

**ГЕОТЕХНОЛОГИИ. ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ
GEOTECHNOLOGY. EXTRACTION, PROCESSING AND THE USE
OF SOLID FUEL MINERALS**

УДК 662.62:662.63:632.93

Поступила в редакцию 28.10.2025
Received 28.10.2025

**АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРЕПАРАТОВ ИЗ СФАГНОВОГО ТОРФА
И СФАГНОВОГО МХА С МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ**

Н. А. Жмакова¹, Н. Л. Макарова¹, Е. А. Семенчукова², А. А. Муратова²

¹Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь;

²Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Настоящее исследование направлено на разработку комплексных препаратов на основе сфагнового торфа, сфагнового мха и микроэлементов и первичные исследования их антимикробной активности на чистых культурах возбудителей болезней сельскохозяйственных растений с целью определения возможности получения на их основе средств защиты растений. В оксидаты и гидролизаты сфагнового мха и сфагнового торфа малой степени разложения, содержащие незначительные количества гуминовых кислот, микроэлементы внесены в виде солей. В гуматсодержащие препараты их введение проводили в форме комплексонатов металлов. В качестве комплексона использовали динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА). Установлены условия получения эдетата цинка, марганца, меди и его введения в состав оксидатов. Для приготовления комплексных препаратов EDTA–Zn_{7,0}–Mn_{5,0}–Cu_{2,5} вносили в оксидаты в соотношении 1 : 10, при этом содержание микроэлементов в конечных продуктах составило Zn_{7,0}, Mn_{5,0}, Cu_{2,5}. Показано, что комплексный препарат на основе оксидата магелланикум-торфа со степенью разложения (*R*) 5 % и микроэлементов активен в отношении фитопатогенов *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П. и *Erwinia amylovora* E2, а препарат на основе магелланикум-торфа с *R* 20–25 % и хелатов микроэлементов – в отношении *S. michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П. Гидролизаты мха и торфа с *R* 5 % проявляют активность в отношении *E. amylovora* E2 и *Pseudomonas corrugata* З'. Таким образом, установлено, что препараты, полученные на основе сфагнового торфа, сфагнового мха и микроэлементов, обладают активностью в отношении ряда фитопатогенных микроорганизмов и могут быть использованы при разработке средств защиты растений нового поколения.

Ключевые слова: сфагновый торф; сфагновый мох; гидролиз; окисление; физико-химические свойства; комплексоны; комплексонаты; микроэлементы; антимикробная активность.

Для цитирования. Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Семенчукова Е. А., Муратова А. А. Антимикробная активность препаратов из сфагнового торфа и сфагнового мха с микроэлементами // Природопользование. – 2025. – № 2. – С. 146–155.

**ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF PREPARATIONS OF SPHAGNUM PEAT
AND SPHAGNUM MOSS WITH MICROELEMENTS**

Н. А. Zhmakova¹, N. L. Makarova¹, E. A. Semenchukova², A. A. Muratova²

¹Institute of Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;

²Institute of Microbiology, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The present study is aimed at the development of complex preparations based on sphagnum peat, sphagnum moss and microelements and primary studies of their antimicrobial activity on pure crops of pathogens of agricultural plants in order to determine the possibility of obtaining plant protection products based on them. Microelements are added in the form of salts to the oxidates and hydrolysates of sphagnum moss and sphagnum peat of low decomposition, containing small amounts of humic acids. Their introduction into humate-containing preparations was carried out in the form of metal complexonates. Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) disodium salt was used as the

complexone. The conditions for obtaining zinc, manganese and copper edetate and its introduction into the composition of oxidates have been established. For the preparation of complex preparations, EDTA–Zn₇₀–Mn₅₀–Cu₂₅ was added to the oxidates in a ratio of 1 : 10, and the content of trace elements in the final products was Zn_{7.0}, Mn_{5.0}, Cu_{2.5}. It has been shown that a complex preparation based on magellanicum peat oxidate with a degree of decomposition (*R*) of 5 % and microelements is active against the phytopathogens *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* N.P. and *Erwinia amylovora* E2, and a preparation based on magellanicum peat with *R* 20–25% and chelates of microelements – in relation to *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* N.P. Moss and peat hydrolysates with *R* 5 % are active against *E. amylovora* E2 and *Pseudomonas corrugata* 3'. Thus, it has been established that preparations obtained on the basis of sphagnum peat and sphagnum moss and microelements have activity against a number of phytopathogenic microorganisms and can be used in the development of new generation plant protection products.

Keywords: sphagnum peat; sphagnum moss; hydrolysis; oxidation; physicochemical properties; complexons; complexonates; microelements; antimicrobial activity.

For citation. Zhmakova N. A., Makarova N. L., Semenchukova E. A., Muratova A. A. Antimicrobial activity of preparations from sphagnum peat and sphagnum moss with microelements. *Nature Management*, 2025, no. 2, pp. 146–155.

Введение. Химическая трансформация природных соединений торфа и болотных растений может приводить к получению продуктов, обладающих противобактериальными, противовирусными, фунгицидными свойствами. Препараты антимикробного действия на основе этого природного сырья могут быть получены при химической деструкции, когда под действием некоторых реагентов происходит извлечение биологически активных соединений, расщепление высокомолекулярных компонентов торфа с образованием низкомолекулярных соединений, отдельные из которых обладают выраженной биоцидной активностью. Однако разработка новых антипатогенных природных средств до сих пор не доведена до конечных целей, несмотря на то что эти препараты обладают широким спектром действия и безопасны в отличие от синтетических аналогов.

