

DOI: 10.17516/1998-2836-0275

УДК 630.8:602.4

Utilization of Poplar Leaves (*Populus balsamifera* L.) by Bioconversion

O. O. Mamaeva* and E. V. Isaeva

*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 11.01.2022, received in revised form 21.01.2022, accepted 25.01.2022

Abstract. The results on the possibility of utilization of post-extraction residues of green leaves of balsamic poplar (*Populus balsamifera* L.) by xylophilic basidiomycetes *Fomitopsis pinicola* (strain Fp5–15) are presented.

It was found that the most favorable for the growth and development of fungi is the residue after the extraction of alcohol-soluble substances. High growth parameters of fungi are observed on this substrate, such as the growth rate, which is 3.9 mm/day and the growth coefficient is 15.6. During the bioconversion of Fp5–15, *F. pinicola* utilizes up to 30 % of extractive substances and polysaccharides. At the same time, the utilization of easily hydrolyzable polysaccharides is 24 %, difficult-to-hydrolyze-30 %. Also, in the process of destruction, up to 12 % of lignin substances are disposed of. The decrease in the mass of the substrate after the bioconversion process is 14 %. It is noted that in the process of bioconversion, the substrate is enriched with protein (up to 24 %).

Keywords: bioconversion, leaves, post-extraction residue, balsamic poplar, chemical composition, *Fomitopsis pinicola*.

Acknowledgements. The research was conducted under the governmental task issued by the Ministry of Education and Science of Russia on the performance of the staff of the scientific laboratory for the «Technology and Equipment for the Chemical Processing of the Plant Biomass Material» project by the Plant Material Deep Conversion Laboratory (topic number FEFE-2020–0016).

Citation: Mamaeva, O.O., Isaeva, E. V. Utilization of poplar leaves (*Populus balsamifera* L.) by bioconversion. J. Sib. Fed. Univ. Chem., 2022, 15(1), 102–109. DOI: 10.17516/1998-2836-0275

Утилизация листьев тополя (*Populus balsamifera* L.) методом биоконверсии

О. О. Мамаева, Е. В. Исаева

Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, Красноярск

Аннотация. Приведены результаты о возможности утилизации послеэкстракционных остатков зеленых листьев тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) ксилотрофными базидиомицетами *Fomitopsis pinicola* (штамм Fp5–15).

Установлено, что наиболее благоприятным для роста и развития грибов является остаток после извлечения спирторастворимых веществ. На данном субстрате наблюдаются высокие ростовые параметры грибов, такие как скорость роста, которая составляет 3,9 мм/сут, и ростовой коэффициент – 15,6. В процессе биоконверсии Fp5–15 *F. pinicola* утилизирует до 30 % экстрактивных веществ и полисахаридов. При этом утилизация легкогидролизуемых полисахаридов составляет 24 %, трудногидролизуемых – 30 %. Также в процессе деструкции происходит утилизация до 12 % лигниновых веществ. Убыль массы субстрата после процесса биоконверсии составляет 14 %. Отмечено, что в процессе биоконверсии происходит обогащение субстрата белком (до 24 %).

Ключевые слова: биоконверсия, листья, послеэкстракционный остаток, тополь бальзамический, химический состав, *Fomitopsis pinicola*.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории глубокой переработки растительного сырья проекта «Технология и оборудование химической переработки растительного сырья» (Номер темы FEFE-2020–0016)

Цитирование: Мамаева, О. О. Утилизация листьев тополя (*Populus balsamifera* L.) методом биоконверсии / О. О. Мамаева, Е. В. Исаева // Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия, 2022, 15(1). С. 102–109. DOI: 10.17516/1998-2836-0275

Введение

Древесные растения служат естественно возобновляемым и неисчерпаемым сырьем для производства биологически активных веществ. Перспективны в этом направлении растения рода Тополь (*Populus* L.), препараты на их основе обладают широким спектром фармакологической активности (противомикробная и антибактериальная активность, антиоксидантные, ранозаживляющие и другие свойства). В России фармакопейными являются тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), тополь лавролистный (*Populus laurifolia* Ledeb.), тополь черный (*Populus nigra* L.), тополь душистый (*Populus suaveolens* Fisch.) и тополь канадский (*Populus deltoids* Marsh.). В качестве сырья для получения препаратов могут выступать не только почки

