

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-1-2622>
<https://elibrary.ru/RMZRPB>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Биохимический состав и лекарственные свойства *Inonotus obliquus* Pil.



С. С. Буренков*^{ID}, А. В. Заушинцева^{ID}

Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 03.10.2025

Принята после рецензирования: 04.11.2025

Принята к публикации: 13.01.2026

*e-mail: serg.burenkoff2017@yandex.ru

© С. С. Буренков, А. В. Заушинцева, 2026



Аннотация.

Чага березовая получила распространение при производстве на основе ее компонентного состава продуктов функционального назначения. Несмотря на высокое содержание химических и биологически активных веществ, существуют проблемы их извлечения, обусловленные сложностью состава чаги березовой. Цель работы – оценить состояние и результативность исследований трутовика скошенного (*Inonotus obliquus* Pil.) в аспекте его многофункциональных свойств и практического применения.

Объектами исследования являлись плодовые тела трутовика скошенного (чаги березовой), суспензионная культура клеток *in vitro*. Авторами был заложен лабораторный опыт по получению каллусной культуры клеток. Получена суспензионная культура. С помощью стандартных и общепринятых методов анализировали микроскопические параметры, химический состав, методы введения чаги в культуру *in vitro*, антиоксидантную и антимикробную активность.

Проведен поиск и обобщение научной информации о трутовике скошенном. В работе представлено общее описание морфологии гриба и механизмы взаимодействия с растением-хозяином (березой), химический состав плодового тела, состав биологически активных веществ, культивирование клеток *I. obliquus* в культуре *in vitro*, перспективы использования БАВ в медицине, фармакологии и пищевой биотехнологии. В составе трутовика скошенного выделены жизненно необходимые для организма человека элементы – P⁰, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺. Обнаружены биологически активные вещества (меланин, витамины С, Е, селен, β-каротин и др.). Основным биологическим компонентом плодового тела чаги является полифенолоксикарбонный комплекс, представляющий собой водное извлечение и образующий в нем коллоидную полидисперсную систему. Опытным путем подобраны условия получения суспензионной культуры чаги: культивирование в течение 30 суток в темноте при температуре 27 °С и влажности 60–70 %. Наиболее благоприятной питательной средой для выращивания чаги являлась среда № 9 (глюкоза – 40,0; пептон – 5,0; дрожжевой экстракт – 2,0; КН₂РO₄ – 1,0; MgSO₄ – 0,5; агар – 8–9; картофельный крахмал – 0,5 г/л). Максимальный индекс роста составил 15,9 г. Антиоксидантная активность водных извлечений имела близкие значения и составляла от 27 до 31 кКл/100 г. Самый высокий антимикробный эффект по отношению к штаммам микроорганизмов выявлен у суспензионной культуры в отношении *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*. Проведен практический эксперимент по изготовлению функционального продукта из пшеничной муки с использованием экстракта биологически активных веществ суспензионной культуры клеток чаги березовой.

В ходе исследования изучены свойства трутовика скошенного, получен экстракт биологически активных веществ суспензионной культуры клеток чаги березовой и разработан функциональный продукт из пшеничной муки, содержащий комплекс полезных биологически активных веществ. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения чаги березовой в пищевой промышленности.

Ключевые слова. *Inonotus obliquus* Pil., чага березовая, плодовое тело, органические кислоты, аминокислоты, биологически активные вещества, хромогенный комплекс, культура *in vitro*

Для цитирования: Буренков С. С., Заушинцева А. В. Биохимический состав и лекарственные свойства *Inonotus obliquus* Pil. Техника и технология пищевых производств. 2026. Т. 56. № 1. С. 57–71. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-1-2622>

Biochemical Composition and Medicinal Properties of *Inonotus obliquus* Pil.



Sergey S. Burenkov*^{ORCID}, Alexandra V. Zaushintsena^{ORCID}

Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 03.10.2025
Revised: 04.11.2025
Accepted: 13.01.2026

*e-mail: serg.burenkoff2017@yandex.ru
© S.S. Burenkov, A.V. Zaushintsena, 2026



Abstract.

