

АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ ГИДРОЛИЗАТОВ И ОКСИДАТОВ СФАГНОВОГО ТОРФА И СФАГНОВОГО МХА

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. Представлены результаты исследования антимикробной активности препаратов из сфагнового торфа и сфагнового мха на чистых культурах возбудителей болезней сельскохозяйственных растений методами окисления в щелочной среде и гидролиза в водной среде при повышенной температуре. Установлены условия проведения процессов окисления и гидролиза по параметрам температуры, продолжительности, расхода реагентов и по критерию максимального выхода растворимых соединений. Из сфагнового мха *Sphagnum magellanicum* и трех образцов сфагнового магелланикум-торфа со степенью разложения 5; 10–15 и 20–25 % наработано 11 образцов препаратов, в том числе 9 – методом окисления и 2 – путем гидролиза в водной среде при высокой температуре. С использованием модифицированного метода отсроченного антагонизма изучена биоцидная активность препаратов в отношении ряда фитопатогенных микроорганизмов бактериальной и грибной природы. Установлено, что наиболее высокой антибактериальной активностью против возбудителя бактериозов растений томата *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П. обладали три препарата, полученные из магелланикум-торфа со степенью разложения 5 % и 20–25 % методом окисления в среде гидроксида аммония, а также образец, полученный окислением магелланикум-торфа (20–25 %) в среде гидроксидов аммония и натрия (1 : 1) с использованием катализатора окисления – солей кобальта. Водный гидролизат магелланикум-торфа со степенью разложения (R) 5 % проявил активность в отношении двух возбудителей бактериозов растений томата *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000, *C. michiganensis* Н.П. и возбудителя бактериоза плодовых культур *Erwinia amylovora* E2, а магелланикум мха – в отношении двух фитопатогенов – *P. syringae* pv. *tomato* DC3000 и *C. michiganensis* Н.П. Антифунгального действия ни один препарат не проявил.

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

Для цитирования. Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Семенчукова Е. А., Муратова А. А. Антимикробная активность гидролизатов и оксидатов сфагнового торфа и сфагнового мха // Природопользование. – 2024. – № 2. – С. 146–158.

ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF THE HYDROLYSATES AND OXIDATES OF SPHAGNUM PEAT AND SPHAGNUM MOSS

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

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

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

Abstract. The purpose of this work was to obtain preparations from sphagnum peat and moss by the methods of oxidation in alkaline medium and hydrolysis in aqueous medium at the elevated temperature and initial studies of their antimicrobial activity on the pure cultures of pathogens of the agricultural plants. The conditions of oxidation and hydrolysis processes have been established in terms of temperature, duration, reagent consumption and maximum yield of soluble compounds. From sphagnum moss *Sphagnum magellanicum*, and three samples of sphagnum magellanicum peat with decomposition degree of 5; 10–15 and 20–25 % 11 samples of preparations were prepared, including 9 by oxidation and 2 by hydrolysis in aqueous medium at high temperature. Using the modified method of delayed antagonism, the biocidal activity of the preparations against a number of the phytopathogenic microorganisms of bacterial and fungal nature was studied. It has been found that the highest antibacterial activity against pathogen of tomato plants *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* N.P. had three preparations obtained from magellanicum peat with decomposition the degree of 5 % and 20–25 % by oxidation in ammonium hydroxide medium, as well as a sample obtained by the oxidation of magellanicum peat (20–25 %) in ammonium and sodium hydroxide medium (1 : 1) with the use of oxidation catalyst – cobalt salts. Aqueous hydrolysate of magellanicum peat with R = 5 % showed activity against two pathogens of tomato plants *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* DC3000, *C. michiganensis* N.P. and *Erwinia amylovora* E2 – pathogen of fruit

crops, and moss magellanicum – against two pathogens *P. syringae* pv. *tomato* DC3000 and *C. michiganensis* N.P. No antifungal effect was shown by any preparation.

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

For citation. Zhmakova N. A., Makarova N. L., Semenchukova E. A., Muratova A. A. Antimicrobial activity of the hydrolysates and oxidates of sphagnum peat and sphagnum moss. *Nature Management*, 2024, no. 2, pp. 146–158.

Введение. Сфагновые мхи и сфагновый торф можно рассматривать как концентрированный источник соединений отдельных химических классов, проявляющих разнообразные биологические свойства: ростстимулирующие, бактерицидные, фунгицидные, антиоксидантные и др. К таким соединениям можно отнести гуминовые вещества, полисахариды, в том числе полиурониды, уроновые кислоты, фенолкарбоновые кислоты, флавоны, флавоноиды, альдегиды, кумарины, тритерпеновые соединения, органические кислоты разнообразного строения и др. [1, 2]. Сравнение компонентного состава органической части сфагновых мхов и сфагнового торфа показывает, что основное их различие сводится к присутствию в торфе гуминовых веществ, появляющихся при разложении отмерших болотных растений в залежи в процессе микробиологического разложения.

В составе растительного, и в особенности торфяного сырья, органические и минеральные составляющие, как правило, образуют слаборастворимые высокомолекулярные комплексы, поэтому при получении из торфа биологически активных препаратов его органическую часть необходимо максимально активизировать путем воздействия физических и химических методов. В результате такой обработки происходят разрыв связей в органических и органо-минеральных комплексах, полная или частичная деструкция высокомолекулярных соединений, улучшение их растворимости в водной или водно-щелочной средах, образование новых биологически активных веществ вторичного происхождения, что позволяет перевести в раствор комплекс соединений с высокой биологической активностью. Перспективным является использование для этих целей методов окислительной и гидролитической деструкции торфа и растений-торфообразователей. Особый интерес представляет получение с использованием этих методов экологически безопасных препаратов для защиты растений от грибных и бактериальных инфекций.

Наиболее простым методом выделения соединений антимикробного действия из сфагновых мхов и торфа является термический гидролиз в водной среде – водная экстракция при повышенной температуре и давлении.