Предыдущими работами авторов установлено, что продукты окислительной деструкции и бескислотного гидролиза сфагновых мха и торфа проявляют антибактериальный эффект в отношении ряда возбудителей болезней растений [1].

Дальнейшей задачей исследований являлось усиление антимикробных свойств разработанных ранее препаратов, показавших повышенную активность против ряда патогенных микроорганизмов. Одним из путей достижения этой цели может быть введение в их состав микроэлементов, проявляющих биоцидный эффект. Известно, что биоцидной активностью обладают соединения меди, цинка, марганца и некоторых других металлов. В состав оксидатов и гидролизатов мха и сфагнового торфа малой степени разложения, содержащих незначительные количества гуминовых кислот, небольшие дозы микроэлементов могут быть введены в виде солей. Одним из компонентов препаратов, полученных на основе торфа более высокой степени разложения, являются гуминовые вещества, которые растворимы только в форме солей одновалентных металлов (натрия, калия) и аммония. Гуматы двух-, трех- и многовалентных металлов нерастворимы и в процессе получения препаратов остаются в твердом остатке, а при введении в раствор гуминовых кислот выпадают в осадок. Одним из надежных способов введения ионов двух-, трех- и многовалентных микроэлементов в состав гуматсодержащих препаратов является их внесение в виде веществ, способных образовывать с ионами металлов растворимые комплексные соединения, т. е. в виде их устойчивых соединений с комплексонами.

Комплексоны – это органические вещества (ОВ) с большим количеством реакционных центров. Они содержат в своем составе способные к координации атомы азота, серы или фосфора (N, S, P), а также карбоксильные, фосфоновые и другие функциональные группы, образующие с катионами металлов внутримолекулярные соединения – комплексонаты или хелаты. Высокая прочность таких соединений обусловлена образованием устойчивых специфических химических связей, которые присущи органическим молекулам, имеющим в своем составе разнообразные активные функциональные группы [2–6].

Комплексные соединения состоят из центрального атома или иона и координированных, т. е. расположенных вокруг него, молекул или ионов лигандов. Характерной особенностью комплексона является его координационная емкость (или полидентатность) – количество атомов или групп атомов, связанных с центральным ионом. Обычно молекула комплексона содержит несколько функциональных электронодонорных групп, часть которых имеет кислотную, а часть – основную природу. При этом хелаты металлов, получаемые с использованием комплексонов, имеют на порядок большую растворимость, чем соли.

Среди комплексонов к наиболее хорошо изученным и широко применяемым относятся этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА), оксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ), нитрилтриуксусная кислота (НТА), нитрилтриметиленфосфоновая кислота (НТФ).

Одним из первых и наиболее распространенных комплексонов является динатриевая соль ЭДТА, которая обладает комплексообразующей способностью в широком диапазоне pH – в нейтральной и щелочной средах, и проявляет ее при введении в незначительных концентрациях.

Молекула ЭДТА ($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8$), являясь в целом электронейтральной, имеет в своей структуре функциональные группы, несущие как отрицательный, так и положительный заряды, и содержит четыре кислотных и два основных центра, т. е. относится к биполярным ионам. Наличие полидентатных лигандов и взаимное расположение этих центров делает ЭДТА одним из наиболее эффективных действующих и универсальных комплексонов.

В кислом растворе ЭДТА протонируется, образуя катионы кислот $H_5ЭДТА^+$ и $H_6ЭДТА^{2+}$ или анион четырехосновной кислоты $ЭДТА^{4-}$. Формула комплексона показывает, что анион $ЭДТА^{4-}$ является потенциально декадентатным: координация может осуществляться через два атома азота и восемь атомов кислорода – четыре атома карбоксильных и четыре атома карбонильных групп. Однако пространственная структура не позволяет молекуле ЭДТА иметь дентатность выше шести: в координации могут участвовать два атома азота и четыре атома кислорода карбоксильных групп.

Отличительными чертами молекулы ЭДТА как лиганда являются ее высокая гибкость и широкое варьирование межатомных расстояний $M-O$ и $M-N$ в комплексах различных металлов, что снимает многие геометрические ограничения и обеспечивает достаточную универсальность действия комплексона. Взаимодействие ЭДТА с катионами приводит к образованию растворимых в воде очень устойчивых комплексов в широком интервале рН – от 4,0 до 12,0.

Среди комплексонов с фосфоновыми группами наиболее полно охарактеризована НТФ – $N(CH_2PO_3H_2)_3$. Фрагмент $CH_2PO_3H_2$ имеет форму искаженного тетраэдра и обладает более высокой дентатностью по сравнению с карбоксилатом, имеющим плоскую координацию [7, 8]. НТФ – сильная шестиосновная кислота – образует соли с неорганическими и органическими основаниями. Она хорошо растворима в воде (до 3 моль/л) и в широком диапазоне рН образует прочные устойчивые комплексы с катионами металлов.

