

ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ

FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING

УДК 630*443.2*414:631*812

И. А. Машкин¹, А. А. Макеенко², В. П. Шуканов¹, Е. В. Мельникова¹,
Л. А. Корытко¹, С. Н. Полянская¹

¹ Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси

² Институт природопользования НАН Беларуси

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ТОРФА ОТ ПРОИЗВОДСТВА ПРЕПАРАТА «ГИДРОГУМАТ» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СЕМЯН И СЕЯНЦЕВ СОСНЫ (*PINUS SYLVESTRIS L.*)

В статье приведены данные лабораторных и полевых опытов по исследованию влияния побочных продуктов химической деструкции торфа (отходов) от производства регулятора роста «Гидрогумат» на качество посевного и посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*). Семена подвергали предпосевной обработке отходами путем замачивания и инкрustации в сочетании с пленкообразователем «Гисинар-М», а сеянцы двукратно опрыскивали рабочими растворами во время вегетации. После обработок оценивали посевные качества (энергия прорастания, техническая всхожесть) и среднесеменной покой семян, а также морфобиометрические (длина надземной и подземной части, толщина корневой шейки) и физиологико-биохимические (содержание пигментов фотосинтеза в хвое и проницаемость мембран клеток растений) показатели сеянцев с открытой и закрытой корневыми системами.

Выявлено положительное действие произведенных предпосевных и внекорневых обработок отходами от производства регулятора роста «Гидрогумат» на качество посевного и посадочного материала сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*). В частности, обработки способствовали увеличению энергии прорастания и технической всхожести семян на фоне сокращения среднего семенного покоя. Также отмечена активация фотосинтетических процессов растений, сопровождающаяся повышением количества хлорофиллов и каротиноидов в хвое сеянцев с открытой и закрытой корневыми системами, при одновременном повышении целостности мембран клеток.

Ключевые слова: семена, сеянцы, сосна, регуляторы роста, Гидрогумат, отходы, пигменты фотосинтеза, мембранные клетки.

Для цитирования: Машкин И. А., Макеенко А. А., Шуканов В. П., Мельникова Е. В., Корытко Л. А., Полянская С. Н. Использование отходов химической деструкции торфа от производства препарата «Гидрогумат» для повышения качества семян и сеянцев сосны (*Pinus sylvestris L.*) // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 14–22. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-02.

I. A. Mashkin¹, A. A. Makeenko², V. P. Shukanov¹, E. V. Melnikowa¹,
L. A. Korytsko¹, S. N. Poljanskaja¹

¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus

²Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus

THE USE OF PEAT CHEMICAL DESTRUCTION WASTE FROM THE PRODUCTION OF THE HYDROHUMATE PREPARATION TO IMPROVE THE QUALITY OF PINE SEEDS AND SEEDLINGS (*PINUS SYLVESTRIS L.*)

The article presents the results of experiments to study the effect of by-products of the chemical destruction of peat (waste) from the production of growth regulator “Hydrogummat” on the quality of seed and planting material of Scots pine (*Pinus sylvestris L.*). Seeds were treated with waste by soaking and

incrustation in combination with Gisinar-M, and seedlings were sprayed twice with solutions during the growing season. After treatments, the sowing qualities (germination energy, technical germination) and average seed dormancy, as well as morphobiometric (length of the aboveground and underground parts, thickness of the root neck) and physiological and biochemical (content of photosynthesis pigments in the needles and permeability of plant cell membranes) parameters of seedlings.

A positive effect of presowing and foliar treatments with waste from the production of Hydrogummat on the quality of seeds and seedlings of Scotch pine was revealed. Treatments contributed to an increase in germination energy and technical germination of seeds against the background of a decrease in the average seed dormancy of seeds. Activation of photosynthetic processes of plants was also noted, accompanied by an increase in the amount of chlorophylls and carotenoids in the needles of seedlings with an open and closed root system and a simultaneous increase in the integrity of cell membranes in photosynthetic and oxidative processes, as well as an increase in the integrity of plant cell membranes.

Keywords: seeds, seedling, pine, growth regulators, Hydrohumate, waste, photosynthesis pigments, cell membranes.

For citation: Mashkin I. A., Makeenko A. A., Shukanov V. P., Melnikowa E. V., Korytsko L. A., Poljanskaja S. N. The use of peat chemical destruction waste from the production of the Hydrohumate preparation to improve the quality of pine seeds and seedlings (*Pinus sylvestris* L.). *Processing of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 1 (264), pp. 14–22. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-02 (In Russian).