тополя [1], но и другие элементы растения [2, 3], например листья [3]. В листьях тополя обнаружены апигенин и фенолгликозиды [4]; известно, что в листьях осины (*Populus tremula* L.) также присутствуют производные кверцетина, фенолокислоты [4–7]. В литературе имеются данные о том, что в листьях тополей содержатся и углеводы (в листьях тополя бальзамического 15–33 % [8]), витамины, каротиноиды (виолаксантин, лютеин, неоксантин и др.), азотсодержащие соединения, большое количество органических кислот, таких как муравьиная, яблочная, щавелевая и др., дубильные вещества и пр. [9]. Известно, что из листьев осины обыкновенной были получены экстракты, которые обладают противовоспалительным и антиоксидантным действием [10, 11]. За рубежом листья и почки тополя черного занесены во Французскую и Британскую Травяные Фармакопеи [12].

В литературе имеются работы, в которых показана перспективность использования листьев тополя в качестве источника для получения эффективных и противогрибковых лекарственных средств, белкового и провитаминового концентратов [13, 14].

Таким образом, утилизация отходов после выделения экстрактивных веществ из листьев тополя имеет важное экологическое и экономическое значение. Один из методов утилизации – биоконверсия. С этой целью возможно использование не только микроскопических грибов рода *Trichoderma* [15], но макроскопических грибов, например ксилотрофных базидиомицетов *Fomitopsis pinicola*.

Вид *Fomitopsis pinicola* (Sw.: Fr.) P. Karst (Трутовик окаймленный) – это распространенный гриб-трутовик, сапрофит. *Fomitopsis pinicola* считается одним из перспективных ксилотрофных базидиомицетов для биотехнологии, включая биоконверсию растительных отходов, благодаря образованию ферментов, позволяющих утилизировать сложные соединения, входящие в состав древесины, а также высокой скорости роста *in vitro*. [16, 17].

Материалы и методы

В качестве биодеструктора использовали грибы рода *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst (штамм Fp5–15). Штамм Fp5–15 *Fomitopsis pinicola* любезно предоставила д. б. н., профессор кафедры «Химическая технология древесины и биотехнология» СибГУ им. М.Ф. Решетнева Ю.А. Литовка. Штамм Fp5–15 изолирован из плодовых тел *F. pinicola*, произраставшего на живых деревьях лиственницы сибирской в лесном массиве на территории Емельяновского района Красноярского края.

В работе использовались субстраты на основе зеленых листьев тополя, отобранных в июле 2016 г. на территории г. Красноярска:

- зеленые листья – субстрат 1;
- твердый остаток листьев после спиртовой экстракции – субстрат 2;
- твердый остаток листьев после спиртовой и водной экстракции – субстрат 3;
- твердый остаток листьев после водной экстракции – субстрат 4.

Химический состав растительных субстратов до и после микробиологической переработки исследован по методикам, принятым в химии растительного сырья [18]. Спирторастворимые и водорастворимые вещества выделяли с помощью 3-часовой экстракции этиловым спиртом и горячей водой соответственно. Гидролиз легкогидролизуемых полисахаридов проводили с использованием 2 %-ной соляной кислоты, трудногидролизуемых полисахаридов – 80 %-ной

серной кислотой. Количество моносахаридов определяли эбулиостатическим методом [18]. Лигниновые вещества устанавливали по остатку после гидролиза полисахаридов [18]. Перевариваемость определяли по методу А. Р. Жукова [19]. Содержание белка вычисляли с помощью реактива амидо-черного 10В [19]. Подготовку субстратов для твердофазного культивирования проводили следующим образом: измельченный растительный субстрат доводили до 70 %-ной влажности водопроводной водой, помещали в чашки Петри и стерилизовали 30 мин под давлением $1,01 \cdot 10^5$ Па несколько раз в автоклаве ВК-75. Твердофазное культивирование *F. pinicola*, *P. pulmonarius* осуществляли при (25 ± 1) °С до полного обрастания субстрата либо остановки роста штамма. С целью стандартизации посевов в качестве инокулюма использовали блоки (диаметр 8 мм), вырезанные микробиологическим пробойником из зоны роста семисуточной культуры. По мере роста оценивали ростовые параметры культуры (скорость роста и ростовой коэффициент) [16]. Убыль массы субстрата после биоконверсии определяли весовым методом по отношению к исходному субстрату до биодеструкции. Эксперименты проводили в трех повторностях.