Существенный интерес представляют алкилдифосфоновые кислоты, проявляющие высокую специфичность взаимодействия с рядом катионов. Важным представителем этих кислот является ОЭДФ – $C_2H_8O_7P_2$, содержащая две фосфоновые группы, способные к комплексообразованию в сильнокислой среде, и оксиэтильную группу.

ОЭДФ относится к классу дифосфоновых кислот, обладающих высокой комплексообразующей способностью и стойкостью к гидролизу. ОЭДФ хорошо растворима в воде, кислотах, щелочах, метаноле и этаноле. Комплексон образует устойчивые комплексы практически со всеми катионами, включая катионы щелочных и щелочноземельных металлов [7, 8].

Эти комплексоны выпускаются в больших объемах промышленностью России и других стран, они доступны и сравнительно недороги. Стереохимия данных соединений обеспечивает высокую прочность хелатов, однако они избирательны по отношению к ряду катионов. В связи с этим возникла необходимость провести исследования по определению условий получения комплексонатов цинка, меди, марганца и их введения в состав гуматсодержащих препаратов.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований являлись два образца сфагнового торфа сфагнум-магелланикум *Sphagnum magellanicum* со степенью разложения (R) 5 и 20–25 % и один образец сфагнового мха *Sph. magellanicum* (сфагнум-магелланикум). Магелланикум-торф малой степени разложения отбирали из залежи на торфяном месторождении «Червоное» Червенского района Минской области, там же был отобран и магелланикум-мох. Магелланикум-торф со степенью разложения 15–20 % отобран из штабеля на торфопредприятии «Сосновый бор» Смолевичского района Минской области (торфяное месторождение «Радемье»). Геоботаническая и физико-химическая характеристики исходных проб торфа и мха, а также их компонентный состав представлены в работе [1].

Для наработки опытных образцов препаратов использовали лабораторные автоклавы, изготовленные из нержавеющей стали, объемом 500 мл. В автоклавы загружали навески исходного сырья – сфагнового торфа или мха, необходимое количество реагентов и воды. Гидромодуль для мха составлял 1 : 34, для торфа малой степени разложения (5 %) – 1 : 30, для торфа со степенью разложения 20–25 % – 1 : 12. Аппараты герметично закрывали, содержимое взбалтывали в течение 4–5 мин, а затем помещали в термостаты и выдерживали при нагревании в заданных температурных режимах необходимое время. Окисленную или прогидролизованную суспензию мха и торфа разделяли на лабораторной центрифуге для получения жидкого целевого продукта и твердого остатка (отхода).

На основе наработанных оксидатов и гидролизатов получили комплексные препараты, содержащие микроэлементы, известные своей биоцидной активностью: цинк, медь, марганец. Для стабилизации водных растворов микроэлементов при введении в препараты использовали их хелаты с комплексонами: ОЭДФ, динатриевой солью ЭДТА, НТФ.

Фитотоксичность различных доз (0,001–0,01 %) препаратов проводили в соответствии с методическими указаниями ГОСТ 12038-84 «Методы определения всхожести семян сельскохозяйственных культур» на семенах ячменя. Для этого семена замачивали в растворах препаратов соответствующей концентрации в течение 24 ч, после чего раскладывали по 50 шт. между двумя слоями увлажненной

фильтровальной бумаги и помещали в термостат при температуре 25 °С. Энергию прорастания семян определяли на 3-й день, их всхожесть – на 7-й день.

При выполнении физико-химической характеристики опытных образцов препаратов, полученных из мха и торфа, их цвет оценивали визуально, запах – органолептически, плотность измеряли ареометром, реакцию среды – при помощи иономера И-120.1. Для определения оптической плотности препараты разбавляли в 100 раз дистиллированной водой и измеряли на спектрофотометре КФК-3 при длине волны 540 нм. Массовую долю сухих веществ определяли весовым методом, массовую долю ОВ в составе препаратов – по разности массы абсолютно сухих веществ, высушенных при температуре 90 °С и веществ, оставшихся после сжигания в муфельной печи при температуре 600 °С.

Специалистами Института микробиологии НАН Беларуси проведены исследования антимикробной активности комплексных препаратов в отношении трех грибных (*B. cinerea* БИМ F-551, *F. oxysporum* 381 и *Alternaria* sp. F4) и пяти бактериальных (*C. michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П., *P. corrugata* 3', *P. syringae* pv. *tomato* DC3000, *E. amylovora* E2, *Pec. carotovorum* 25.1) фитопатогенов, способных вызывать ряд заболеваний сельскохозяйственных культур.

Для определения антимикробной активности образцов использовали модифицированный метод отсроченного антагонизма: 500 мкл ночной культуры фитопатогена переносили к 4,5 мл культуры, разогретой до температуры 40–45 °С на агаризованной питательной среде (полноценный питательный агар – ППА) с содержанием агар-агара 0,7 %, и интенсивно перемешивали. Затем наслаивали на чашки Петри с 20 мл застывшего питательного 2%-го ППА-агара. После полного застывания среды на чашках Петри на поверхность агара наносили по 15 мкл тестируемых образцов и контрольный раствор в количестве 15 мкл. Чашки инкубировали при температурах 24–30 °С в течение 24–48 ч. Результаты оценивали визуально, измеряя зоны задержки роста. Эксперимент проводили в трех биологических повторностях. Указанная методика подробно описана в работах [1, 9].