Введение. В настоящее время утилизация отходов химического производства, в том числе с использованием природного органического сырья, является одним из наиболее актуальных вопросов, требующих научных изысканий в данном направлении. Всесторонний анализ возможных путей использования отходов должен позволить разработать способы их рационального применения, например, в животноводстве, ветеринарии, сельском и лесном хозяйстве, что повысит рентабельность производства и окажет положительный экономический эффект в смежных отраслях. Одним из наиболее ценных природных ресурсов для получения биологически активных веществ и содержащих их регуляторов роста, например, Гидрогумата, является торф [1–7]. В основе методов по получению гуматодержащих препаратов из торфа, разработанных в Институте природопользования НАН Беларусь, лежит химическая окислительно-гидролитическая деструкция торфа с использованием щелочей и кислот, после которой смесь разделяют путем центрифугирования на жидкий целевой продукт и остаток, представляющий собой вязкую массу темно-коричневого цвета, частично растворимую в воде [1–5]. Отходы от производства регулятора роста «Гидрогумат», как правило, характеризуются резким запахом и сильно щелочной средой водной вытяжки, однако содержание в них органических и минеральных веществ достигает 22%, что указывает на возможность их применения для стимулирования роста растений и животных [1–3]. Так, например, на базе лаборатории экотехнологий Института природопользования НАН Беларусь совместно с учеными из Института рыбного хозяйства НАН Беларусь исследовался вопрос

возможного применения отходов от производства гуматодержащих препаратов для стимулирования развития естественной кормовой базы рыб в прудах. В ходе данных исследований было доказано, что внесение отходов от производства препарата «Гидрогумат» в рыбоводные пруды стимулирует рост планктонных водорослей, а также ракообразных, что приводит к увеличению массы сеголеток карпа в первые две недели жизни. Помимо этого был проведен развернутый токсикологический анализ остатков производства гуминовых препаратов при их использовании в выростных и нагульных прудах, который показал, что отходы не являются токсичными для ракообразных и рыб [1]. Однако исследования влияния остатков от производства гуминовых препаратов на организм высших растений не проводились. Таким образом, становится очевидной актуальность дальнейшей работы в данном направлении, в частности, с использованием в качестве объектов исследования основных лесообразующих пород хвойных растений.

Основная часть. В качестве объектов для исследований использовали семена первого класса качества и однолетние сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с открытой и закрытой корневыми системами. Опыты на посевном материале и сеянцах с закрытой корневой системой проводили в лабораторных условиях, а на территории постоянного питомника ГЛХУ «Логойский лесхоз» выращивали сеянцы с открытой корневой системой. Согласно составленной схеме опытов (табл. 1) семена обрабатывали посредством замачивания и инкубации пленкообразователем «Гисинар-М», регулятором роста «Гидрогумат» и отходами от его

производства, взятыми с промышленных установок ЧПУП «ЧервеньАГРО» в 2020 г. после отделения в центрифуге целевого продукта.

Гисинар-М – пленкообразующее микроудобрение хелатного типа, содержащее такие необходимые растительному организму микроэлементы, как Cu, Zn и Mg. Выпускается в виде вязкого по консистенции полиэлектролитного гидрогеля, который получают из натриевой соли акриловой кислоты и водорастворимого сополимера акриламида. Гисинар-М, как правило, применяют для инкрустации семян, а также корневых и внекорневых подкормок растений во время вегетации. Использование пленкообразователя в сочетании с другими препаратами должно способствовать их лучшему закреплению на поверхности и уменьшению минимально эффективной дозировки [7, 8].

Гидрогумат – регулятор роста, получаемый путем глубокой переработки торфа, заключающейся в двухступенчатом кислотно-щелочном гидролизе с последующим переходом моносахаридов в жидкую фазу и извлечением гуминовых кислот. В состав Гидрогумата помимо гуминовых кислот входят органические кислоты (янтарная, яблочная, малоновая), широкий спектр аминокислот, а также различные микро- и макроэлементы. Препарат широко применяется в лесном и сельском хозяйстве, так как обладает выраженным ростостимулирующим действием и безопасен для окружающей среды (IV класс опасности) [3–5].

Семена высевали в чашки Петри по 100 шт. в четырехкратной повторности, затем на седьмые и десятые сутки определяли их энергию прорастания, а на пятнадцатые – техническую всхожесть. Дополнительно рассчитывали средний семенной покой, который отражает то, насколько быстро прорастают семена [8, 9].