Birch chaga is a popular functional component. This fungus is rich in chemical and biologically active substances, but the composition is so complex that their extraction remains a challenge. This article describes the functional and medicinal status of *Inonotus obliquus* Pil. in terms of its prospects for the food industry.

The research featured the conk of *I. obliquus*, its *in-vitro* cell suspension culture, and callus cell culture. A set of standard research methods made it possible to study such aspects as microscopic parameters, chemical composition, and methods of introducing chaga into *in-vitro* culture, as well as the antioxidant and antimicrobial activity of chaga extract.

I. obliquus proved to contain such beneficial elements as P⁰, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺. The list of biologically active substances included melanin, vitamins C and E, selenium, β -carotene, etc. The main biological component was a polyphenoloxycarbonate complex, an aqueous extract that formed a colloidal polydisperse system. The rational conditions for *I. obliquus* suspension culture were as follows: cultivation for 30 days in the dark at 27 °C and 60–70% humidity. The optimal nutrient medium consisted of 40.0 glucose, 5.0 peptone, 2.0 yeast extract, 1.0 KH₂PO₄, 0.5 MgSO₄, 8–9 agar, and 0.5 g/l potato starch. The highest growth index was 15.9 g. The antioxidant activity across the experimental aqueous extracts were similar, ranging from 27 to 31 kC/100 g. The highest antimicrobial effect was detected against *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, and *Pseudomonas aeruginosa*.

The experimental functional product from wheat flour and *I. obliquus* was reliably rich in beneficial bioactive substances, which rationalizes the current popularity of chaga fungus in the modern food industry.

Keywords. *Inonotus obliquus* Pil., birch chaga, conk, organic acids, amino acids, biologically active substances, chromogenic complex, culture *in vitro*

For citation: Burenkov SS, Zaushintsena AV. Biochemical Composition and Medicinal Properties of *Inonotus obliquus* Pil. Food Processing: Techniques and Technology. 2026;56(1):57–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-1-2622>

Введение

Актуальным направлением научных исследований является изучение природных объектов, широко используемых в медицине для получения биологически активных веществ и производства лекарственных препаратов, применяемых для профилактики и лечения заболеваний [1–3]. Такие средства, в отличие от синтетических аналогов, обладают комплексным действием и существенно реже вызывают посттерапевтические осложнения. Перспективным и востребованным объектом для обозначенных целей считается трутовик скошенный, или чага березовая (*Inonotus obliquus*), произрастающая на живых березах (*Betula* L., 1753) и являющаяся источником биологически активных веществ.

В связи с недостаточным количеством исследований и отсутствием свободного доступа к научной медицине принципы народной медицины базируются на преимущественном использовании биологически

активных веществ, выделенных из природных объектов, которые применяют для облегчения симптомов заболеваний.

Начиная с XVI в. плодовые тела и лекарственные препараты на основе *I. obliquus* используют для лечения и профилактики желудочно-кишечных и онкологических заболеваний как на территориях России, Китая, Кореи, так и в западных странах [4, 5]. Так как онкологические и другие заболевания относят к патологиям, связанным с действием свободных радикалов, возникла необходимость получения антиоксидантов из чаги [6]. Данное направление является перспективным ввиду того, что препараты на основе чаги обладают широким спектром биологической активности. Они проявляют высокую радиопротекторную, антиоксидантную, адаптогенную, иммуномодулирующую, антивирусную, антиоксидантную активность [7, 8], регулируют деятельность сердечной [9, 10], дыхательной, нервной систем [11], контролируют активность ферментов

крови [12]. Настои из чаги приводят к понижению артериального давления, лечат дерматит, псориаз, экзему. Ингаляции, проводимые на основе компонентов чаги, проявляют противовоспалительное действие при опухолях гортани и таким образом облегчают дыхание. Чага березовая в порошкообразной форме применяется в качестве присыпки для заживления ссадин, ран и замедления процессов их нагноения. Из литературных источников [13–15] известно, что применение биотехнологических приемов при культивировании трутовика скошенного не приводит к образованию полифенолоксикарбонового комплекса, аналогичного природному. В результате получение препаратов на основе *I. obliquus* является перспективной задачей.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые собрана коллекция чаги березовой (*I. obliquus*) разного эколого-географического происхождения, определены элементный состав, содержание биологически активных веществ в плодовом теле чаги, антимикробные и антиоксидантные свойства, разработан функциональный продукт на основе биологически активных веществ.