Результаты и их обсуждение. Для получения комплексных препаратов, включающих микроэлементы, за основу были взяты оксидаты, показавшие активность в 2024 г: оксидаты магелланикум-мха и торфа со степенью разложения (*R*) 5 и 20–25 %, а также два водных гидролизата – мха и торфа – с *R* 5 %. По отработанным в лабораторных условиях режимам из этих образцов получены оксидаты в следующих технологических условиях: температура процесса – 130 °С; продолжительность – 3 ч; расход щелочного агента – 40 % от ОВ сырья, пероксида водорода – 15 %. Водные гидролизаты наработаны при температуре 160 °С и продолжительности гидролиза 3 ч.

В результате наработано пять образцов препаратов, перечень которых, а также выход ОВ из исходного сырья приведены в табл. 1, физико-химическая характеристика опытных образцов препаратов дана в табл. 2.

Таблица 1. Выход препаратов, наработанных методами окисления и гидролиза

Table 1. Yield of preparations produced by oxidation and hydrolysis methods

Номер образца	Препарат	Выход, % от ОВ сырья
1	Оксидат магелланикум-мха в среде гидроксида аммония	35,3
2	Оксидат торфа магелланикум (<i>R</i> 5%) в среде гидроксида аммония	55,6
3	Оксидат торфа магелланикум (<i>R</i> 20–25%) в среде гидроксида аммония	73,2
4	Гидролизат мха магелланикум (водный гидролиз, 160 °С)	17,6
5	Гидролизат торфа магелланикум <i>R</i> 5 %, (водный гидролиз, 160 °С)	20,8

Таблица 2. Физико-химическая характеристика опытных образцов препаратов

Table 2. Physicochemical characteristics of experimental samples of preparations

Номер образца	Цвет	Массовая доля веществ, %			Оптическая плотность, нм	Плотность, г/см ³	рН
		сухих	органических	зола			
1	Желтый	3,30	3,24	0,06	0,41	1,020	8,75
2	Желтовато-коричневый	3,95	3,87	0,18	0,54	1,025	8,62
3	Темно-коричневый	6,60	6,25	0,35	0,65	1,032	8,82
4	Желтовато-коричневый	1,23	1,22	0,01	0,36	1,010	4,11
5	Светло-коричневый	1,58	1,57	0,01	0,38	1,013	3,62

Выход оксидатов получился значительно выше выхода водных гидролизатов и составил для оксидата мха – 35,3 %, оксидата магелланикум-торфа с наименьшей степенью разложения (5 %) – 55,6, со степенью разложения 20–25 % – 73,2 % от органической массы сырья. У водных гидролизатов мха и магелланикум-торфа с R 5 % перешло в раствор 17,6 и 20,8 % массы сырья соответственно.

Препараты, полученные методом окисления сфагнового торфа, содержали 3,87–6,25 % ОВ и 3,95–6,60 сухих веществ, при этом массовая доля и тех и других увеличивалась с ростом степени разложения торфа. Следует отметить незначительное содержание в препаратах зольных соединений, что связано с невысокой зольностью исходных торфов и спецификой применяемых для выделения препаратов реагентов: пероксид водорода разлагался в процессе реакции, а гидроксид аммония удаляли из готовых препаратов испарением после отделения твердых остатков центрифугированием. В оксидате мха почти не содержалось зольных элементов, и практически все сухие вещества были представлены органическими соединениями. При этом их массовая доля была достаточно высокой для растительного сырья и составила 3,30 %. Реакция среды pH препаратов находилась в слабо щелочной области (8,10–8,82).

Водные гидролизаты мха и торфа малой степени разложения (5 %) имели довольно низкое содержание органических (1,22 % для гидролизата мха и 1,57 % для гидролизата торфа) и сухих веществ (1,23 и 1,58 соответственно), минимальное содержание зольных элементов и кислую реакцию среды (4,11 – для препарата из мха и 3,62 – из торфа).

С целью усиления антимикробной активности оксидатов в их состав были введены микроэлементы: цинк, медь и марганец. Для предотвращения осаждения гуминовых веществ в виде солей этих металлов их введение осуществляли в форме комплексонов. В процессе работы использовали следующие хелатирующие агенты: ОЭДФ, динатриевую соль ЭДТА, НТФ. Для проведения исследований были получены водные растворы этих комплексонов в концентрациях от 0,001 до 0,01 % и изучена их фитотоксичность на семенах ячменя (табл. 3).

Таблица 3. Влияние исследуемых комплексонов на энергию прорастания и всхожесть семян ячменя

Table 3. The effect of the studied complexones on the germination energy and viability of barley seeds

Вариант опыта	Концентрация препарата, %	Ячмень	
		Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	–	75,5	86,0
ЭДТА	0,001	76,1	84,0
	0,003	75,3	87,5
	0,005	75,8	87,0
	0,008	75,0	87,0
	0,010	75,4	86,5
ОЭДФ	0,001	76,5	86,5
	0,003	75,5	85,0
	0,005	75,0	87,0
	0,008	76,0	86,2
	0,010	75,1	86,5
НТФ	0,001	77,5	86,5
	0,003	76,0	87,0
	0,005	75,0	85,5
	0,008	75,5	86,0
	0,010	76,0	86,3

Установлено, что выбранные реагенты в концентрации от 0,001 до 0,01 % не оказывают отрицательного воздействия на всхожесть семян и энергию их прорастания.