После проведенной серии опытов по определению влияния обработок на посевные каче-

ства семян были выявлены наиболее эффективные дозировки препаратов, которые использовали для дальнейших экспериментов над сеянцами с закрытой корневой системой. С этой целью предварительно обработанные семена высевали в кассеты Plantek 35F на глубину 1 см по 2 шт. в ячейке, заполненные специальным грунтом для выращивания хвойных пород растений, при этом в вариантах закладывали по 4 кассеты с трехкратной повторностью [8–11].

Сеянцы с открытой корневой системой обрабатывали Гидрогуматом и остатками от его производства одно- или двукратно с интервалом в 30 дней путем опрыскивания вегетирующих растений согласно схеме опытов, отраженной в табл. 1. Для проведения опыта в условиях постоянного питомника ГЛХУ «Логойский лесхоз» весной 2022 г. высевали семена по пятистрочной схеме безгрядковым ленточным способом, с промежутками 25 см и строкой шириной около 5 см [8, 12]. На опытном участке площадью 0,3 га случайным образом для каждого варианта были разбиты двухметровые делянки в четырехкратной повторности. Сеянцы в открытом грунте выращивали на протяжении 90 дней.

Для оценки влияния обработок на морфобиометрические показатели растений у сенцев с закрытой и открытой корневой системой на 90-е сутки проращивания измеряли длину надземной и подземной частей, а также толщину корневой шейки. Случайно отобранный экспериментальный посадочный материал обмеряли специальными измерительными инструментами. Диаметр корневой шейки определяли при помощи штангенциркуля, а длину надземной (по оси стволика от корневой шейки до основания верхушечной почки) и подземной (от корневой шейки до окончания корня) частей – линейкой с миллиметровыми делениями [8, 9].

Таблица 1

Схема проведения опыта по обработке семян и сеянцев сосны

| Вариант | Способ обработки | Время, часы | Расход раствора |
|---|------------------|-------------|-----------------|
| Контроль (сухие семена) | – | – | – |
| Контроль (вода) | Замачивание | 24 | 10 л/т семян |
| Гидрогумат 2 мл/л | Замачивание | 24 | 10 л/т семян |
| Гидрогумат 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | Инкрустация | 0,1 | 10 л/т семян |
| Гидрогумат (остаток) 1 мл/л | Замачивание | 24 | 10 л/т семян |
| Гидрогумат (остаток) 2 мл/л | Замачивание | 24 | 10 л/т семян |
| Гидрогумат (остаток) 4 мл/л | Замачивание | 24 | 10 л/т семян |
| Гидрогумат (остаток) 1 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | Инкрустация | 0,1 | 10 л/т семян |
| Гидрогумат (остаток) 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | Инкрустация | 0,1 | 10 л/т семян |
| Гидрогумат (остаток) 4 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | Инкрустация | 0,1 | 10 л/т семян |
| Гидрогумат 30 мл/га (1 раз) | Внекорневая | – | 3 л/га |
| Гидрогумат 30 мл/га (2 раза) | Внекорневая | – | 3 л/га |
| Гидрогумат (остаток) 30 мл/га (1 раз) | Внекорневая | – | 3 л/га |
| Гидрогумат (остаток) 30 мл/га (2 раза) | Внекорневая | – | 3 л/га |

Также для сеянцев определяли такие физиолого-биохимические параметры, как содержание пигментов фотосинтеза (хлорофиллы, каротиноиды) в хвое и проницаемость мембран клеток. Для измерений были выбраны спектрофотометрические и кондуктометрические методы.

Содержание пигментов фотосинтеза проводили на образцах хвои с навеской, равной 0,1 г, отобранный в трехкратной повторности для каждого варианта, из которой получали ацетоновую вытяжку пигментов. Для этого вакуумным способом на насосе Комовского фильтровались экстракты пигментов и в последующем измерялась оптическая плотность вытяжек при помощи универсального спектрофотометра Proscan MC 122 (определенная длина волны от 190 до 1100 нм). Точное содержание пигментов по отдельности устанавливали, основываясь на трехвольновом спектрофотометрическом методе, путем измерения оптических плотностей ацетоновых вытяжек (D) на длинах волны 440, 644, 662 нм, которые соответствуют известным максимумам поглощения каротиноидов, хлорофилла b и хлорофилла a в ацетоне. Концентрацию (C , мг/г свежей массы) хлорофиллов a и b и их сумму рассчитывали по уравнениям Винтерманса и Де Мотс (Wintermans, De Mots, 1965) для ацетона, а концентрацию каротиноидов в общей вытяжке пигментов – по уравнению Веттштейна (Wettstein, 1957) [8, 9, 13–19].