Цель работы – оценить состояние и результативность исследований трутовика скошенного (*I. obliquus*) в аспекте его многофункциональных свойств и практического применения.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования применяли плодовые тела трутовика скошенного (*Inonotus obliquus* Pil.), материалы каллусных и суспензионных культур клеток *in vitro*. Материалы плодовых тел собраны и идентифицированы лично авторами в лесных сообществах Кемеровской и Новосибирской областей (Россия), в частности с березы повислой (*Betula pendula* Roth.). Снятие плодовых тел трутовика скошенного осуществляли с применением пилы. Для предотвращения повреждений их укладывали в бумажные пакеты. Базидиомы чаги фотографировали и измеряли с помощью линейки. Мелкие фрагменты рассмотрены с применением увеличительной лупы. Сбор материала чаги можно осуществлять круглогодично, но для облегчения поиска лучше находить стволы берез с наростами в период с осени до весны, т. к. в это время они находятся в безлистном состоянии. Базидиомы собирают на живых произрастающих березах. На сухостойных деревьях чага подвержена разрушению (крошению). Такие материалы не являются пригодными.

Для поиска научной литературы использованы базы данных Scopus, Web of Science, eLIBRARY.RU, библиографии пристатейных списков, обзоры конференций. Основными источниками послужили научные журналы, обзоры научных статей, сборники научных конференций, монографии и другие источники за период 2001–2024 гг. Фотодокументы сделаны лично авторами.

В статье представлено общее описание морфологии гриба и механизмы взаимодействия с растением-

хозяином (березой), химический состав плодового тела, состав биологически активных веществ, культивирование клеток *I. obliquus* в культуре *in vitro*, перспективы использования БАВ в медицине, фармакологии и пищевой биотехнологии.

С целью изучения внутреннего строения чаги проведено микроскопирование ее структур согласно ФС.2.5.0103.18. Для приготовления срезов сырье чаги разделили на сегменты 1×1 мм. Затем его замачивали в смеси этилового спирта и глицерина в соотношении 1:1 в течение 3 суток. При рассмотрении поперечного и продольного срезов обнаружены переплетенные гифы, расположенные отверстия и трубчатый гименофор с базидиоспорами.

При изучении химического состава чаги березовой применяли методику выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП, ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98).

Перед проведением анализа в условиях атомно-эмиссионного спектрометра образцы подвергались пробоподготовке в условиях микроволновой станции минерализации TOPEX+ (PreeKem Ltd.) в условиях МУ 4.1.1482-03, ОФС.1.5.3.0009.15. Точную навеску 0,2 г образца помещали в полимерную емкость из тетрафторэтилена (PTFE) для минерализации, затем добавляли 4 мл 68 % HNO₃. Процедура минерализации была следующей: (1) при 150 °С и давлении 1,82 МПа с нагревом в течение 4 мин, экспозицией в течение 5 мин; (2) при 180 °С и давлении 2,2 МПа с нагревом в течение 1 мин и экспозицией в 4 мин.

Охлажденные образцы фильтровали через фильтр «желтая лента» в полиэтиленовую пробирку объемом 10 мл и разбавляли деионизированной водой в пластиковой пробирке (1:10 об./об.) перед дальнейшим анализом.

Спектры регистрировались с использованием прибора ISP-AES 9820 (Shimadzu, Япония) в условиях ОФС.1.2.1.1.0017. Регистрация пламени – аксиальная.

В работе рассмотрены методы введения чаги в культуру *in vitro*, наиболее благоприятные для получения каллусных культур, твердофазные и жидкофазные питательные среды.