Для математической и статистической обработки данных была использована программа Excel. Полученные результаты не выходят за пределы доверительной вероятности $P = 0,95$ [19].

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы была проведена биоконверсия субстратов на основе листьев тополя методом твердофазного культивирования. Твердофазный способ культивирования – это биотехнологический процесс, который протекает в массе измельченного и влажного твердого субстрата, имеющего различную форму и размеры частиц [20]. На всех субстратах гриб формировал белый ватный мицелий с разной плотностью, ровными краями и без четко выраженной зональности. В процессе культивирования Fr5–15 *Fomitopsis pinicola* оценивали диаметр, плотность колонии и высоту мицелия [16]. Продолжительность культивирования составляла 11 сут. Результаты определения ростовых параметров представлены в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что наиболее высокие ростовые параметры наблюдались при культивировании Fr5–15 *F. pinicola* на субстратах 1 и 2, причем скорость роста на 24–34 % выше, чем, например, на древесине осины при равной продолжительности процесса [16]. Удаление спирторастворимых веществ их листьев (субстрат 2) способствует лучше-

Таблица 1. Ростовые параметры гриба на растительных субстратах

Table 1. Growth parameters of the fungus on plant substrates

Субстрат	Скорость роста, мм/сут					Ростовой коэффициент				
	Продолжительность культивирования, сут									
	4	6	8	11	X_{cp}	4	6	8	11	X_{cp}
1	2,1	3,7	4,5	3,9	3,6	8,3	14,8	18,1	15,5	14,2
2	2,9	3,9	4,9	3,8	3,9	11,3	16,6	18,9	15,4	15,6
3	1,3	4,3	4,3	3,8	3,4	2,5	8,5	8,5	7,6	6,8
4	2,3	3,4	3,9	3,9	3,4	4,6	6,8	7,9	7,7	6,8

му росту гриба, поскольку в составе субстрата увеличивается доля веществ лигноуглеводного комплекса (с 37 до 55 %).

Об эффективности воздействия ферментативного комплекса используемого штамма гриба на субстрат судили по убыли массы в процессе биодеструкции. Установлено, что наибольшая убыль массы составляет 15 % (субстрат 1) и 14 % (субстрат 2).

На втором этапе работы исследовали биотрансформацию компонентов субстратов в процессе культивирования гриба Fp5–15 *Fomitopsis pinicola*. Авторами были выбраны наиболее благоприятные для роста гриба субстраты (табл. 2).

Установлено достоверное снижение суммы полисахаридов на 22 (субстрат 1) и 28 % (субстрат 2). На субстрате 1 легко- и трудногидролизуемые полисахариды штамм утилизировал в равной степени (до 22 %), субстрате 2–24 и 30 % соответственно. На субстрате 2 гриб Fp5–15 *F. pinicola* проявлял лигнин-разрушающую способность, утилизируя при этом до 12 % лигниновых веществ, что подтверждает данные, полученные другими авторами при культивировании гриба, в частности, на древесине лиственницы [16, 21]. В процессе биодеструкции наблюдалось снижение количества экстрактивных веществ (до 43 % – субстрат 1, до 30 % – субстрат 2). В большей степени гриб утилизировал водорастворимые вещества (56 % – субстрат 1, 34 % – субстрат 2).

При твердофазной ферментации листьев в составе субстратов увеличилось примерно в два раза содержание белка. Полученные данные на 5–11 % выше, чем при культивировании Fp5–15 *F. pinicola* на послеэкстракционном остатке древесной зелени пихты, а также смешанных субстратах с добавлением опада и почек тополя бальзамического [22].