Для выявления степени проницаемости цитоплазматических мембран растительных клеток определяли интенсивность выхода водорастворимых веществ из тканей сеянцев. Образцы свежей хвои массой 0,5 г на 3 ч помещали в емкости, заполненные дистиллированной водой до отметки 25 мл. Затем инкубированную хвою удаляли, а оставшуюся воду анализировали на

наличие водорастворимых веществ (мг/л) с помощью портативного многодиапазонного кондуктометра HI-8734, при этом в расчетах учитывали фоновые показания для чистой дистиллированной воды [9, 13–17].

Статистическая значимость полученных экспериментальных данных подтверждена путем расчета стандартной ошибки среднего (уровень надежности 95%) и проверкой равенства средних значений в обозначенных выборках по t -критерию Стьюдента ($p = 0,05$) с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2013 [8, 20].

По результатам исследования влияния различных способов предпосевной обработки семян сосны гуматсодержащим препаратом «Гидрогумат», или остатками от его производства отдельно и в сочетании с пленкообразующим микроудобрением «Гисинар-М» на посевые качества и среднесуточный покой видно, что обработки в большинстве случаев вызывают статистически значимые колебания данных показателей (табл. 2). При этом инкустация в основном либо не оказала существенного влияния на посевые качества и среднесуточный покой семян сосны, либо вызвала некоторое ухудшение роста относительно контрольных показателей. Однако в части экспериментальных вариантов, например, при инкустации семян рабочей смесью «Гисинар-М» и остатками от производства Гидрогумата, почти всегда отмечалось статистически достоверное снижение среднесуточного покоя семян, одновременно в этих же вариантах обработка наблюдалось существенное снижение энергии прорастания и технической всхожести в случае увеличения дозировки отходов от производства Гидрогумата с 1 до 2 и 4 мл/л воды.

Влияние обработок на посевые качества и среднесуточный покой семян сосны

Таблица 2

| Вариант | Среднесуточный покой, дней ($M \pm m$) | Средняя энергия прорастания, % ($M \pm m$) | Средняя техническая всхожесть, % ($M \pm m$) |
|---|---|---|---|
| Контроль (вода) | 5,22 ± 0,05 | 82,50 ± 0,96 | 83,50 ± 1,19 |
| Контроль (сухие семена) | 5,37 ± 0,08 | 73,75 ± 3,47 | 75,75 ± 3,54 |
| Гидрогумат 2 мл/л | 5,14 ± 0,03* | 89,00 ± 0,91* | 90,50 ± 0,87* |
| Гидрогумат 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | 5,28 ± 0,02* | 72,75 ± 1,03 | 74,75 ± 0,75 |
| Гидрогумат (остаток) 1 мл/л | 5,17 ± 0,04* | 81,00 ± 0,71 | 83,00 ± 0,71 |
| Гидрогумат (остаток) 2 мл/л | 5,10 ± 0,03* | 87,50 ± 0,65* | 88,00 ± 0,82* |
| Гидрогумат (остаток) 4 мл/л | 5,12 ± 0,03* | 92,00 ± 0,71* | 93,50 ± 1,19* |
| Гидрогумат (остаток) 1 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | 5,27 ± 0,03* | 70,75 ± 0,48 | 73,00 ± 0,58 |
| Гидрогумат (остаток) 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | 5,20 ± 0,04* | 67,25 ± 0,48* | 69,00 ± 0,71* |
| Гидрогумат (остаток) 4 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | 5,20 ± 0,02* | 64,00 ± 1,35* | 65,25 ± 1,31* |

* Данные статистически значимы по t -критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

Заметного положительного эффекта на рост семян удалось достигнуть при отдельном замачивании посевного материала сосны в рабочих растворах регулятора роста «Гидрогумат» и отходов от его производства. При этом в случае с замачиванием семян в остатках наиболее выраженное положительное влияние на посевные качества отмечено в варианте с максимальной испытальной дозировкой в рабочем растворе (4 мл/л воды), на фоне этого наблюдался минимальный среди всех вариантов опыта среднесуточный покой семян. Примечательно то, что при замачивании семян в отходах от производства Гидрогумата удалось добиться сравнительно более существенного положительного действия, нежели после обработки целевым продуктом, однако для этого потребовалось двукратное увеличение дозировки отходов по отношению к вариантам с регулятором роста. Из полученных экспериментальных данных видно, что произведенные предпосевные и внекорневые обработки, как правило, способствуют активации ростовых процессов сеянцев сосны с закрытой и открытой корневой системой (табл. 3). В большинстве экспериментальных вариантов отмечено статистически значимое в сравнении с контролем увеличение длины надземной и подземной частей растений, однако у сеянцев с закрытой корневой системой толщина корневой шейки после внесения испытываемых веществ остается практически на уровне контрольных значений и колеблется в пределах погрешности. Также несущественно изменяется по отношению к контролю длина растений в случае однократной внекорневой обработки посадочного материала Гидрогуматом и инкрустации семян