Водный гидролиз сфагнового мха и торфа в автоклавах при повышенной температуре и избыточном давлении приводит к накоплению в реакционной среде водорастворимых соединений, представленных моносахаридами, аминокислотами, органическими кислотами, биогенными аминами, пектинами и рядом других химических соединений, растворимых в горячей воде [3, 4]. Представлял интерес выделение этих водных гидролизатов из сфагнового мха и сфагнового торфа и испытание их антибактериальной и антифунгальной активности. Однако этот метод не позволяет перевести в растворимое состояние трудногидролизуемые вещества (целлюлозу) и гуминовые вещества торфа.

Гуминовые вещества занимают особое место среди биологически активных соединений природного происхождения. Они представляют собой полидисперсные полимеры сложного строения с высокой молекулярной массой. Наиболее активной составляющей гуминовых веществ являются гуминовые кислоты.

С химической точки зрения это группа ароматических оксиксокарбоновых кислот, объединенных общим принципом строения, но различающихся в широких пределах по составу в зависимости от материнского вещества и условий гумификации. Строение гуминовых кислот до сих пор не установлено, однако общепризнанным является то, что они содержат в своем составе конденсированные ароматические ядра, соединенные друг с другом через цепи, имеющие достаточное сопряжение углерод-углеродных связей и алифатической периферической части, в состав которой входят компоненты углеводного (полисахариды и полиурониды) и белкового характера, в том числе высокомолекулярные [5].

Структурные особенности гуминовых кислот и присутствие в их составе большого количества функциональных групп различной химической природы – карбоксильных, фенольных, карбонильных, хиноидных, метоксильных, сложнэфирных, спиртовых, гидроксильных и других – обеспечивают их высокую биореакционную способность и проявление разностороннего биологического действия, что вызывает интерес к их испытанию как антимикробных средств. Продукты, содержащие гуминовые вещества, можно рассматривать как перспективные препараты биоцидного действия или компоненты комплексных препаратов этого класса.

Эффективным технологическим приемом химической деструкции органического сырья, в том числе полимеров торфа и растений-торфообразователей, доступным для практической реализации, является гидролиз в присутствии минеральных кислот и щелочей. Это сравнительно мягкий метод деструкции, при котором затрагивается преимущественно периферическая часть молекулы гуминовых кислот. При этом в гидролизатах всегда обнаруживаются соединения углеводов (моно-, ди- и трисахара, олигосахариды, уроновые кислоты и др.) и продукты гидролиза белковых компонентов (аминокислоты, пептиды, амины и др.).

Однако при кислотном гидролизе не растворимы такие важные биологически активные составляющие торфа, как активизированные в его ходе гуминовые кислоты. Поэтому гидролиз торфа в среде минеральных кислот можно рассматривать как первую стадию процесса получения антимикробного препарата. На второй стадии обработка прогидролизованной пульпы щелочными агентами при нагревании дает возможность пополнить гидролизаты модифицированными гуминовыми кислотами, а также соединениями вторичного синтеза типа меланоидинов, которые интенсивно образуются и в щелочной среде.

Таким образом, последовательный гидролиз торфяного сырья в кислой и щелочной средах позволяет эффективно использовать его органические компоненты и получить препарат с высоким выходом.

Продуктами более глубокой деструкции гуминового комплекса торфа могут быть ароматические соединения. Одним из методов частичного расщепления гуминовых кислот и обогащения продуктов деструкции торфа этими соединениями является окисление в щелочной среде. В составе оксидатов, полученных различными способами, от 20 до 60 % могут составлять бензолкарбоновые кислоты в зависимости от условий процесса. Продуктами окисления фенольных структур гуминовых кислот являются ароматические оксикарбоновые кислоты: оксибензойные и оксибензолполикарбоновые, фенолкарбоновые и др. [1].

В результате окисления гумуссодержащего сырья в щелочной среде происходит частичная деструкция макромолекул гуминовых кислот, снижение их молекулярной массы и обогащение кислородсодержащими функциональными группами, что обеспечивает заметное увеличение их растворимости и уровня биологической активности. Кроме этого, образуются биологически активные низкомолекулярные карбоновые кислоты, аминокислоты, фенольные соединения, а также продукты вторичного синтеза меланоидиновой природы. Меланоидины образуются по реакции Майяра на основе первичных продуктов гидролиза и являются одним из биологически активных компонентов гидролизатов и оксидатов торфяного и растительного сырья. Меланоидинообразование – сложный окислительно-восстановительный процесс взаимодействия соединений, имеющих свободные аминогруппы, с веществами, содержащими свободные карбонильные группы. В результате дальнейших химических реакций промежуточные продукты гидролиза превращаются в высококонденсированные азотсодержащие соединения – меланоидины. В синтезе меланоидинов в качестве продуктов, содержащих аминогруппу, могут участвовать аминокислоты, амины, пептиды и белки, а карбонильную группу – углеводы, органические кислоты различного строения, альдегиды, кетоны, фенольные соединения и другие вещества. Реакция меланоидинообразования наиболее интенсивно протекает при повышенной температуре (выше 90 °С) как в кислой, так и в щелочной средах. Биологическая роль меланоидинов очень многообразна. Им присущи ростовые, антиокислительные, антикоагулянтные, антимикробные, антифунгальные свойства [6].

В случае окисления мха, как и любого гемцеллюлозсодержащего сырья, не содержащего гуминовых веществ, основным биологически активным компонентом полученных продуктов являются меланоидины.

Характер образующихся в процессе гидролиза и окисления соединений и химический состав гидролизатов и оксидатов зависят от технологического режима процесса.

Цель данных исследований – определить технологические условия получения препаратов из сфагнового мха и сфагнового торфа разной степени гумификации методами бескислотного высокотемпературного водного гидролиза и окисления, провести наработку лабораторных образцов препаратов и первичные испытания их биоцидных свойств на чистых культурах возбудителей болезней сельскохозяйственных растений бактериальной и грибной природы.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований являлись три образца сфагнового торфа сфагнум магелланикум *Sph. magellanicum* со степенью разложения (*R*) 5; 10–15 и 20–25 % и сфагновый мох *Sph. magellanicum* (сфагнум магелланикум). Магелланикум-торф малой степени разложения отбирали из залежи на торфяном месторождении «Червоное» Червенского района Минской области, там же 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 характеристика проб торфа, включающая определение ботанического состава, вида торфа в соответствии с ботанической классификацией и степени его разложения, выполнена в лаборатории биогеохимии и агроэкологии. Ботанический анализ торфа заключался в определении под микроскопом в отмытых от гумуса растительных волокнах процентного содержания остатков различных видов растений-торфообразователей.