Приготовление хелатов водных растворов микроэлементов (марганец, медь, цинк) и их композиций показало, что наиболее эффективным комплексоном является ЭДТА, присутствие которого позволяет получать в щелочной и кислой средах устойчивые системы микроэлементов необходимой концентрации.

Отработан процесс получения комплексонов металлов, а именно условия введения солей металлов в комплексон – динатриевую соль ЭДТА, в том числе концентрации комплексона, концентрации солей металлов и щелочность среды для получения сложного комплексоната, включающего несколько ионов металлов, а также условия введения комплексоната в состав оксидатов.

Для приготовления раствора комплексоната (эдетата) цинка, марганца и меди использовали соли цинка сернокислого семиводного ($ZnSO_4 \cdot 7 H_2O$), марганца сернокислого пятиводного ($MnSO_4 \cdot 5 H_2O$) и меди сернокислой пятиводной ($CuSO_4 \cdot 5 H_2O$).

Установлено, что для получения сложного комплексоната цинка, марганца и меди с ЭДТА достаточным количеством комплексона для удерживания этих микроэлементов в растворе является концентрация 2 %, концентрация микроэлементов в комплексных препаратах составляла Zn_{70} , Mn_{50} и Cu_{25} .

Для введения микроэлементов, растворы которых имеют кислую реакцию среды, в растворы препаратов из торфа, имеющих щелочную реакцию среды, необходимо было получить раствор комплексоната со значением pH около 8,0.

Растворяемые соли меди, цинка и марганца в концентрациях, необходимых для проявления бицидных свойств, имеют кислую реакцию среды (pH 4,5–4,7), поэтому для предотвращения выпадения в осадок гуминовой части препаратов, нерастворимой в кислой среде, при получении комплексонатов микроэлементов нужно поддерживать значения pH раствора ЭДТА в щелочной области. Установлено, что для поддержания щелочной среды в растворе комплексоната достаточно использовать 0,8%-й раствор щелочи. На первой стадии в щелочном растворе 0,8%-й концентрации (pH 11,0–11,5) готовили 2,0%-й раствор ЭДТА. После растворения ЭДТА pH раствора составила 10,0–11,0. Затем в растворе ЭДТА последовательно при непрерывном перемешивании растворяли 6,67 г цинка сернокислого семиводного (pH 4,7), 6,57 г марганца сернокислого пятиводного (pH 4,6) и 5,88 г меди сернокислой пятиводной (pH 4,5). Полученный комплексонат – эдетат цинка, марганца и меди (ЭДТА Zn_{70} , Mn_{50} , Cu_{25}) представлял собой комплексную соль ЭДТА – соединение, состоящее из ионов цинка, марганца и меди, каждый из которых был координирован с четырьмя бидентантными молекулами ЭДТА. Реакция среды полученного комплексоната (pH) составила 8,52.

Для приготовления комплексных препаратов, полученный раствор комплексоната – эдетата цинка, марганца, меди $C_{10}H_{12}N_2O_8ZnMnCu$ (EDTA- $Zn_{7,0}$ - $Mn_{5,0}$ - $Cu_{2,5}$), вносили в оксидаты в соотношении 10 : 1 при непрерывном перемешивании. Содержание микроэлементов в конечных продуктах составляло $Zn_{7,0}$, $Mn_{5,0}$, $Cu_{2,5}$.

В состав оксидата мха и водных гидролизатов, которые не содержат гуминовых веществ, микроэлементы вводили в тех же концентрациях в виде сернокислых солей.

Исследованы физико-химические свойства полученных композиций, включающих оксидаты и гидролизаты мха и торфа и микроэлементы, либо их хелаты (табл. 4).

Таблица 4. Физико-химическая характеристика опытных образцов комплексных препаратов

Table 4. Physicochemical characteristics of experimental samples of complex preparations

Номер образца	Цвет	Массовая доля веществ, %			Оптическая плотность, нм	Плотность г/см ³	pH
		сухих	органических	зола			
1	Желтый	4,00	3,44	0,76	0,41	1,030	8,64
2	Светло-коричневый	4,95	4,07	0,88	0,54	1,045	8,57
3	Темно-коричневый	7,50	6,45	1,05	0,65	1,042	8,67
4	Зеленовато-коричневый	1,93	1,22	0,71	0,36	1,020	3,99
5	Зеленовато-коричневый	2,28	1,57	0,71	0,38	1,025	3,42

В составе данных композиций определены массовая доля сухих веществ, массовая доля ОВ, реакция среды, однородность растворов и растворимость в воде, устойчивость при хранении в течение двух месяцев.

В составе комплексных препаратов, полученных на основе оксидатов торфа, увеличивается доля и органических, и минеральных веществ за счет введения в оксидаты хелатных соединений металлов. Соответственно, возрастают показатели плотности и оптической плотности растворов. Отобранные для дальнейшей работы оксидаты имели реакцию среды, выраженную в единицах pH от 8,31 до 8,67. Гидролизаты, в состав которых микроэлементы вводили в виде солей, имели кислую реакцию среды (pH 3,42 и 3,99).