отходами от его производства. В целом же для сеянцев с закрытой корневой системой более эффективным оказалось предпосевное замачивание, нежели инкрустация с использованием пленкообразователя, а посадочный материал с открытой корневой системой, как правило, рос лучше при двукратной внекорневой обработке растений препаратом «Гидрогумат» и отходами от его производства.

Выявлено, что обработки посевного и посадочного материала влияют не только на внешние видимые параметры растений, но и изменяют их физиологические процессы, в частности стимулируют образование пигментов фотосинтеза в хвое сеянцев и повышают целостность цитоплазматических мембран растительных клеток (табл. 4). Однако полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что наиболее выраженный положительный эффект при внесении испытываемых смесей физиологически активных веществ показан для сеянцев сосны с открытой корневой системой. Во всех опытных вариантах по выращиванию сеянцев в условиях постоянного питомника отмечается статистически значимое повышение концентрации пигментов фотосинтеза в хвое и существенное сокращение выхода водорастворимых веществ из тканей растений относительно контрольных значений. У сеянцев, выращенных в закрытом грунте, достоверные по *t*-критерию Стьюдента количественные изменения пигментов фотосинтеза относительно контрольной выборки наблюдаются только при замачивании или инкрустации с пленкообразователем «Гисинар-М» посевного материала отходами от производства Гидрогумата.

Таблица 3

Влияние обработок на морфобиометрические параметры сеянцев сосны (3 мес.)

| Варианты опыта | Длина побега, мм (M ± m) | Длина корня, мм (M ± m) | Толщина корневой шейки, мм (M ± m) |
|---|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Сеянцы с закрытой корневой системой | | | |
| Контроль (вода) | 67,30 ± 1,94 | 25,30 ± 1,81 | 0,78 ± 0,02 |
| Гидрогумат 2 мл/л | 76,70 ± 2,49* | 39,60 ± 3,05* | 0,81 ± 0,02 |
| Гидрогумат 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | 74,40 ± 2,12* | 35,40 ± 3,52* | 0,75 ± 0,02 |
| Гидрогумат (остаток) 2 мл/л | 75,10 ± 1,18* | 40,40 ± 3,13* | 0,73 ± 0,02 |
| Гидрогумат (остаток) 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | 71,60 ± 1,40 | 38,00 ± 3,54* | 0,74 ± 0,01 |
| Сеянцы с открытой корневой системой | | | |
| Контроль (вода) | 42,90 ± 1,57 | 28,90 ± 2,79 | 0,73 ± 0,03 |
| Гидрогумат 30 мл/га (1 раз) | 46,30 ± 1,57 | 33,70 ± 2,00 | 0,85 ± 0,02* |
| Гидрогумат 30 мл/га (2 раза) | 62,10 ± 2,09* | 35,60 ± 2,70* | 1,04 ± 0,03* |
| Гидрогумат (остаток) 30 мл/га (1 раз) | 50,80 ± 2,04* | 45,60 ± 4,56* | 0,82 ± 0,04* |
| Гидрогумат (остаток) 30 мл/га (2 раза) | 64,40 ± 1,55* | 39,90 ± 2,38* | 1,01 ± 0,02* |

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента (*p* = 0,05).