Предварительно получали асептический материал для проведения экспериментов. Для этого экспланты плодового тела гриба, которые в дальнейшем вносили на питательную среду, промывали в водном растворе с мылом и для стерилизации помещали в 10–12 % раствор перекиси водорода (H₂O₂) на 1 мин. Затем производили их ополаскивание в течение 20 мин в дистиллированной стерильной воде. Фрагменты чаги разрезали скальпелем на сегменты 5×5 мм и использовали в качестве эксплантов, которые помещали на агаризованную среду в чашки Петри диаметром 5 см. Использовали 10 вариантов глюкозо-пептонной агаризованной (ГПА) среды, отличающейся по составу глюкозы. Питательные среды автоклавировали

при 15 мин подготовительного и 15 мин основного режима при добавочном давлении 0,7–0,8 атм и температуре 120 °С. Цикл субкультивирования для каллусных культур составил 30 суток.

Для экспериментов по получению каллусных культур клеток *I. obliquus* Pil. использовали среды YEB (бульон с дрожжевым экстрактом), ГПА и ООА (овсяный отвар агаризованный). Каждая из этих сред характеризуется наличием разнообразных питательных компонентов (табл. 1). Наилучшей средой для формирования каллусов оказалась среда ГПА, усовершенствованная лично авторами статьи и отличающаяся компонентным составом (глюкоза – 40,0; пептон – 5,0; дрожжевой экстракт – 2,0; KH_2PO_4 – 1,0; MgSO_4 – 0,5; агар (для приготовления твердой среды) – 8–9; картофельный крахмал – 0,5 г/л).

Все эксперименты проведены в трех-четырёхкратной повторности. Данные представлены как средние значения показателей. Статистический анализ результатов выполнен с помощью однофакторного дисперсионного анализа с использованием программного обеспечения Statistica 6.0 на ПК.

Антиоксидантную активность определяли кулонометрически. Электрогенерацию брома осуществляли на потенциостате при постоянной силе тока 5,0 мА из водных 0,2 М растворов KBr в 0,1 М H_2SO_4 с определением конца титрования амперометрической индукцией с двумя поляризованными платиновыми электродами. В кулонометрическую ячейку вносили 20,0 мл фонового раствора и аликвоту (0,03 мл) исследуемого образца.

Таблица 1. Питательные среды, используемые при культивировании *Inonotus obliquus* Pil.

Table 1. Nutrient media for cultivating *Inonotus obliquus* Pil.

Среда	Состав питательной среды	
	компоненты	массовая концентрация, г/л
YEB	пептон	5,0
	дрожжевой экстракт	1,0
	сахароза	6,6
	$\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$	3,0
	картофельный крахмал	0,5
	агар (для приготовления твердой среды)	8–9
ГПА	глюкоза	30,0
	пептон	5,0
	дрожжевой экстракт	2,0
	KH_2PO_4	1,0
	MgSO_4	0,5
	картофельный крахмал	0,5
	агар (для приготовления твердой среды)	8–9
ООА	зерна овса	30,0
	агар	20,0

Исследование антимикробной активности проводили диско-диффузионным методом в соответствии с МУК 4.2.1890-2004. Метод основан на способности антимикробного агента (экстракта) диффундировать из пропитанных им бумажных дисков в питательную среду, угнетая рост микроорганизмов, посеянных на поверхности агара. В качестве тест-штаммов использовали *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*.

Результаты и их обсуждение

Общее описание морфологии гриба и механизмы взаимодействия с растением-хозяином. *Inonotus obliquus* представляет собой стерильную форму иноотуса скошенного, принадлежащего семейству Гименохетовые (Hymenochaetaceae) [4]. Развитие трутовика скошенного (*I. obliquus*) происходит в местах трещин коры деревьев. Он поражает главным образом стволы, сучья ослабленных деревьев, преимущественно березы повислой (*Betula pendula* Roth, 1751) и березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh., 1789), но может выбирать в качестве местообитания ольху черную (*Alnus glutinosa* Gaertn., 1791), рябину обыкновенную (*Sorbus aucuparia* L., 1753), бук лесной (*Fagus sylvatica* L., 1753), вяз обыкновенный (*Ulmus laevis* Pall.), иву белую (*Salix alba* L., 1753), осину обыкновенную (*Populus tremula* L., 1753) [16]. Споры гриба рассеиваются в воздухе и проникают в места повреждения участков коры (обломанные сучья, морозобоины), начинают прорастать и образовывать мицелий. Затем гифы мицелия с течением времени разрушают древесину и образуют наросты в месте первичного заражения [17, 18]. С течением времени нарост обретает полушаровидную форму и в возрасте 10 лет может достигать массы до 5 кг и более [19].