Установлено, что в указанных концентрациях все оксидаты, включающие микроэлементы в хелатной форме, образовывали устойчивые композиции, не изменявшие свои физико-химические свойства при хранении в течение двух месяцев. Композиции полностью растворимы в водной среде, не содержат осадков и взвесей, однородны по консистенции.

Для испытаний антимикробной активности на чистых культурах фитопатогенов сельскохозяйственных растений в Институт микробиологии НАН Беларуси передано пять образцов комплексных препаратов с микроэлементами – 3 оксидата и 2 гидролизата сфагнового мха и торфа (табл. 5). Для исследований переданы также два контрольных варианта Р1 и Р2 – растворы реагентов, использованных при изготовлении препаратов.

Таблица 5. Образцы препаратов, переданные для испытаний антимикробной активности

Table 5. Samples of drugs submitted for testing of antimicrobial activity

Шифр	Состав образца комплексного препарата
P1	Контрольный вариант для оксидатов (раствор реагентов)
1-1	Оксидат мха магелланикум, полученный в среде гидроксида аммония при температуре 130 °C+ (Zn _{7,0} -Mn _{5,0} -Cu _{2,5})
2-1	Оксидат торфа магелланикум (R 5 %), полученный в среде гидроксида аммония при температуре 130 °C + (EDTA-Zn _{7,0} -Mn _{5,0} -Cu _{2,5})
3-1	Оксидат торфа магелланикум (R 20–25%), полученный в среде гидроксида аммония при температуре 130 °C + (EDTA-Zn _{7,0} -Mn _{5,0} -Cu _{2,5})
P2	Контрольный вариант для гидролизатов (раствор реагентов)
4-2	Гидролизат мха магелланикум, полученный водным гидролизом при температуре 160 °C + (Zn _{7,0} -Mn _{5,0} -Cu _{2,5})
5-2	Гидролизат торфа магелланикум (R 5%), полученный водным гидролизом при температуре 160 °C + (Zn _{7,0} -Mn _{5,0} -Cu _{2,5})

В начале микробиологических исследований было установлено, что образцы 1-1, 2-1, 3-1, 5-2, P2 контаминированы микроорганизмами, образцы 4-2 и P1 были без признаков контаминации. Для стерилизации образцы были отфильтрованы с использованием стерильных 0,2 мкм шприцевых фильтров (Corning®, 431224) с мембраной из нейлона. После фильтрации был проведен высев образцов для контроля чистоты. Таким образом все образцы были очищены от посторонних микроорганизмов.

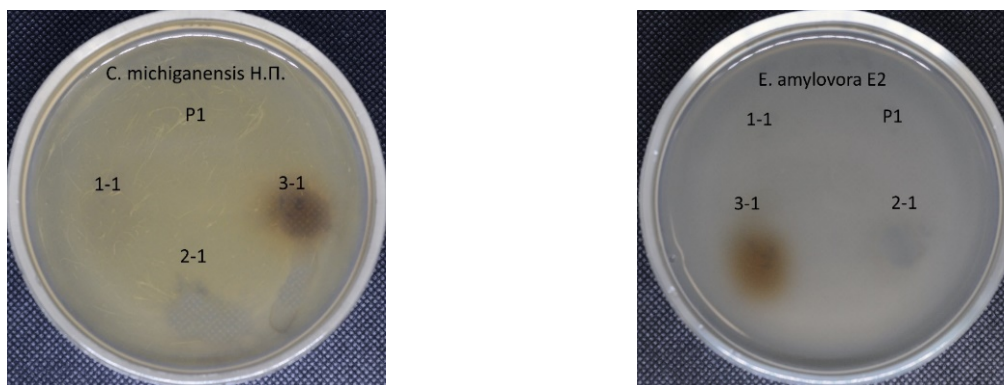
На следующем этапе у полученных образцов определяли активность в отношении ряда бактериальных и грибных фитопатогенов. Результаты данного эксперимента представлены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты определения антимикробных свойств комплексных препаратов

Table 6. Results of determining the antimicrobial properties of complex preparations

Образец	Микроорганизм											
	<i>Pseudomonas corrugata</i> 3'			<i>Pectobacterium carotovorum</i> 25.1			<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i> Н.П.			<i>Erwinia amylovora</i> E2		
P1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1-1	-	±	-	-	-	-	-	±	-	-	-	-
2-1	-	±	-	-	-	-	+	+	±	+	±	+
3-1	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	±	-
P2	-	±	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-2	±	+	+	-	-	-	-	-	-	+	±	+
5-2	+	+	±	-	-	±	-	±	-	+	±	+

Как видно из данных, представленных в табл. 6, из образцов оксидатов (1-1, 2-1, 3-1), образец 2-1 (комплексный препарат на основе магелланикум-торфа 5 % и хелатов микроэлементов) активен в отношении фитопатогенов *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П. и *E. amylovora* E2, а образец 3-1 (комплексный препарат на основе магелланикум-торфа 20–25 % и хелатов микроэлементов) – в отношении *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П. (см. рисунок, а). Для группы 2 (образцы 4-2 и 5-2) показано, что оба препарата (гидролизаты мха и торфа 5 %) данной группы проявляют активность в отношении *E. amylovora* E2 и *P. corrugata* 3' (см. рисунок, б).