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что гриб Fp5–15 *F. pinicola* способен утилизировать субстраты на основе листьев тополя, в том числе послеэкстракционные остатки. Наиболее благоприятным субстратом для биоконверсии с экономической и эко-

Таблица 2. Компонентный состав субстратов до и после культивирования

Table 2. Component composition of substrates before and after cultivation

Компонент	Содержание,% а. с. с.			
	субстрат 1		субстрат 2	
	исходный	после биодеструкции	исходный	после биодеструкции
Вещества, экстрагируемые горячей водой	26,7	13,8/11,7	24,4	18,6/16,1
Вещества, экстрагируемые этиловым спиртом	29,2	23,7/20,2	9,0	8,3/7,2
Легкогидролизуемые полисахариды	11,1	10,2/8,7	8,7	7,6/6,6
Трудногидролизуемые полисахариды	12,3	11,3/9,6	21,5	17,5/15,1
Лигниновые вещества	13,7	16,5/14,0	25,2	25,6/22,1
Минеральные вещества	7,0	7,8/6,6	11,2	11,1/9,6
Белок	12,3	25,1	13,1	24,1

Примечание – в числителе данные без учета убыли массы, в знаменателе указаны данные с учетом убыли массы.

логической точки зрения является твердый остаток после спиртовой экстракции. Установлено, что компоненты, входящие в состав водоэкстрактивных веществ, влияют на рост и развитие грибов, удаление их из листьев приводит к снижению роста гриба.

Заключение

Результаты исследования позволяют сделать заключение о том, что как зеленые листья тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.), так и остатки после удаления из них экстрактивных веществ могут служить субстратом для культивирования ксилотрофного базидиомицета Fp5–15 *Fomitopsis pinicola*. Наиболее благоприятным для процесса биоконверсии является субстрат, состоящий из остатков листьев после спиртовой экстракции, об этом свидетельствуют высокие ростовые параметры (скорость роста 3,9 мм/сут, ростовой коэффициент 15,6). В процессе деструкции субстрата гриб утилизирует до 30 % полисахаридов, при этом затрагивая преимущественно целлюлозу (до 30 % в сравнении с исходным субстратом). Благодаря образованию у Fp5–15 *F. pinicola* лигнинразрушающих ферментов в процессе деструкции происходит утилизация до 12 % лигнинных веществ. Убыль массы субстрата на 11-е сутки культивирования составляет 14 %. В процессе биодеструкции происходит обогащение субстрата белком (до 24 %), это дает основание полагать, что данный субстрат в дальнейшем может быть использован в качестве добавки к кормам животных.

Список литературы / References

1. Исаева Е. В., Ложкина Г. А., Литовка Ю. А., Рязанова Т. В. Биологическая активность экстрактов и эфирных масел почек тополя бальзамического Красноярского края. *Химия растительного сырья* 2008. № 1. С. 67–72. [Isaeva E. V., Lozhkina G. A., Litovka Yu. A., Ryazanova T. V. Biological activity of extracts and essential oils of balsamic poplar buds of the Krasnoyarsk Territory. *Chemistry of vegetable raw materials* 2008. No. 1. P. 67–72. (In Russ.)]
2. Крылова С. Г., Турецкова В. Ф., Макарова О. Г., Ефимова Л. А., Зуева Е. П., Рыбалкина О. Ю. Сравнительное исследование противоязвенной активности экстракта коры осины сухого в различных лекарственных формах. *Тихоокеанский медицинский журнал* 2015. № 2 (60). С. 18–21. [Krylova S. G., Turk'kova V. F., Makarova O. G., Efimova L. A., Zueva E. P., Rybalkina O. Yu. Comparative study of the anti-ulcer activity of dry aspen bark extract in various dosage forms. *Pacific Medical Journal* 2015. No. 2 (60). P. 18–21. (In Russ.)]
3. Boeckler G. A., Gershenzon J., Unsicker, S. B. Phenolic glycosides of the Salicaceae and their role as anti-herbivore defenses. *Phytochemistry* 2011. V. 72 (13). P. 1497–1509.
4. Масленникова К. А., Конюхова О. М., Канарский А. В. Фенолгликозиды растений семейства Salicaceae. *Вестник Казанского технологического университета* 2014. С. 383–386. [Maslennikova K. A., Konyukhova O. M., Kanarsky A. V. Phenolglycosides of plants of the Salicaceae family. *Bulletin of the Kazan Technological University* 2014. P. 383–386. (In Russ.)]
5. Турецкова В. Ф., Лобанова И. Ю., Рассыпнова С. С., Талыкова Н. М. Осина обыкновенная как перспективный источник получения препаратов противоязвенного и противовоспалительного действия. *Бюллетень сибирской медицины* 2011. № 5. С. 106–111. [Turk'kova V. F., Lobanova I. Yu., Rassypnova S. S., Talykova N. M. Aspen as a promising source of anti-ulcer and anti-inflammatory drugs. *Bulletin of Siberian Medicine* 2011. No 5. P. 106–111. (In Russ.)]