Трутовик скошенный (*I. obliquus*) произрастает на большей части территории России, Европы, Северной Америки, Казахстана и Белоруссии. Немаловажное значение играют условия обитания чаги. Так, деревья, произрастающие в горах, значительно меньше поражаются чагой из-за того, что их древесина имеет более плотную структуру.

В зоне крепления к березе (род *Betula* L., 1753) ткани чаги имеют пестрый окрас с чередованием пятен ярко-коричневого цвета. Между пестрыми слоями наблюдаются волнообразные бело-желтые полосы меньшего размера. Срез как часть тела гриба имеет овальную форму, включающую крупные и средние структуры различной формы. Ткань среза менее плотная, чем наружная часть. Наружная уплотненная ткань имеет черный цвет, а в ее углублениях обнаруживаются тонкие пластинки наружной ткани бересты. При нажатии на плодовое тело чаги со стороны среза происходит его крошение на структуры темно-коричневого цвета. Также выделяются бело-желтые полосы, которые при прикосновении легко отделяются от тела чаги. Части нароста, располагающиеся у ствола, содержат как гифы гриба, так и клетки древесины (рис. 1).

При отделении наружных черных структур плодового тела происходит формирование более гладкой поверхности выпуклой формы, разделенной белыми, твердыми по структуре тканями бересты. Ткани бересты разделяют плодовое тело гриба на приблизительно одинаковые по форме и размеру доли, которые имеют окраску от темной до буро-коричневой. Эти доли состоят из граней, которые покрыты тонким, но прочным слоем бересты. Можно предположить, что такой слой является защитным для гриба (рис. 2).

Чем ближе доли располагаются к центру тела гриба, тем более яркий цвет они приобретают (от черного до коричневого). Цвет самой бересты также изменяется от темно-коричневого с белыми вкраплениями до серого – в центре плодового тела. Данная закономерность обусловлена тем, что наружная ткань бересты представляет собой отмершие клетки серо-черного цвета. При отделении долей от тела гриба видна структура овальной формы. Чем ближе к центру тела трутовика скошенного, тем заметнее виднеются тяжи мицелия, который имеет полосчатую форму и располагается по граням долей.

Развитие трутовика скошенного (*I. obliquus*) завершается, когда происходит отмирание дерева (рис. 3).

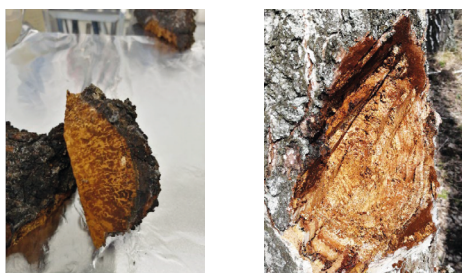


Рисунок 1. Ткани древесины в плодовом теле *Inonotus obliquus* Pil.

Figure 1. Wood tissues in *Inonotus obliquus* Pil. conk

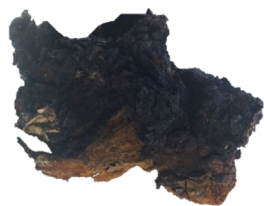


Рисунок 2. Доли плодового тела *Inonotus obliquus* Pil.

Figure 2. Conk lobes of *Inonotus obliquus* Pil.

С третьего на четвертый год жизни, происходит образование плодового тела буро-коричневого цвета, распространяющегося по стволу на 1,0–1,5 см.

Изначально развитие *I. obliquus* осуществляется под корой. На этапе завершения развития плодового тела и его спор происходит разрыв коры с помощью давления упорных пластинок. Затем по мере отслоения коры березы происходит высыпание спор (споруляция) и их перенос ветром на значительные расстояния (рис. 4). Завершение развития чаги происходит после гибели дерева. Затем плодовое тело ссыхается, отмирает и отпадает. Таким образом, цикл развития вновь повторяется [20].

