. A., Yakimenko O. S., Kydraliev K. A., Akulova M. I. Triad method for assessing the remediation effect of humic preparations on urbanozems // Euras. Soil Sci. 2015. Vol. 48. P. 654–663. DOI: 10.1134/S1064229315060083.
27. Garcia C., Hernandez T., Costa F. Potential use of dehydrogenase activity as an index of microbial activity in degraded soils // Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1997. Vol. 28 (1-2). P. 123–134. DOI: 10.1080/00103629709369777.
28. Gałazka A., Gawryjołek K., Perzyński A., Gałazka R., Księżnak J. Changes in enzymatic activities and microbial communities in soil under long-term maize monoculture and crop rotation // Polish Journal of Environmental Studies. 2017. Vol. 26. P. 39–46. DOI:10.15244/pjoes/64745.



29. Sulewska H., Niewiadomska A., Ratajczak K., Budka A., Panasiewicz K., Faligowska A., Wolna-Maruwka A., Dryjanski L. Changes in *Pisum sativum* L. plants and in soil as a result of application of selected foliar fertilizers and biostimulators // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. Art. No. 1558. DOI: 10.3390/agronomy10101558.

30. Suprun S. V. Influence of anthropogenic factors on soil fertility, yield and quality of sugar beet roots. Author's Abstract Diss ... Cand. Sc. (Biol.). Moscow: SSE "The Labor Red Banner Order Research Institute of Agriculture of the Central Chernozem Strip named after V.V. Dokuchaev, Russian Academy of Agricultural Sciences", 2008. 23 p.

31. Popova V. P. Agroecological aspects of the formation of productive garden ecosystems. Krasnodar: FSBSI "North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Wine-making", 2005. 242 p.

UDC 631.895;579.64;631.417;631.46;633.16«321»

Suslov A. A., Sviridenko D. G., Vasilyeva N. A., Efimova E. S., Yakubovskaya A. I.

### EFFECT OF "GUMITON" AND MICROBIAL PREPARATIONS ON THE ENZYMATIC ACTIVITY IN THE RHIZOSPHERE OF SPRING BARLEY

**Summary.** *Modern crop growing technologies, among others techniques, include the nutrients balanced amount application treating plants and seeds with organomineral complexes. Humic compounds in their composition affect enzymatic reactions in the soil. Microbial preparations used to treat seeds are the factor that enhances soil microbiological processes of nutrient transformation. The aim of the research was to assess the effect of new organomineral complex and microbial preparations on the activity of soil enzymes in the *Hordeum vulgare* L. rhizosphere during the initial growth. The experiment was conducted in 2019–2020 under conditions of the vegetative experiment at the Laboratory of Agrochemical Research and Crop Technology of the All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology. Experiment planning and laboratory studies of the enzymatic activity of soil were carried out according to conventional methods. We studied the following options: 1) sod-podzolic soil without plants; 2) control (treatment of seeds with water); 3) organomineral complex "Gumiton"; 4) CMP (complex of microbial preparations); 5) complex treatment: organomineral complex "Gumiton" + CMP. Seed material of spring barley was treated with "Gumiton" and a complex of microbial preparations. The activation of the enzymatic activity of soil when using the organomineral complex "Gumiton" was shown. On average, for two years of research, presowing seed treatment with "Gumiton" alone and in combination with CMP stimulated urease activity by 12.9 % (2.4 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/g/24 h) compared to control. An increase in the dehydrogenase activity by 7.8 and 4.1 mg TTX/g/24 h in the variant with the organomineral complex and "Gumiton" + CMP, respectively, was revealed. On average, over the years of studies, humate preparation increased invertase activity by 2.6 mg C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>/g/24 hours (7.8%).*

**Keywords:** "Gumiton", complex of microbial preparations, spring barley (*Hordeum vulgare* L.), enzymatic activity, sod-podzolic soil.

Суслов Алексей Афанасьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимических исследований и технологий ведения растениеводства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»; 249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: ecology2003@ukr.net.

Свириденко Дмитрий Георгиевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимических исследований и технологий ведения растениеводства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»; 249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: iglina-lv@mail.ru.

Васильева Наиля Анатольевна кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микробиологии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии

и агроэкологии»; 249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: nellyanat@yandex.ru.

Ефимова Екатерина Сергеевна младший научный сотрудник лаборатории микробиологии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»; 249032, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км; e-mail: ekaterinaveronika2019@yandex.ru

Якубовская Алла Ивановна кандидат биологических наук, заведующая лабораторией физиологии и экологии микроорганизмов, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»; 295453, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150; e-mail: yakubovskaya\_alla@mail.ru.

Suslov Aleksey Afanasievich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher, leading researcher of the Laboratory of agrochemical research and crop technology, FSBSI “All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology”; 109 km, Kievskoye shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia; e-mail: ecology2003@ukr.net.

Sviridenko Dmitriy Georgievich, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Laboratory of agrochemical research and crop technology, FSBSI “All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology”; 109 km, Kievskoye shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia; e-mail: iglina-lv@mail.ru.

Vasilyeva Nailya Anatolievna, Cand. Sc. (Biol.), senior researcher of the Laboratory of microbiology, FSBSI “All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology”; 109 km, Kievskoye shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia; e-mail: nellyanat@yandex.ru.

Efimova Ekaterina Sergeevna, junior researcher of the Laboratory of microbiology, FSBSI “All-Russian Research Institute of Radiology and Agroecology”; 109 km, Kievskoye shosse, Obninsk, Kaluga region, 249032, Russia; e-mail: ekaterinaveronika2019@yandex.ru.

Yakubovskaya Alla Ivanovna, Cand. Sc. (Biol.), head of the Laboratory of physiology and ecology of microorganisms, FSBSI “Research Institute of Agriculture of Crimea”; 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295493, Russia; e-mail: yakubovskaya\_alla@mail.ru.

*Дата поступления в редакцию – 27.03.2021.*

*Дата принятия к печати – 20.01.2022.*