6. Лобанова И. Ю., Турецкова В. Ф. Выделение и изучение состава флавоноидов листьев осины обыкновенной. *Химия растительного сырья* 2011. № 2. С. 117–122. [Lobanova I. Yu., Turk'kova V. F. *Chemistry of vegetable raw materials* 2011. No 2. P.117–122. (In Russ.)]

7. Лобанова И. Ю. Фенольные соединения листьев осины обыкновенной как основа создания препарата противовоспалительного действия. *Вестник Уральской медицинской академической науки* 2011. № 3/1. С. 67–68. [Lobanova I. Yu. Phenolic compounds of aspen leaves as the basis for creating an anti-inflammatory drug. *Bulletin of the Ural Medical Academic Science* 2011. No. 3/1. P. 67–68. (In Russ.)]

8. Исаева Е. В., Рязанова Т. В., Гаврилова Л. В. Групповой химический состав листьев тополя. *Sciences of Europe* 2016. № 8–1 (8). С. 116–121. [Isaeva E. V., Ryazanova T. V., Gavrilova L. V. Group chemical composition of poplar leaves. *Sciences of Europe* 2016. No. 8–1 (8). P. 116–121. (In Russ.)]

9. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; Семейства Ранацелияевые-Thymelaeaceae. Л.: Наука, 1986. 336 с. [Plant resources of the USSR: Flowering plants, their chemical composition, use; Families Ranunculaceae-Thymelaeaceae. Leningrad: Nauka, 1986. 336 p. (In Russ.)]

10. Лобанова И. Ю., Турецкова В. Ф. Разработка технологии капсул «Элоскап» с экстрактом листьев осины сухим. *Вестник ГТГФА* 2011. № 7. С. 118–121. [Lobanova I. Yu., Turk'kova V. F. Development of the technology of capsules «Eloskap» with dry aspen leaf extract. *Bulletin of the GTGFA* 2011. No. 7. P. 118–121. (In Russ.)]

11. Бакулин В. Т., Чиндяева Л. Н., Цыбуля Н. В. Антимикробная активность листьев тополя и ив (*Salicaceae*) в Сибири. *Проблемы региональной экологии* 2010. № 6. С. 60–64. [Bakulin V. T., Chindyayeva L. N., Tsybulya N. V. Antimicrobial activity of poplar and willow leaves (*Salicaceae*) in Siberia. *Problems of regional ecology* 2010. No. 6. P. 60–64. (In Russ.)]

12. Киселева Т. Л., Смирнова Ю. А. Лекарственные растения в мировой медицинской практике: государственное регулирование номенклатуры и качества. М.: Профессиональная ассоциация натуротерапевтов, 2009. 295 с. [Kiseleva T. L., Smirnova Yu. A. Medicinal plants in the world medical practice: state regulation of nomenclature and quality. Moscow: Professional Association of Natural Therapists, 2009. 295 p. (In Russ.)]

13. Поляков В. В., Адекенев С. М. Биологически активные соединения растений *Populus L.* и препараты на их основе. Алматы: Гылым, 1999. 160 с. [Polyakov V. V., Adekenov S. M. Biologically active compounds of *Populus L.* plants and preparations based on them. Almaty: Gylym, 1999. 160 p. (In Russ.)]

14. Исаева Е. В., Рязанова Т. В. Состав, свойства и переработка отходов вегетативной части тополя после извлечения экстрактивных веществ. Сообщение 1. Химический состав твердых и жидких отходов. *Химия растительного сырья* 2012. № 3. С. 59–65. [Isaeva E. V., Ryazanova T. V. Composition, properties and processing of waste from the vegetative part of poplar after extraction of extractive substances. Message 1. Chemical composition of solid and liquid waste. *Chemistry of vegetable raw material* 2012. No. 3. P. 59–65. (In Russ.)]