I. obliquus имеет три слоя: внешний (склероций) – с плотной структурой и черной окраской; средний (плодовое тело) – твердый и плотный слой коричневой окраски; внутренний – с рыхлой, мягкой, пористой структурой желтого оттенка (рис. 5). Данные слои содержат различное количество химических веществ. По данным М. А. Сысоевой и др., во внешнем слое содержатся такие химические элементы, как Si^{+4} , Na^+ , K^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} ; в среднем – Si^{+4} , Na^+ , K^+ , Ag^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} ; внутреннем – Si^{+4} , P^0 , Na^+ , K^+ , Ag^+ , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} [14]. Состав чаги характеризуется присутствием биогенных элементов, необходимых для организма человека (табл. 2).

Наиболее часто в научной литературе описаны производные циклогексана, известные под названием



Рисунок 3. Первичный выход плодового тела *Inonotus obliquus* Pil.

Figure 3. Early development of *Inonotus obliquus* Pil. conk

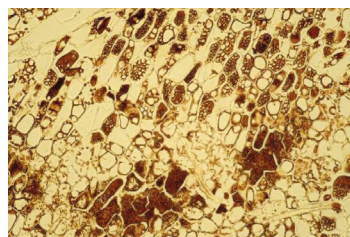


Рисунок 4. Споры плодового тела *Inonotus obliquus* Pil.

Figure 4. Spores of *Inonotus obliquus* Pil. conk

терпены [11, 13, 25]. Терпены – подкласс непредельных углеводов, имеющих химическую формулу C_5H_8 :



Терпены используются в медицине в качестве противовоспалительного, антиоксидантного, спазмолитического и противодиабетического средства [11]. Они являются компонентами бересты, листьев и тела березового гриба (чаги). Из растений терпены выделяют с помощью перегонки с паром и сухой перегонки. Данные вещества обладают высоким биологическим эффектом и служат ценным лекарственным сырьем.

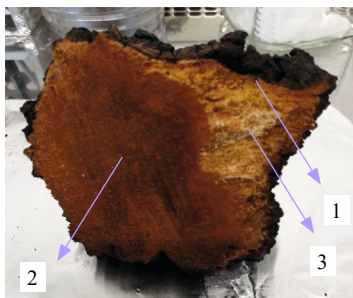


Рисунок 5. Слои плодового тела *Inonotus obliquus* Pil.

Figure 5. Layers of *Inonotus obliquus* Pil. conk

Терпены, выделенные из плодового тела гриба, приводят к снижению выработки оксида азота (NO), что положительно сказывается на подавлении противоопухолевой активности, регуляции синтеза и секреции гормонов, активности тромбоцитов. Они также способны к подавлению выработки активности фермента ксантиноксидазы печени за счет замедления образования активных форм кислорода. Также терпены, выделенные из плодового тела чаги, проявляют ингибирующее действие на фермент α -глюкозидазу, что доказывает их противодиабетические свойства [13].

В составе *I. obliquus* встречаются такие органические кислоты, как щавелевая, уксусная, муравьиная, масляная, винилиновая, агарациновая, бетулиновая, гуминоподобная чаговая [13, 21].

Щавелевая кислота оказывает положительное влияние на перистальтические функции человека за счет ее способности к усвоению кальция. Уксусная кислота, образующаяся в плодовом теле чаги, применяется в медицине для приготовления различных лекарственных препаратов, оказывающих болеутоляющее, жаропонижающее и противовоспалительное действие. В свою очередь, муравьиная кислота применяется в качестве обезболивающего средства и, благодаря противовоспалительным свойствам, для ингибирования процессов воспаления. Масляная кислота, присутствующая в плодовых телах грибов, способствует торможению

Таблица 2. Содержание биохимических веществ в субстрате *Inonotus obliquus* Pil.