а (а)



б (b)

Чашки Петри с результатами тестирования оксидатов: а – группа 1; б – группа 2

Petri dish with the results of oxidant testing: а – group 1; б – group 2

Заключение. С целью усиления антимикробных свойств препаратов, полученных на основе оксидатов и гидролизатов сфагновых мха и торфа, в их состав введены микроэлементы (медь, цинк, марганец). В гуматсодержащие препараты их введение проведено в форме комплексонов этих металлов. В качестве комплексона использована динатриевая соль ЭДТА. В гидролизат и оксидат мха микроэлементы внесены в виде солей.

Отработан процесс получения сложного комплексоната – эдетата цинка, марганца и меди (концентрации комплексона и солей металлов, последовательность, щелочность среды и др.), а также условия его введения в состав оксидатов. Установлено, что для удерживания микроэлементов в растворе достаточной концентрацией комплексона является 2 %, концентрация микроэлементов – Zn_{70} , Mn_{50} и Cu_{25} . Для приготовления комплексных препаратов $EDTA-Zn_{70}-Mn_{50}-Cu_{25}$ вносили в оксидаты в соотношении 1 : 10 при непрерывном перемешивании. Содержание микроэлементов в конечных продуктах составило $Zn_{7,0}$, $Mn_{5,0}$, $Cu_{2,5}$.

С использованием модифицированного метода отсроченного антагонизма осуществлена проверка антимикробной активности пяти образцов (1-1, 2-1, 3-1, 4-2, 5-2), а также двух контрольных образцов (P1, P2) в отношении ряда фитопатогенных микроорганизмов, способных вызывать заболевания сельскохозяйственных культур. Установлено, что комплексный препарат на основе оксидата магелланикум-торфа (R 5 %) и хелатов микроэлементов активен в отношении фитопатогенов *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П. и *Erwinia amylovora* E2, а препарат на основе магелланикум-торфа (R 20–25 %) и хелатов микроэлементов – в отношении *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П. Гидролизаты мха и торфа (R 5 %) проявляют активность в отношении возбудителей *Pseudomonas corrugata* 3' и *Erwinia amylovora* E2.

Показано, что в отношении фитопатогенов *P. syringae* pv. *tomato* DC3000, *P. carotovorum* 25.1, *B. cinerea* БИМ F-551, *F. oxysporum* 381, *A. alternata* БИМ F-568 и *Alternaria* sp. F4 активности не было зафиксировано ни для одного из образцов.

Список использованных источников

1. Антимикробная активность оксидатов и гидролизатов сфагнового торфа и сфагнового мха / Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Е. А. Семенчукова, А. А. Муратова // Природопользование. – 2024. – № 2. – С. 146–158.
2. Дятлова, Н. М. Комплексоны и комплексонаты металлов / Н. М. Дятлова, В. Я. Темкина, К. И. Попов. – М. : Химия, 1988. – 544 с.
3. Дятлова, Н. М. Теоретические основы действия комплексонатов и их применение в народном хозяйстве и медицине / Н. М. Дятлова // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д. И. Менделеева. – 1984. – Т. 29, № 3. – С. 358–362.
4. Золотарева, Н. В. Водорастворимые двойные калиевые и аммониевые соли железа (III) и марганца (II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой / Н. В. Золотарева, В. В. Семенов // Журнал общей химии. – 2014. – Т. 84, № 4. – С. 637–641.
5. Аморфные водорастворимые комплексы биометаллов на основе оксиэтилидендифосфоновой кислоты, моноэтанолamina и трис(гидроксиметил)аминометана. Синтез и оценка агрономической эффективности в качестве новых микроудобрений / В. В. Семенов, Н. В. Золотарева, В. И. Петров [и др.] // Журнал общей химии. – 2015. – Т. 85, № 5. – С. 822–830.
6. Водорастворимые комплексы кобальта с 1-гидроксиэтилидендифосфоновой кислотой и 2-аминоэтанолом / В. В. Семенов, Н. В. Золотарева, Н. М. Лазарев [и др.] // Журнал общей химии. – 2017. – Т. 87, № 1. – С. 97–103.
7. О комплексобразующих свойствах оксиэтилидендифосфоновой кислоты в водных растворах / М. И. Кабачник, Р. П. Ластовский, Т. Я. Медведь [и др.] // Доклады АН СССР. – 1967. – Т. 177, № 3. – С. 582–585.
8. Попова, Т. В. Спектрометрическое исследование комплексообразования Fe (II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой в водном растворе / Т. В. Попова, Е. В. Логинова // Химия комплексонатов и их применение / Калининский гос. ун-т. – Калинин : КГУ, 1986. – С. 130–135.
9. Состав и антимикробная активность спиртовых и эфирных экстрактов сфагнового торфа и сфагнового мха / Н. А. Жмакова, Н. Л. Макарова, Т. Ф. Овчинникова [и др.] // Природопользование. – 2023. – № 1. – С. 206–215.