Таблица 4
Влияние обработок на физиолого-биохимические показатели сеянцев сосны (3 мес.)

| Варианты опыта | Хлорофилл <i>a</i> , мг/г ($M \pm m$) | Хлорофилл <i>b</i> , мг/г ($M \pm m$) | Каротиноиды, мг/г ($M \pm m$) | Выход водорастворимых веществ, мг/л ($M \pm m$) |
|---|--|--|------------------------------------|--|
| Сеянцы с закрытой корневой системой | | | | |
| Контроль (вода) | 1,230 ± 0,042 | 0,419 ± 0,015 | 0,755 ± 0,027 | 29,20 ± 0,35 |
| Гидрогумат 2 мл/л | 1,198 ± 0,023 | 0,403 ± 0,009 | 0,756 ± 0,015 | 25,06 ± 0,12* |
| Гидрогумат 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | 1,206 ± 0,016 | 0,388 ± 0,006 | 0,763 ± 0,010 | 27,13 ± 0,12* |
| Гидрогумат (остаток) 2 мл/л | 1,246 ± 0,020* | 0,398 ± 0,006 | 0,794 ± 0,013 | 21,46 ± 0,08* |
| Гидрогумат (остаток) 2 мл/л + Гисинар-М 50 мл/л | 1,276 ± 0,015* | 0,405 ± 0,005 | 0,813 ± 0,011* | 20,26 ± 0,08* |
| Сеянцы с открытой корневой системой | | | | |
| Контроль (вода) | 0,845 ± 0,010 | 0,269 ± 0,020 | 0,641 ± 0,010 | 2,95 ± 0,05 |
| Гидрогумат 30 мл/га (1 раз) | 1,089 ± 0,010* | 0,336 ± 0,010* | 0,685 ± 0,010* | 1,08 ± 0,04* |
| Гидрогумат 30 мл/га (2 раза) | 1,164 ± 0,009* | 0,379 ± 0,010* | 0,713 ± 0,011* | 1,00 ± 0,06* |
| Гидрогумат (остаток) 30 мл/га (1 раз) | 1,022 ± 0,010* | 0,306 ± 0,009* | 0,754 ± 0,010* | 1,03 ± 0,10* |
| Гидрогумат (остаток) 30 мл/га (2 раза) | 0,916 ± 0,009* | 0,273 ± 0,010* | 0,567 ± 0,009* | 2,35 ± 0,05* |

* Данные статистически значимы по *t*-критерию Стьюдента ($p = 0,05$).

В свою очередь, статистически значимое сокращение выхода водорастворимых веществ из тканей посадочного материала сосны с закрытой корневой системой наблюдается как при предпосевной обработке семян Гидрогуматом, так и отходами от его производства. Стоит отметить, что замачивание семян в рабочих растворах отходов от производства Гидрогумата приводило к повышению содержания в хвое сеянцев с закрытой корневой системой только хлорофилла *a*, инкрустация же отходами в сочетании с Гисинаром-М привела к увеличению концентрации в вытяжке каротиноидов. Данную закономерность можно объяснить либо пропорциональным увеличением пигментов, либо наличием стресса, в том числе при внесении препаратов, что могло повлиять на каротиноиды [13].

Заключение. Таким образом, проведенные исследования влияния обработок побочными продуктами химической деструкции торфа от производства препарата «Гидрогумат» на качество посевного и посадочного материала сосны обыкновенной доказывают эффективность их

применения как отдельно, так и в сочетании с пленкообразователями. Отмечена значительная активация ростовых процессов и болезнеустойчивости растений, которая видна по морфобиометрическим параметрам и на физиолого-биохимическом уровне. У сеянцев с закрытой корневой системой под влиянием обработок наблюдается существенное удлинение надземной и подземной частей, а у сеянцев в открытом грунте также происходит заметное утолщение корневой шейки. На фоне этого в хвое растений после внесения испытуемых веществ зафиксировано статистически значимое относительно контроля увеличение количества пигментов фотосинтеза, сопровождающееся сокращением выхода водорастворимых веществ из тканей сеянцев. Все это указывает на более успешное протекание первичного метаболизма и реализацию потенциала болезнеустойчивости растений. Работа осуществлялась в период с 2021 по 2022 г. при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Б21М-007А от 01.07.2021).

Список литературы

1. Перспективы использования твердых отходов гуминового производства для стимулирования развития естественной кормовой базы рыб / Г. В. Наумова [и др.] // Природопользование. 2020. № 1. С. 144–154.
2. Макеенко А. А. Состав и свойства побочных продуктов окислительной деструкции торфа и возможные направления их использования // Химия твердого топлива. 2020. № 2. С. 63–68.
3. Исследование состава органической и минеральной частей твердых отходов от производства гуминовых препаратов / И. И. Лиштван и др. // Природопользование. 2021. № 1. С. 187–197.
4. Лиштван И. И., Лис Л. С. Этапы становления и развития науки о торфе и сапропелях // Природопользование. 2018. № 2. С. 6–21.