Результаты геоботанических исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1. Геоботаническая характеристика образцов торфа**Table 1. Geobotanical characterization of peat samples**

Номер образца	Ботанический состав, %	Вид	Тип	Степень разложения, %
1	Пушица – 5 Сфагнум магелланикум – 75 Сфагнум фускум – 15 Сфагнум апикулятум – 5 Шейхцерия – ед.	Сфагнум магелланикум	Верховой	5
2	Сфагнум магелланикум – 65 Сфагнум фускум – 15 Сфагнум ангустифолиум – 15 Пушица – 5			10–15
3	Сфагнум магелланикум – 70 Сфагнум апикулятум – 20 Сфагнум фускум – 5 Пушица – 5 Кора сосны – ед.			20–25

Определение массовой доли влаги торфа проводили в соответствии с действующим типовым методом. После высушивания в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С до постоянной массы вычисляли потери массы взятой навески в процентах.

Массовую долю золы определяли по процентному соотношению массы остатка, образующегося после полного сжигания абсолютно сухой навески образца торфа или мха в муфельной печи при температуре 800 ± 25 °С, к общей массе исходной навески. Массовую долю органического вещества образца определяли как разность сухого вещества и золы.

Гидролитическую и окислительную деструкцию торфа и мха осуществляли при избыточном давлении в специальных герметически закрывающихся толстостенных сосудах из нержавеющей стали объемом 500 см³. Ампулы с реакционной смесью (мох или торф + вода + реагенты) выдерживали в термостате при необходимой температуре заданное время, затем охлаждали в проточной воде до комнатной температуры. После охлаждения ампулы вскрывали, содержимое разделяли центрифугированием на жидкую фазу (целевой продукт) и твердый остаток.

При установлении оптимальных температурных параметров водного гидролиза процесс проводили при температуре от 100 до 180 °С в течение 3 ч, а оптимальной продолжительности гидролиза – в течение 1; 2 и 3 ч при температуре 160 °С. В водных гидролизатах определяли выход органических веществ и редуцирующих соединений (до и после инверсии).

Исследование влияния технологических параметров на выход и состав продуктов окисления торфа и мха проведено по температурным, расходным показателям и продолжительности процесса. Влияние расхода щелочного агента на выход и состав продуктов окислительной деструкции торфа исследовали в пределах 20–60 % от органической массы сырья. При этом в опытах использовали три типа щелочных агента – гидроксид натрия, гидроксид аммония и их смесь в соотношении 1 : 1. Влияние расхода окислителя – пероксида водорода – на выход препарата изучали в серии опытов, где расход реагента в реакционной среде составлял 10; 15; 20 и 25 % на органическую массу исходного сырья, а продолжительность процесса – 1; 2; 3 и 4 ч, влияние температуры окисления исследовали в диапазоне 100–150 °С.

Один образец оксидата из малелланикум-торфа со степенью разложения 20–25 % получен с использованием катализатора окисления – соли кобальта.

Наработанные препараты охарактеризованы по ряду физико-химических показателей: массовой доле сухих веществ, массовой доле органических веществ, зольности, активной кислотности и др. Цвет препаратов оценивали визуально, плотность измеряли ареометром, реакцию среды – при помощи иономера И-120.1, массовую долю сухих и органических веществ – весовым методом.

Исследование антимикробной активности полученных гидролизатов и оксидатов выполнено специалистами Института микробиологии НАН Беларуси на чистых культурах фитопатогенов бактериальной и грибной природы. Для ее оценки использовали фитопатогенные микроорганизмы сельскохозяйственных культур, выделенные на территории Беларуси, коллекционные штаммы из фонда Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов и штаммы из коллекции «Центр аналитических и генно-инженерных исследований» (табл. 2).

Таблица 2. Штаммы фитопатогенных бактерий и грибов, использованные в работе

Table 2. Strains of phytopathogenic bacteria and fungi used in the work

Штамм	Микроорганизм	Источник выделения / кем выделен	Возбудитель (его действие) и (или) вызываемое(ые) заболевание(я)
<i>Мицелиальные грибы</i>			
БИМ F-544	<i>Aspergillus niger</i> (<i>A. niger</i>)	Очаги плесневого поражения / получен от лаборатории экспериментальной микологии и биоповреждений, Институт микробиологии НАН Беларуси	Поражает деревянные материалы
БИМ F-551	<i>Botrytis cinerea</i> (<i>B. cinerea</i>)	Листья капусты / Купцов В. Н., Институт микробиологии НАН Беларуси	Возбудитель серой гнили капусты
381	<i>Fusarium oxysporum</i> (<i>F. oxysporum</i>)	–	Вызывает корневые гнили овощных культур
БИМ F-568	<i>Alternaria alternata</i> (<i>Alt. alternata</i>)	Плоды яблоны / Институт микробиологии НАН Беларуси	Возбудитель альтернариоза овощных культур и плодовых деревьев
F4	<i>Alternaria</i> sp. (<i>Alternaria</i> sp.)	–	Возбудитель альтернариоза овощных культур и плодовых деревьев
<i>Бактерии</i>			
Н.П.	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i> (<i>C. michiganensis</i>)	Томат сорта «Раиса» / Мямин В. Е., биологический факультет Белорусского государственного университета	Бактериозы растений томата
3'	<i>Pseudomonas corrugata</i> (<i>P. corrugata</i>)	Томат сорта «Раиса» / Мямин В. Е., биологический факультет Белорусского государственного университета	Некроз сердцевины стеблей томата
DC3000	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> (<i>P. syringae</i> pv. <i>tomato</i>)	Коллекционный штамм	Бактериозы растений томата
E2 (БИМ В-641 Г)	<i>Erwinia amylovora</i> (<i>E. amylovora</i>)	Листья яблоны / Лагоненко А. Л., биологический факультет Белорусского государственного университета	Бактериальный ожог плодовых культур
25.1	<i>Pectobacterium carotovorum</i> (<i>Pec. carotovorum</i>)	Огурец сорта «Кураж» / Мямин В. Е., биологический факультет Белорусского государственного университета	Мягкие гнили овощных культур