15. Исаева Е. В., Мамаева О. О., Рязанова Т. В. Состав, свойства и переработка отходов вегетативной части тополя после извлечения экстрактивных веществ. Сообщение 3. Получение био-препаратов на основе грибов рода *Trichoderma*. *Химия растительного сырья* 2020. № 4. С. 413–423. [Isaeva E. V., Mamaeva O. O., Ryazanova T. V. Composition, properties and waste processing of

the vegetative part of poplar after extraction of extractive substances. Message 3. Obtaining biological products based on fungi of the genus *Trichoderma*. *Chemistry of vegetable raw materials* 2020. No. 4. P. 413–423. (In Russ.)]

16. Литовка Ю. А., Павлов И. Н., Рязанова Т. В., Газизулина А. В., Чупрова Н. А. Дереворазрушающие свойства сибирских штаммов *Fomitopsis pinicola* (sw.) P. KARST. *Химия растительного сырья* 2018. № 1. С. 193–199. [Litovka Yu. A., Pavlov I. N., Ryazanova T. V., Gazizulina A. V., Chuprova N. A. Wood-destroying properties of Siberian strains of *Fomitopsis pinicola* (sw.) P. KARST. *Chemistry of vegetable raw materials* 2018. No. 1. P. 193–199. (In Russ.)]

17. Павлов И. Н., Литовка Ю. А., Литвинова Е. А., Петренко С. М. Перспективы глубокого культивирования *Fomitopsis pinicola* (sw.) P. KARST на гидродинамически активированных растительных отходах. *Химия растительного сырья* 2020. № 4. С. 385–394. [Pavlov I. N., Litovka Yu. A., Litvinova E. A., Petrenko S. M. Prospects of deep cultivation of *Fomitopsis pinicola* (sw.) P. KARST on hydrodynamically activated plant waste. *Chemistry of vegetable raw materials* 2020. No. 4. P. 385–394. (In Russ.)]

18. Ryazanova T. V., Chuprova N. A., Isaeva E. V. Chemistry of wood: monograph. Saarbrücken. Germany: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 428 p.

19. Мамаева О. О., Исаева Е. В., Лоскутов С. Р., Пляшечник М. А. Компонентный состав продукта биодеструкции опавших листьев базидиальными грибами *Pleurotus pulmonarius* (штамм PP-3.2). *Химия растительного сырья* 2021. № 1. С. 277–285. [Мамаева О. О., Исаева Е. В., Loskutov S. R., Plyashechnik M. A. Component composition of the product of biodegradation of fallen leaves by basidial fungi *Pleurotus pulmonarius* (strain PP-3.2). *Chemistry of plant raw materials* 2021. No. 1. P. 277–285. (In Russ.)]

20. Pandey J., Soccol C. R., Mitchell D. New developments in solid-state fermentation. I. *Processes Products. Process. Biochem.* 2000. Vol. 35. P. 1153–1169.

21. Шевченко Е. А., Бессолицына Е. А., Дармов И. В. Выявление генов, кодирующих лигнолитические ферменты, у природных изолятов базидиомицетов. *Прикладная биология и микробиология* 2013. Т. 49. № 3. С. 285–291. [Shevchenko E. A., Bessolitsyna E. A., Darmov I. V. Identification of genes encoding lignolytic enzymes in natural isolates of basidiomycetes. *Applied Biology and Microbiology* 2013. Vol. 49. No. 3. P. 285–291. (In Russ.)]

22. Леконцева И. В., Мамаева О. О., Исаева Е. В. Древесная зелень пихты как субстрат для биоконверсии базидиальных грибов. *Хвойные бореальной зоны* 2019. Т. 37. № 3–4. С. 265–270. [Lekontseva I. V., Mamaeva O. O., Isaeva E. V. Fir tree greens as a substrate for bioconversion of basidial fungi. *Coniferous trees of the boreal zone* 2019. Vol. 37. No. 3–4. P. 265–270. (In Russ.)].