5. Томсон А. Э., Наумова Г. В. Торф и продукты его переработки. Минск: Беларус. наука, 2009. 328 с.
6. Торф: ресурсы, технологии, геоэкология / В. И. Косов [и др.]. СПб.: Наука, 2007. 452 с.
7. Гудак С. П., Синичкина А. М., Хомич П. З. Полезные ископаемые Беларуси. Минск: Адукатцыя, выхаванне, 2002. 527 с.
8. Mashkin I. A., Korytsko L. A., Shukanov V. P. Влияние защитно-стимулирующих препаратов на болезнеустойчивость и качественные характеристики сеянцев ели (*Picea abies*) с закрытой корневой системой // Труды БГТУ. Сер 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 2 (234). С. 109–119.
9. Волынец А. П., Шуканов В. П. Физиология патогенеза и болезнеустойчивости растений. Минск: Беларус. наука, 2016. 252 с.
10. Якимов Н. И., Крук Н. К., Юрения А. В. Агротехника выращивания сеянцев сосны обыкновенной в условиях закрытого грунта // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2018. № 1 (204). С. 25–30.
11. Степанов С. А., Зайцева М. И. Выращивание и использование посадочного материала с закрытой корневой системой. Петрозаводск: ПетрГУ, 2015. 27 с.
12. Якимов Н. И., Носников В. В. Лесные питомники. Минск: БГТУ, 2011. 54 с.
13. Эндогенные фиторегуляторы роста: свойства, физиологическое действие и практическое использование / А. П. Волынец [и др.]. Минск: Беларус. наука, 2019. 233 с.
14. Ламан Н. А., Алексейчук Г. Н., Калацкая Ж. Н. Современная технология предпосевной обработки семян // Наука и инновации. 2006. № 9 (43). С. 37–41.
15. Иванов В. Б. Практикум по физиологии растений. М.: Академия, 2001. 136 с.
16. Храмченкова О. М. Практикум по физиологии растений: практическое руководство. В 2 ч. Ч. 1. Гомель: ГГУ, 2017. 44 с.
17. Коробко В. В., Касаткин М. Ю. Большой практикум по физиологии растений. Саратов: СГУ, 2017. 103 с.
18. Титова М. С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea abies* и *Picea koraiensis* // Вестник ОГУ. 2010. № 12. С. 9–12.
19. Шалыго Н. В. Биосинтез хлорофилла и фотодинамические процессы в растениях. Минск: Право и экономика, 2004. 156 с.
20. Сиделев С. И. Математические методы в биологии и экологии: введение в элементарную биометрию. Ярославль: ЯрГУ, 2012. 140 с.

References

1. Naumova G. V., Pantelei S. N., Ovchinnikova T. F., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Makeenko A. A., Sennikova V. D. Prospects for the use the solid waste of humic production for the stimulation of the development of natural fish food supply. *Prirodopol'zovaniye* [Nature Management], 2020, no. 1, pp. 144–154 (In Russian).
2. Makeenko A. A. Composition and properties of by-products of oxidative destruction of peat and possible directions of their use. *Khimiya tverdogo topliva* [Chemistry of solid fuels], 2020, no. 2, pp. 63–68 (In Russian).
3. Lishtvan I. I., Naumova G. V., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F., Makeenko A. A. Investigation of the composition of the organic and mineral parts of solid waste from the production of humic preparations. *Prirodopol'zovaniye* [Nature Management], 2021, no. 1, pp. 187–198 (In Russian).
4. Lishtvan I. I., Lis L. S. Stages of the formation and development of peat and sapropel science. *Prirodopol'zovaniye* [Nature Management], 2018, no. 2, pp. 6–21 (In Russian).
5. Thomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty yego pererabotki* [Peat and products of its processing]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009. 328 p. (In Russian).
6. Kosov V. I., Belyakov A. S., Belozerov O. V., Gogin D. Yu. *Torf: resursy, tekhnologii, geoekologiya* [Peat: Resources, Technologies, Geoecology]. St. Petersburg, Nauka Publ., 2007. 452 p. (In Russian).
7. Gudak S. P., Sinichkina A. M., Khomich P. Z. *Poleznyye iskopayemyye Belarusi* [Minerals of Belarus]. Minsk, Adukatsyya, vykhavanne, 2002. 527 p. (In Russian).
8. Mashkin I. A., Korytsko L. A., Shukanov V. P. The effect of protective-stimulating products on personal instability and qualitative characteristics of spruce (*Picea abies*) seedlings with closed root system. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2020, no. 2 (234), pp. 109–119 (In Russian).