Table 2. Biochemical substances in *Inonotus obliquus* Pil. substrate

Местообитание	Микроэлементы, мкг/г	Макроэлементы, мкг/г	Витамины, мг	Липиды, мг	Органические кислоты, мг	Стероидные вещества, мг
	В	К	В ₁	Диглицериды	Щавелевая	Эргостерол
Кемеровская область [22]	19,56	32,45	2,36	–	0,070	2,7
Россия [23]	27,60	41,71	1,86	20,46	0,040	3,5
Узбекистан; Китай [24]	24,55	39,60	1,27	15,67; 18,48	0,088; 0,066	1,9; 3,1
	Mn	Ca	B2	Триглицериды	Уксусная	Ланостерол
Кемеровская область [22]	15,7	2,21	3,78		0,070	76,8
Россия [23]	53,4; 0,2	3,50	2,25; 3,57	12,43	0,095; 0,051	–
Узбекистан; Китай [24]	9,8; 6,7	1,97; 3,34	–	9,78; 15,24	0,108; 0,099	–
	Zn	Mg	B ₆		Муравьиная	Инотодиол
Кемеровская область [22]	3,2	0,76	–	–	0,056	173,8
Россия [23]	2,2; 7,5	1,90; –	–	–	–	–
Узбекистан; Китай [24]	26,8; 19,70	–	2,01	–	0,078; 0,046	–
	Mo	Fe	C		Ванилиновая	
Кемеровская область [22]	–	–	–	–	–	–
Россия [23]	1,2	0,02			0,102	
Узбекистан; Китай [24]	0,6; 1,0	0,01; 0,05	4,06; 6,45		0,077; 0,057	
	Cu				Масляная	
Кемеровская область [22]	–	–	–	–	0,048	–
Россия [23]	3,28; 4,01	–	–	–	–	–
Узбекистан; Китай [24]	1,90; 2,04	–	–	–	0,076; 0,047	–
	Al					
Кемеровская область [22]	–	–	–	–	–	–
Россия [23]	7,04	–	–	–	–	–
Китай [24]	5,77	–	–	–	–	–

роста и гибели онкологических клеток. Также эта кислота предотвращает процессы воспаления желудочно-кишечного тракта. Винилиновая кислота обладает антибактериальным и противовоспалительным действием, агарициновая проявляет антиоксидантное и противовоспалительное действие [12]. Наиболее известным компонентом чаги является гуминоподобная чаговая кислота, которая оказывает непосредственное лечебное действие при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, а также способна уменьшать болевой синдром при онкологических заболеваниях. Ароматические карбоновые кислоты оказывают лечебное действие и имеют противовоспалительные свойства при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, а также используются в профилактике онкологических и некоторых других заболеваний [4].

Бетулиновая кислота, известная как фитостерол, содержится в коре березы. Чага березовая (*I. obliquus*) преобразует бетулин из бересты в ее легкоусвояемую форму – бетулиновую кислоту. Она способна стимулировать процессы апоптоза (запрограммированной гибели клеток) онкологических клеток. По своей природе чага является единственным грибом с низким уровнем рН, и за счет этого бетулиновая кислота оказывает влияние на раковые клетки с низким уровнем рН. Эта кислота способна к проявлению противоопухолевой активности без проявления побочных эффектов и токсичности. Клинические исследования бетулиновой кислоты позволили выявить ее фармакологические свойства: антибактериальные, антивирусные, антиоксидантные, противовоспалительные. Также фитостерол используют при лечении ВИЧ из-за его способности к понижению частоты и количества мутаций в генах и хромосомах. Бетулиновая кислота применяется и при лечении острых респираторных заболеваний (ОРЗ), которые впоследствии могут вызвать осложнения пневмонии. Онкологическое действие фитостерола в настоящее время исследуется как химиотерапевтическое средство.

Гуминоподобную чаговую кислоту относят к группе гуминовых кислот, состоящей из смеси органических соединений, которые представляют собой результат деструкции различных растительных остатков и их гумификации. По своей химической структуре чаговая кислота – это высокомолекулярное конденсированное ароматическое соединение. В ней присутствуют фенольные гидроксилы, карбонилы и ацетогруппы простых эфирных связей, которые можно использовать в качестве стимуляторов роста растений, антисептиков и при лечении кожных заболеваний. В состав трутовика скошенного входят 15 аминокислот, среди которых глицин, тирозин, серин, лейцин, метионин, лизин, треонин, гистидин, аспарагиновая и др. [13].