Глубинное культивирование бактерий осуществляли в полноценной среде LB [7] с аэрацией (200 об/мин) при температурах 28–30 °С в течение 24–48 ч. Мицелиальные грибы выращивали в картофельно-глюкозном бульоне [8] с перемешиванием 120–160 об/мин при температуре 24 °С в течение 48 ч. Также исследуемые штаммы культивировали на агаризованной питательной среде (полноценный питательный агар (ППА)) [9] с содержанием агар-агара 0,7 или 2,0 %. Клетки культивировали в течение 24–48 ч при температурах 24–30 °С. Выросшие штаммы визуально анализировали на однородность формы и отсутствие колоний посторонних микроорганизмов.

Культуры фитопатогенных микроорганизмов выращивали до логарифмической фазы роста, которую устанавливали по оптической плотности культуры. Для определения оптической плотности извлекали 1 мл культуры и измеряли оптическую плотность при длине волны 600 нм (ОП₆₀₀) с помощью спектрофотометра «SP-830 Plus» (Metertech).

Для определения антимикробной активности образцов использовали модифицированный метод отсроченного антагонизма: 500 мкл ночной культуры фитопатогена переносили к 4,5 мл разогретой до 40–45 °С агаризованной ППА среды с содержанием агар-агара 0,7 %. Интенсивно перемешивали и наслаивали на чашки Петри с 20 мл застывшего питательного 2%-ного ППА-агара. После полного застывания среды на чашках Петри на поверхность агара наносили по 15 мкл тестируемых образцов. Также в каждую чашку Петри на поверхность агара наносили 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.

Результаты исследований и их обсуждение. Установлен групповой химический состав углеводного комплекса образцов магелланикум-мха и магелланикум-торфа разной степени разложения (табл. 3).

Таблица 3. Групповой химический состав углеводного комплекса магелланикум-мха и магелланикум-торфа

Table 3. Group chemical composition of the carbohydrate complex of magellanicum moss and magellanicum peat

Компоненты, % на органическую массу	Магелланикум- мох	Магелланикум-торф		
		R = 5 %	R = 10–15 %	R = 20–25 %
Водорастворимые вещества, в том числе редуцирующие	9,2 2,0	5,1 1,3	4,6 1,5	3,8 1,3
Легкогидролизующие вещества, в том числе редуцирующие	52,4 31,6	50,2 27,3	45,7 24,6	34,0 19,2
Трудногидролизующие вещества, в том числе редуцирующие	21,4 20,3	22,5 21,9	22,8 21,5	23,1 20,9
Сумма гидролизующих веществ, в том числе редуцирующие	83,0 53,9	77,8 50,5	73,1 48,9	60,9 41,4
Негидролизующий остаток	17,0	22,2	26,9	39,1

Массовая доля водорастворимых веществ в составе мха в 2,0–2,5 раза превышает их содержание в торфах и составляет для мха 9,2 %, для малоразложившегося торфа – 5,1, а для торфа с наибольшей степенью разложения – 3,8 %. Исследуемые сфагновые торф и мох значительно отличаются по выходу легкогидролизующих веществ. Наибольшим содержанием соединений этой группы, в том числе редуцирующих веществ, характеризуется магелланикум-мох. В торфах с ростом степени разложения выход легкогидролизующих веществ закономерно снижается с ростом степени гумификации и лежит в интервале 50,2–34,0. Содержание трудногидролизующих веществ в образцах мха и торфа отличается незначительно и находится на уровне 21–23 %.

Проведен ряд опытов по установлению наиболее эффективных условий процесса бескислотного гидролиза мха и торфа и влияния температуры, продолжительности процесса, степени разложения торфа на выход водорастворимых и редуцирующих веществ в образующихся продуктах.

Установлены оптимальные параметры температуры и продолжительности гидролиза.

Для оптимизации температурных параметров водного гидролиза процесс проводили при температуре от 100 до 180 °С в течение 3 ч (табл. 4).

Таблица 4. Влияние температуры процесса на выход водорастворимых и редуцирующих веществ магелланикум-мха и магелланикум-торфа

Table 4. Effect of process temperature on the yield of water-soluble and reducing substances of magellanicum moss and magellanicum peat

Вид сырья	Температура процесса, °С				
	100	120	140	160	180
<i>Выход органических веществ, %</i>					
Магелланикум-мох	8,4	12,3	23,6	37,5	34,5
Магелланикум-торф, 5 %	10,8	16,1	26,9	38,3	37,3
Магелланикум-торф, 10–15 %	7,5	13,2	20,3	31,5	28,1
Магелланикум-торф, 20–25 %	5,4	10,6	18,6	29,9	26,7
<i>Выход редуцирующих веществ, %</i>					
Магелланикум-мох: до инверсии	3,4	5,8	8,1	13,6	11,3
после инверсии	5,2	7,5	13,6	18,7	14,5
Магелланикум-торф, 5 %: до инверсии	4,2	6,3	11,4	19,5	18,0
после инверсии	6,0	9,1	15,8	22,0	20,1
Магелланикум-торф, 10–15 %: до инверсии	3,2	6,5	11,0	15,6	12,8
после инверсии	4,3	7,1	13,2	18,1	14,9
Магелланикум-торф, 20–25 %: до инверсии	2,5	5,0	10,0	13,6	10,3
после инверсии	3,1	6,3	11,9	16,1	12,8

Оптимальной температурой для процесса бескислотного гидролиза можно считать температуру 160 °С. При этом в раствор переходит наибольшее количество органических веществ мха и выбранных образцов торфа. С ростом температуры процесса в водорастворимые соединения переходит от 29,9 % (для торфа с $R = 20-25$ %) до 38,3 % (для торфа с $R = 5$ %) органических веществ сырья, в то время как исходное сырье содержит лишь 3,8–9,2 % водорастворимых соединений. Увеличение выхода водорастворимых соединений при высоких температурах и избыточном давлении происходит за счет деструкции легкогидролизуемых полисахаридов, гидролиза соединений других классов и обогащения продуктов гидролиза такими соединениями, как органические кислоты, олигосахариды, пектины, урновые кислоты, аминокислоты и др.