References

1. Zhmakova N. A., Makarova N. L., Semenchukova E. A., Muratova A. A. *Antimikrobnaya aktivnost' oksidatov i gidrolizatov sfagnovogo torfa i sfagnovogo mha* [Antimicrobial activity of oxidates and hydrolysates of sphagnum peat and sphagnum moss]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2024, no. 2, pp. 146–158. (in Russian)
2. Dyatlova N. M., Temkina V. Ya., Popov K. I. *Kompleksony i kompleksonaty metallov* [Complexones and complexonates of metals]. Moscow, Himiya Publ., 1988, 544 p. (in Russian)
3. Dyatlova N. M. *Teoreticheskie osnovy deystviya kompleksonov i ih primeneniye v narodnom hozyaystve i meditsine* [Antimicrobial activity of oxidates and hydrolysates of sphagnum peat and sphagnum moss]. *Jurnal Vsesoyuznogo himicheskogo obshchestva im. D. I. Mendeleeva = Mendeleev Journal of the All-Russian Chemical Society*, 1984, vol. 29, no. 3, pp. 358–362. (in Russian)
4. Zolotareva N. V., Semenov V. V. *Vodorastvorimyye dvoynnyye kalievyye i ammonievyye soli zheleza (III) i margantsa (II) s oksietilidendifosfonovoy kislotoy* [Water-soluble double potassium and ammonium salts of iron (III) and manganese (II) with oxyethylidenediphosphonic acid]. *Jurnal obschey himii = Journal of General Chemistry*, 2014, vol. 84, no. 4, pp. 637–641. (in Russian)
5. Semenov V. V., Zolotareva N. V., Petrov B. I., e.a. *Amorfnyye vodorastvorimyye kompleksy biometallov na osnove oksietilidendifosfonovoy kisloty, monoetanolamina i tris(gidroksimetil)aminometana. Sintez i otsenka agronomicheskoy effektivnosti v kachestve novykh mikroudobreniy* [Amorphous water-soluble complexes of biometals based on oxyethylidenediphosphonic acid, monoethanolamine and tris(hydroxymethyl)aminomethane. Synthesis and evaluation of agronomic efficiency as new microfertilizers]. *Jurnal obschey himii = Journal of General Chemistry*, 2015, vol. 85, no. 5, pp. 822–830. (in Russian)
6. Semenov V. V., Zolotareva N. V., Lazarev N. M., Varlamova L. D., Geiger E. Yu., Titova V. I., Razov E. N. *Vodorastvorimyye kompleksy kobal'ta s 1-gidroksietilidendifosfonovoy kislotoy i 2-aminoetanолом* [Water-soluble cobalt complexes with 1-hydroxyethylidene diphosphonic acid and 2-aminoethanol]. *Jurnal obschey himii = Journal of General Chemistry*, 2017, vol. 87, no. 1, pp. 97–103. (in Russian)
7. Kabachnik M. I., Lastovskiy R. P., Medved T. Ya., e.a. *O kompleksobrazuyuschih svoystvakh oksietilidendifosfonovoy kisloty v vodnykh rastvorakh* [On the complexing properties of hydroxyethylidene diphosphonic acid in aqueous solutions]. *Doklady AN SSSR = Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1967, vol. 177, no. 3, pp. 582–585. (in Russian)
8. Popova T. V., Loginova E. V. *Spektrometricheskoe issledovanie kompleksobrazovaniya Fe (II) s oksietilidendifosfonovoy kislotoy v vodnom rastvore* [Spectrometric study of Fe (II) complexation with oxyethylidenediphosphonic acid in aqueous solution]. *Himiya kompleksonov i ih primeneniye. Sbornik Kalininskiy gos. Universitet.* [Proc. of the Kalinin State University "Chemistry of complexones and their application"]. Kalinin, 1986, pp. 130–135. (in Russian)
9. Zhmakova N. A., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F., Semenchukova E. A., Muratova A. A. *Sostav i antimikrobnaya aktivnost' spirtovykh i efirnykh ekstraktov sfagnovogo torfa i sfagnovogo mha* [Composition and antimicrobial activity of alcoholic and ether extracts of sphagnum peat and sphagnum moss]. *Prirodopolzovanie = Nature Management*, 2023, no. 1, pp. 206–215. (in Russian)

Информация об авторах

Жмакова Надежда Анатольевна – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: zhmakova@mail.ru

Макарова Наталья Леонидовна – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

Семенчукова Екатерина Александровна – научный сотрудник, Институт микробиологии НАН Беларуси (ул. акад. В. Ф. Купревича, 2, 220084, г. Минск, Беларусь). E-mail: eka2105@mail.ru

Муратова Анна Алексеевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт микробиологии НАН Беларуси (ул. акад. В. Ф. Купревича, 2, 220084, г. Минск, Беларусь). E-mail: anya.muratova.93@mail.ru

Information about the authors

Nadezhda A. Zhmakova – Ph. D. (Technical), Assistant Professor, Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: zhmakova@mail.ru

Natalya L. Makarova – Ph. D. (Technical), Assistant Professor, Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skariny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

Katsiaryna A. Semenchukova – Researcher, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kuprevicha Str., 220084, Minsk, Belarus). E-mail: eka2105@mail.ru

Anna A. Muratova – Ph. D. (Biological), Senior Researcher, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kuprevicha Str., 220084, Minsk, Belarus). E-mail: anya.muratova.93@mail.ru