9. Volynets A. P., Shukanov V. P. *Fiziologiya patogeneza i bolezneustoychivosti rasteniy* [Pathogenesis physiology and disease resistance of plants]. Minsk, Bielaruskaya navuka Publ., 2016. 252 p.
10. Yakimov N. I., Kruk N. K., Yurenja A. V. Agricultural cultivation of seedlings of scots pine in a greenhouse. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 1 (204), pp. 25–30 (In Russian).
11. Stepanov S. A., Zaitseva M. I. *Vyrashchivaniye i ispol'zovaniye posadochnogo materiala s zakrytoj kornevoy sistemoy* [Cultivation and use of planting material with a closed root system]. Petrozavodsk, PetrGU Publ., 2015. 27 p. (In Russian).
12. Yakimov N. I., Nosnikov V. V. *Lesnyye pitomniki* [Forest nurseries]. Minsk, BSTU Publ., 2011. 54 p. (In Russian).
13. Volynets A. P., Shukanov V. P., Polyaneskaya S. N., Manzhelesova N. E., Korytsko L. A., Litvinovskaya R. P., Safonov D. P., Mashchenko N. E., Mel'nikova E. V., Lakhvich F. A., Goncharuk V. M., Golub I. A., Shanbanovich G. N., Savel'yev N. S. *Endogenyye fitoregulyatory rosta: svoystva, fiziologicheskoye deystviye i prakticheskoye ispol'zovaniye* [Endogenous phytoregulators of growth: properties, physiological action and practical use]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2019. 233 p. (In Russian).
14. Laman N. A., Alekseychuk G. N., Kalatskaya J. N. Modern technology for pre-sowing seed treatment. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2006, no. 9 (43), pp. 37–41 (In Russian).
15. Ivanov V. B. *Praktikum po fiziologii rasteniy* [Workshop on plant physiology]. Moscow, Akademiya Publ., 2001. 136 p. (In Russian).
16. Khramchenkova O. M. *Praktikum po fiziologii rasteniy: prakticheskoye rukovodstvo* [Workshop on plant physiology: a practical guide]. Gomel, GGU Publ., 2017. 44 p. (In Russian).
17. Korobko V. V., Kasatkin M. Yu. *Bol'shoy praktikum po fiziologii rasteniy* [Large workshop on plant physiology]. Saratov, SGU Publ., 2017. 103 p. (In Russian).
18. Titova M. S. Content of photosynthetic pigments in the needles of *Picea abies* and *Picea koraiensis*. *Vestnik OGU* [Bulletin of OSU], 2010, no. 12, pp. 9–12 (In Russian).
19. Shalygo N. V. *Biosintez khlorofilla i fotodinamicheskiye protsessy v rasteniyakh* [Chlorophyll biosynthesis and photodynamic processes in plants]. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2004. 156 p. (In Russian).
20. Sidelev S. I. *Matematicheskiye metody v biologii i ekologii: vvedeniye v elementarnuyu biometriyu* [Mathematical methods in biology and ecology: an introduction to elementary biometrics]. Yaroslavl, YarGU Publ., 2012. 140 p. (In Russian).

Информация об авторах

Машкин Иван Анатольевич – научный сотрудник лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: ivan.mashkin.1993@gmail.com

Макеенко Александр Александрович – младший научный сотрудник лаборатории экотехнологий. Институт природопользования НАН Беларуси (220076, г. Минск, ул. Франциска Скорины, 10, Республика Беларусь). E-mail: makeenko1507@mail.ru

Шуканов Владимир Петрович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Мельникова Елена Владимировна – старший научный сотрудник лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Корытько Лариса Александровна – научный сотрудник лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Полянская Светлана Николаевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии патогенеза и болезнеустойчивости растений. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: patphysio@mail.ru

Information about the authors

Mashkin Ivan Anatol'yevich – Researcher, the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ivan.mashkin.1993@gmail.com

Makeenko Aleksandr Aleksandrovich – Junior Researcher, Ecotechnologies Laboratory. Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, Francysk Skorina str., 220076, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: makeenko1507@mail.ru

Shukanov Vladimir Petrovich – PhD (Biology), Head of the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Melnikowa Elena Vladimirovna – Senior Researcher, the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Korytsko Larisa Aleksandrovna – Researcher, the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Poljanskaja Svetlana Nikolaevna – PhD (Biology), Senior Researcher, the Laboratory of Pathogenesis Physiology and Disease Resistance of Plants. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: patphysio@mail.ru

Поступила 15.10.2022