Выход водорастворимых веществ для мха и магелланикум-торфа со степенью разложения 5 % в этих условиях очень близок, хотя исходный мох богаче соединениями углеводного характера. Практически одинаковый выход водорастворимых соединений в этом случае можно объяснить различиями в морфологической структуре растительных клеток мха и малоразложившегося торфа. В отсутствие сильных гидролизующих агентов растительная ткань мха более устойчива к деструкции, чем торф, частично подвергнутый разложению в природных условиях. По-видимому, водорастворимые соединения мха в большей степени представлены олигосахаридами, что подтверждается увеличением количества редуцирующих веществ после инверсии.

С ростом степени гумификации выход водорастворимых соединений и редуцирующих веществ в их составе заметно снижается. Увеличение количества редуцирующих веществ после инверсии и в этом случае подтверждает, что значительная часть углеводов представлена полисахаридами (олигосахаридами, пектинами).

Установлена продолжительность бескислотного гидролиза (табл. 5).

Таблица 5. Влияние продолжительности процесса на выход водорастворимых и редуцирующих веществ магелланикум-мха и магелланикум-торфа

Table 5. Effect of process duration on the yield of water-soluble and reducing substances of magellanicum moss and magellanicum peat

Вид сырья	Продолжительность процесса, ч		
	1	2	3
<i>Выход органических веществ, %</i>			
Магелланикум-мох	5,9	24,2	38,0
Магелланикум-торф, 5 %	7,6	27,2	38,3
Магелланикум-торф, 10–15 %	5,3	22,6	32,1
Магелланикум-торф, 20–25 %	4,3	20,3	28,1
<i>Выход редуцирующих веществ, %</i>			
Магелланикум-мох: до инверсии	1,0	10,3	14,0
после инверсии	2,1	14,5	19,1
Магелланикум-торф, 5 %: до инверсии	3,2	12,5	20,3
после инверсии	5,3	14,6	23,6
Магелланикум-торф, 10–15 %: до инверсии	2,9	10,5	16,1
после инверсии	4,5	12,4	18,3
Магелланикум-торф, 20–25 %: до инверсии	2,0	10,4	13,1
после инверсии	3,8	12,0	16,6

Оптимальной продолжительностью процесса гидролиза для всех видов сырья является трех-часовой гидролиз. При меньшей продолжительности процесса выход водорастворимых веществ значительно ниже, а увеличение времени гидролиза свыше 3 ч нецелесообразно по экономическим соображениям.

Выход водорастворимых соединений оказался наибольшим для магелланикум-мха и магелланикум-торфа малой степени разложения (5 %) и составил порядка 38 % от органической массы исходного сырья.

Таким образом, установлены оптимальные параметры проведения водного гидролиза и выбраны два образца наиболее перспективного сырья для получения препаратов биоцидного действия по данному методу – магелланикум-мох и магелланикум-торф со степенью разложения 5 %.

Представляло интерес испытать биоцидную активность препаратов гуминовой и меланоидиновой природы. Препарат гуминовой природы целесообразно было наработать на основе магелланикум-торфа со степенью разложения 20–25 %, а меланоидиновой природы – на основе магелланикум-мха, наиболее богатого углеводными компонентами.

Установлено влияние технологических параметров окислительной деструкции торфа и мха на выход и состав продуктов окисления.

Существенным фактором, определяющим эффективность процесса получения и свойства препарата, является щелочной агент, а также его количество, использованное в процессе. Щелочь извлекает гуминовые вещества из торфа в виде водорастворимых солей и связывает образующиеся карбоновые кислоты, предотвращая возможность их дальнейшего окисления и способствуя целенаправленному превращению органических соединений торфа в карбоновые кислоты. Количество гидроксида должно быть достаточным для связывания всех образующихся кислых продуктов реакции. При этом в опытах использовали три типа щелочных агентов – гидроксид натрия, гидроксид аммония и их смесь в соотношении 1 : 1.

Установлено, что для всех вариантов опытов повышение содержания щелочи в реакционной среде в исследуемом диапазоне сопровождается увеличением выхода препарата (табл. 6).

Таблица 6. Влияние вида щелочного агента и его расхода на выход препаратов

Table 6. Effect of type of alkalizing agent and its consumption on the yield of preparations

Вид щелочи	Расход щелочи, % на органическую массу сырья	Выход препарата, % на органическую массу сырья			
		Мох-магелланикум	Торф-магелланикум		
			R = 5 %	R = 10–15 %	R = 20–25 %
NaOH	20	30,3	35,6	45,4	54,1
	30	38,6	39,5	47,1	60,2
	40	47,8	52,9	68,5	74,1
	50	51,0	53,3	68,6	76,5
	60	51,0	53,8	68,5	76,0
NaOH + NH ₄ OH 1 : 1	20	25,3	34,8	44,3	51,6
	30	36,7	40,3	56,9	58,7
	40	43,7	50,4	59,0	72,9
	50	48,5	51,3	59,4	72,1
	60	49,0	51,5	59,0	72,5
NH ₄ OH	20	14,8	24,7	35,0	47,3
	30	32,5	33,0	43,5	48,4
	40	36,1	37,5	46,7	54,8
	50	36,7	43,5	47,1	54,8
	60	37,0	43,3	47,5	54,3

Наибольший выход препаратов из мха (47,8–51,0 %) и из взятых образцов торфа разной степени разложения (52,7–72,9 %) наблюдался при применении самого сильного щелочного агента гидроксида натрия с расходом 40–50 % на органическую массу сырья. Применение смеси гидроксидов аммония и натрия понижает выход органических веществ на 3–9 %, но оптимальный расход смеси щелочных агентов можно считать также 40–50 % от органического вещества сырья. При использовании гидроксида аммония переход органических веществ в раствор самый низкий, хотя оптимальный диапазон его расхода лежит в тех же пределах.

На основании полученных данных можно заключить, что для получения препаратов с удовлетворительным выходом расход щелочного агента должен быть не менее 40 % от органической массы сырья, так как при более низких концентрациях выход препарата недостаточен. Увеличение расхода щелочи свыше 40 % также нецелесообразно, поскольку практически не сказывается на его выходе, но увеличивает щелочность препарата.

Влияние расхода окислителя – пероксида водорода, и продолжительности процесса приведено в табл. 7.

Установлено, что для получения препарата с максимальным выходом органических веществ можно ограничиться расходом пероксида водорода 15–20 % на органическую массу сырья, так как с дальнейшим повышением его концентрации снижается выход щелочерастворимых продуктов, очевидно, за счет распада до CO₂ легкоокисляющихся компонентов. При меньшем расходе окислителя выход препарата недостаточен.

Таблица 7. Влияние продолжительности окисления и расхода окислителя на выход препаратов**Table 7. Effect of oxidation duration and oxidant consumption on drug yields**

Продолжительность, ч	Расход пероксида водорода, % на органическую массу сырья	Выход препарата, % на органическую массу сырья			
		Магелланикум-мох	Магелланикум-торф		
			R = 5 %	R = 10–15%	R = 20–25 %
1,0	10,0	25,6	30,0	40,8	45,3
	15,0	27,0	33,2	41,2	47,4
	20,0	31,9	36,1	45,7	51,2
	25,0	29,3	34,7	40,7	48,9
2,0	10,0	28,0	33,4	49,7	60,5
	15,0	33,1	37,0	55,8	62,4
	20,0	37,9	42,7	57,2	64,3
	25,0	35,6	41,5	59,0	62,0
3,0	10,0	34,5	40,7	54,4	62,7
	15,0	36,4	51,3	60,3	65,1
	20,0	36,7	51,9	63,5	67,4
	25,0	34,2	48,3	55,5	61,1
4,0	10,0	35,4	42,3	50,8	56,4
	15,0	37,0	47,1	48,3	60,0
	20,0	37,4	47,0	48,1	61,0
	25,0	35,2	42,6	44,5	56,3

В большой степени выход продуктов окисления и их состав определяет температурный режим процесса. Повышение температуры окисления приводит к увеличению глубины деструкции соединений торфа и росту выхода низкомолекулярных продуктов, в том числе карбоновых кислот (табл. 8).

Таблица 8. Влияние температуры окисления на выход препаратов**Table 8. Effect of oxidation temperature on drug yield**

Температура, °С	Выход препарата, % на органическую массу сырья			
	Магелланикум-мох	Магелланикум-торф		
		R = 5 %	R = 10–15%	R = 20–25%
100	31,2	39,1	45,9	50,8
110	35,8	47,9	61,5	65,3
120	38,2	52,2	68,3	71,2
130	40,3	55,1	70,1	72,6
140	42,6	57,3	71,3	72,8

Результаты экспериментов показали, что в исследуемом диапазоне температур выход щелочерастворимых продуктов окисления с ростом температуры от 100 до 140 °С для магелланикум-мха увеличивался с 31,2 до 42,2 %, малоразложившегося магелланикум-торфа – с 39,1 до 57,3, для более разложившихся торфов – с 45,9–50,8 до 71,3–72,8 %. Максимальный выход препаратов достигается при температуре 120–140 °С. С экономической точки зрения выгоднее использовать температуру 120 °С. Однако для того, чтобы выяснить влияние температурного параметра на биоцидную активность продуктов окисления, целесообразно получить ряд препаратов при более высокой температуре. За температурный режим получения препарата можно принять диапазон температур 120–140 °С, который обеспечивает наиболее полное извлечение его биологически активных компонентов.

Образцы препаратов для изучения биоцидной активности получены при следующих условиях: температура процесса – 120–140 °С; продолжительность окисления – 3 ч; расход щелочного агента – 40 %, пероксида водорода – 15–20 % от органической массы сырья. В качестве щелочного агента использовали гидроксид аммония и его смесь с гидроксидом натрия, поскольку гидроксид аммония и аммонийные соли могут усиливать биоцидные свойства препаратов.

С применением методов окисления в установленных условиях было наработано девять препаратов из разного исходного сырья и с использованием различных щелочных агентов. Образцы № 1 и 2 получены при окислении магелланикум-мха в среде гидроксида аммония и смеси гидроксидов аммония и натрия (1 : 1) соответственно. Образцы № 3 и 4 – этими же способами из магелланикум-торфа со степенью разложения 5 %; образцы № 5 и 6 – из магелланикум-торфа со степенью разложения 10–15 %; образцы № 7 и 8 – из магелланикум-торфа со степенью разложения 20–25 %. Образец № 9

наработан из наиболее разложившегося торфа ($R = 20\text{--}25\%$) с использованием смеси гидроксидов аммония и натрия и катализатора окисления – соли кобальта. Еще два препарата – из магелланикум-мха (образец № 10) и магелланикум-торфа со степенью разложения 5 % (образец № 11) – наработаны методом бескислотного водного гидролиза.

Из образцов, полученных с использованием гидроксида аммония, методом испарения удален аммиак, водные гидролизаты переданы в исходном виде.

Исследованы физико-химические свойства полученных образцов препаратов (табл. 9).

Таблица 9. Физико-химические свойства препаратов

Table 9. Physicochemical properties of preparations

Номер образца	Цвет	Массовая доля веществ, %			pH
		органических	сухих	зольных	
1	Желтый	3,74	3,80	0,06	8,1
2	Желтовато-коричневый	4,22	4,40	0,18	8,8
3	Светло-коричневый	3,87	3,95	0,08	8,1
4	Светло-коричневый	4,76	4,96	0,20	9,0
5	Светло-коричневый	6,18	6,43	0,25	9,2
6	Коричневый	6,81	6,94	0,13	7,9
7	Темно-коричневый	7,32	7,50	0,18	8,2
8	Темно-коричневый	7,35	7,65	0,30	9,4
9	Темно-коричневый	7,99	8,31	0,32	9,6
10	Желтовато-коричневый	1,23	1,24	0,01	4,0
11	Светло-коричневый	1,56	1,57	0,01	3,4

Препараты, полученные из мха и торфа, – это однородные непрозрачные жидкости от желтого до темно-коричневого цвета, хорошо растворимые в воде. Массовая доля органических, сухих и зольных веществ в препаратах значительно отличается в зависимости от исходного сырья, способа получения и используемых реагентов. Препарат, полученный из мха методом бескислотного высокотемпературного гидролиза (образец № 10), имел наименьшую концентрацию органических веществ – 1,23 %, причем практически все сухие вещества представлены органическими соединениями. Для образца № 11, полученного этим же способом из магелланикум-торфа малой степени разложения (5 %), содержание в растворе органических и сухих веществ также было практически одинаковым и составляло 1,56 и 1,57 %.

Для образцов № 1 и 2, полученных окислением магелланикум-мха в среде гидроксида аммония и в смеси гидроксида аммония и гидроксида натрия 1 : 1 соответственно, содержание органических веществ после удаления аммиака составляло 3,74 и 4,22 %, а сухих веществ – 3,80 и 4,40 % соответственно. Аналогичные показатели для образцов № 2 и 3, наработанных из торфа с низкой степенью разложения (5 %), отличались незначительно и составляли 3,87 и 4,76 %. В препаратах, полученных из торфа с более высокой степенью разложения, суммарное содержание органических веществ было существенно выше и составляло от 6,18 до 7,32 % для образцов, полученных в среде гидроксида аммония (образцы № 5 и 7), до 6,81–7,35 % для образцов № 6 и 8, полученных с использованием смеси гидроксидов аммония и натрия. Максимальной массовой долей органических и сухих веществ характеризовался образец № 9, полученный с применением катализатора окисления – 7,99 и 8,31 % соответственно. Препараты, полученные методом окисления, имели щелочную реакцию среды (pH 7,9–9,6), а полученные методом бескислотного гидролиза – кислую реакцию среды (pH 3,4–4,0).

Специалистами Института микробиологии НАН Беларуси проведены исследования антимикробной активности гидролизатов и оксидатов в отношении пяти грибных (*A. niger* БИМ F-544, *B. cinerea* БИМ F-551, *F. oxysporum* 381, *Alt. alternata* БИМ F-568 и *Alternaria* sp. F4) и пяти бактериальных (*C. michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П., *P. corrugata* 3', *P. syringae* pv. *tomato* DC3000, *E. Amylovora* E2, *P. carotovorum* 25.1) фитопатогенов, которые способны вызывать ряд заболеваний сельскохозяйственных культур.

Оценка антимикробных свойств выявила наличие высокой активности в отношении фитопатогенных бактерий у пяти образцов (№ 3, 7, 9, 10, 11) из одиннадцати переданных на испытания (табл. 10).

Наиболее высокой антибактериальной активностью обладали три препарата, полученные методом окисления в среде гидроксида аммония из магелланикум-торфа со степенью разложения 5 % (образец № 3) и 20–25 % (образец № 7) и окислением магелланикум-торфа (20–25 %) в среде гидроксидов аммония и натрия с использованием катализатора окисления – солей кобальта (образец № 9). Эти препараты проявили активность в отношении фитопатогена *C. michiganensis* Н.П.

Таблица 10. Результаты определения антимикробных свойств образцов, полученных из сфагнового мха и сфагнового торфа**Table 10. Results of antimicrobial properties of samples obtained from sphagnum mosse and sphagnum peat**

Номер образца	Микроорганизм		
	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>tomato</i> DC3000	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i> Н.П.	<i>Erwinia amylovora</i> E2
3	–	+	–
7	–	+	–
9	–	+	–
10	±	±	–
11	±	±	±

П р и м е ч а н и е: «–» – признак отсутствует или выражен крайне слабо; «+» – зона задержки роста есть, границы четкие; «±» – зона задержки роста есть, границы расплывчатые.

Выявлен наиболее активный образец, который подавлял самый широкий круг фитопатогенов – бескислотный водный гидролизат магелланикум-торфа с $R = 5\%$ (образец № 11). Этот препарат активен в отношении трех фитопатогенов – *P. syringae* pv. *tomato* DC3000, *C. michiganensis* Н.П. и *Erwinia amylovora* E2. Для образца № 10, полученного тем же способом из магелланикум-мха, была зафиксирована активность в отношении двух фитопатогенных бактерий – *P. syringae* pv. *tomato* DC3000 и *C. michiganensis* Н.П. Антифунгального действия ни один препарат не проявил.

Закключение. Для получения препаратов, обладающих биоцидной активностью, выбран сфагнум магелланикум-торф разной степени разложения (5; 10–15 и 20–25 %) и растение-торфообразователь – магелланикум-мох. Для их наработки применены методы окисления и высокотемпературного гидролиза в водной среде. Установлены условия проведения процессов окисления и гидролиза по критерию максимального выхода растворимых веществ.

Гидролиз магелланикум-мха и магелланикум-торфа малой степени разложения (5 %) проводили при температуре 160 °С в течение 3 ч, окисление – при температуре 140 °С в течение 3 ч; с расходом щелочи 40 %, пероксида водорода – 15–20 % от органической массы сырья. В качестве щелочного агента использовали гидроксид аммония и его смесь с гидроксидом натрия. Окисленные препараты получены для всех видов торфяного сырья и мха. Наработано 11 препаратов, из которых 9 – методом окисления, а 2 – методом гидролиза, определены их физико-химические свойства. Специалистами Института микробиологии НАН Беларуси с использованием модифицированного метода отсроченного антагонизма изучена биоцидная активность препаратов в отношении ряда фитопатогенных микроорганизмов бактериальной и грибной природы: *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П., *P. corrugata* 3', *P. syringae* pv. *tomato* DC3000, *E. amylovora* E2, *P. carotovorum* 25.1, *A. niger* БИМ F-544, *B. cinerea* БИМ F 551, *F. oxysporum* 381, *Alt. alternata* БИМ F-568 и *Alternaria* sp. F4, способных вызывать заболевания растений.

Показано, что наиболее высокой антибактериальной активностью в отношении бактериального патогена (вызывает бактериозы растений томата) *C. michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П. обладали три препарата, полученные методом окисления магелланикум-торфа со степенью разложения 5 % (образец № 3) и 20–25 % (образец № 7) в среде гидроксида аммония, а также образец № 11, полученный окислением того же торфа (20–25 %) в среде гидроксидов аммония и натрия в соотношении 1 : 1 с использованием катализатора окисления – солей кобальта.

Образец № 11, полученный методом высокотемпературного водного гидролиза из магелланикум-торфа со степенью разложения 5 %, подавлял наиболее широкий круг фитопатогенов. Он активен в отношении возбудителей бактериозов растений томата (*C. michiganensis* subsp. *michiganensis* Н.П. и *P. syringae* pv. *tomato* DC3000) и плодовых культур (*E. amylovora* E2). Для образца № 10, полученного тем же способом из магелланикум-мха, была зафиксирована активность против двух фитопатогенов – *P. syringae* pv. *tomato* DC3000 и *C. michiganensis* Н.П. Для остальных образцов антимикробная активность в отношении изученного ряда фитопатогенов отсутствовала.

Препараты, полученные из природного сырья и обладающие активностью в отношении фитопатогенных микроорганизмов, могут быть использованы при разработке средств защиты растений нового поколения.

Список использованных источников

1. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларуская навука, 2009. – С. 56–141.
2. Биологически активные соединения различных видов сфагнового торфа / Г. В. Наумова [и др.] // Химия твердого топлива. – 2015. – № 3. – С. 8–13.
3. Бабешина, Л. Г. Сфагновые мхи Западно-Сибирской равнины: морфология, анатомия, экология и применение в медицине : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Л. Г. Бабешина. – Томск, 2011. – 42 с.
4. Дмитрук, В. Н. Сравнительное фармакогностическое исследование рода *Sphagnum* и перспективы их использования : автореф. дис. ... канд. фарм. наук / В. Н. Дмитрук. – Самара, 2008. – 22 с.
5. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1975. – 318 с.
6. Дамберг, Б. Э. Реакция меланоидинообразования и ее биологическое значение / Б. Э. Дамберг // Известия АН Латвийской ССР. – 1986. – № 1. – С. 12–21.
7. Bertani, G. Studies on lysogenesis. I. The mode of phage liberation by lysogenic *Escherichia coli* / G. Bertani // J. Bacteriol. – 1951. – Vol. 62, № 3. – P. 293–300.
8. Wongjiratthiti, A. Utilisation of local crops as alternative media for fungal growth / A. Wongjiratthiti, S. Yottakot // Pertanika J. Trop. Agric. Sci. – 2017. – Vol. 40. – P. 295–304.
9. Лысак, В. В. Микробиология : методические рекомендации к лабораторным занятиям, контроль самостоятельной работы студентов / В. В. Лысак, Р. А. Желдакова. – Минск : БГУ, 2002. – 100 с.

References

1. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and the products of its proceeding]. Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2009, pp. 56–141. (in Russian)
2. Naumova G. V., Thomson A. E., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F. *Biologicheski aktivnye soedineniya razlichnykh vidov sfagnovogo torfa* [Biologically active compounds of various kinds of sphagnum peat]. *Himiya tverdogo topliva = Chemistry of Solid Fuels*, 2015, no. 3, pp. 8–13. (in Russian)
3. Babeshina L. G. *Sfagnovye mhi Zapadno-Sibirskoy ravniny: morfologiya, anatomiya, ekologiya i primeneniye v medicine* [Sphagnum mosses of West Siberian plain: morphology, anatomy, ecology and application in medicine. Dr. biol. sci. abs. diss.]. Tomsk, 2011, 42 p. (in Russian)
4. Dmitruk V. N. *Sravnitel'noe farmakognosticheskoe issledovanie roda Sphagnum i perspektivy ih ispol'zovaniya* [Comparative pharmacognostic study of the genus Sphagnum and prospects for their use. PhD farm. sci. abs. diss.]. Samara, 2008, 22 p. (in Russian)
5. Lishtvan I. I., Korol' N. T. *Osnovnye svojstva torfa i metody ih opredeleniya* [Basic properties of peat and methods of their determination]. Minsk, 1975, 318 p. (in Russian)
6. Damberg B. E. *Reaktsiya melanoidinoobrazovaniya i ee biologicheskoe znachenie* [The melanoidin formation reaction and its biological significance]. *Izvestiya AN Latvviyskoy SSR = Proceedings of the Academy of Sci. of the Latvian SSR*, 1986, no. 1, pp. 12–21. (in Russian)
7. Bertani G. Studies on lysogenesis. I. The mode of phage liberation by lysogenic *Escherichia coli*. *J. Bacteriol*, 1951, vol. 62, no. 3, pp. 293–300.
8. Wongjiratthiti A., Yottakot S. Utilisation of local crops as alternative media for fungal growth. *Pertanika J. Trop. Agric. Sci.*, 2017, vol. 40, pp. 295–304.
9. Lysak V. V., Zheldakova R. A. *Mikrobiologiya: metodicheskie rekomendacii k laboratornym zanyatiyam, kontrol' samostoyatel'noj raboty studentov* [Microbiology: methodological recommendations for laboratory classes, control of students' independent work]. Minsk, 2002, 100 p. (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

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

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

Семенчукова Екатерина Александровна – научный сотрудник, Институт микробиологии НАН Беларуси (ул. Академика 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. Академика Купревича, 2, 220084, г Минск, Беларусь). E-mail: anya.muratova.93@mail.ru

Katsiaryna A. Semenchukova – Researcher, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Akademika 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, Akademika Kuprevicha Str., 220084, Minsk, Belarus). E-mail: anya.muratova.93@mail.ru