Глицин – заменимая аминокислота, присутствующая в составе белков и влияющая на метаболические процессы тканей мозга, которая проявляет антидепрессивное и седативное влияние [26]. В биологическом

плане глицин участвует в процессах биосинтеза белков, например коллагена, входящего в состав кожи, сухожилий, хрящей и костей, путем поддержания их прочности [16].

Тирозин – заменимая аминокислота, которая оказывает влияние на различные процессы в организме человека, способствуя образованию адреналина и гормонов щитовидной железы [27, 28].

Серин – заменимая аминокислота, которая участвует в метаболических процессах жирных кислот и жира, поддерживая иммунитет.

Лейцин – незаменимая аминокислота, имеющая разветвленную цепочку атомов. При ее дефиците наблюдается нарушение процессов роста, уменьшение массы тела, происходят изменения как в щитовидной железе, так и в почках [28].

Метионин – незаменимая серосодержащая аминокислота, которая играет значительную роль в обмене веществ, способствует увеличению синтеза холина, лецитина и участвует в понижении холестерина в крови.

Среди группы незаменимых аминокислот в исследованиях многих ученых выделен лизин. При его недостатке наблюдается сокращение числа эритроцитов, а затем и понижение гемоглобина, возможны дистрофические преобразования в легких, печени и мышцах и снижение содержания кальция в костях [29].

Исследование свойств аминокислот представляет интерес в связи с их положительным влиянием на организм человека. Эти соединения участвуют в таких жизненно важных процессах, как укрепление иммунной системы и стенок желудка, обеспечение организма энергией и выполнение других функций.

Витамины – сложные биологически активные, низкомолекулярные органические соединения, имеющие различное химическое строение. Витамины входят в состав ферментов, являясь их коферментами. Они необходимы для полноценного протекания физиологических процессов обмена веществ в организме. Большинство витаминов не синтезируются в организме человека, и их дефицит приводит к развитию различных патологических состояний, включая гиповитаминозы и авитаминозы [30]. Источниками витаминов могут служить пищевые продукты животного происхождения, растения, грибы, в том числе и плодовое тело чаги березовой (*I. obliquus*), в составе которой в небольшом количестве присутствуют витамины (В₁ (тиамин), В₂, В₆, С, D, E) [30, 31].

Тиамин (В₁) обычно существует в виде солей, например тиаминхлорида. Известны также тиаминмононитрат и тиаминбромид. Тиаминовые соли достаточно хорошо растворимы в воде и не растворимы в эфире и ацетоне. При нехватке тиамин в организме происходит нарушение процессов окисления углеводов и протекания пластического и энергетического обменов, накопление недоокисленных продуктов в крови и тканях. Рибофлавин необходим для протекания биохимических процессов в организме человека. Он принимает участие

в расщеплении сахаров, продуцирует в костном мозге кровяные тельца. Совместно с фолиевой кислотой и тиаминном позволяет организму лучше усваивать железо. Также рибофлавин включается в процессы работы центральной нервной системы, способствуя улучшению зрительных функций, устойчивости к различным стрессовым факторам и обменным процессам, протекающим в нервной системе. Витамин В₆ образован соединением, состоящим из пиридоксина, пиридоксамина, пиридоксаля. Пиридоксин является участником процессов обмена веществ и обнаруживается в составе энзимов, проявляющих роль катализаторов биохимических процессов. При его недостатке нарушается переработка аминокислот, регуляция жирового и углеводного обменов. Он также необходим для высвобождения запасенных в мышечных тканях и печени углеводов в кровь, что обеспечивает снабжение клеток глюкозой. Витамин С играет важную роль в функционировании иммунной системы, участвует в образовании эритроцитов и синтезе коллагена. Он не накапливается в организме, а его избыток, поступающий с пищей или витаминными добавками, выводится с мочой. В результате необходимо постоянное поступление витамина с пищей. Витамин D является единственным жирорастворимым витамином, который организм может самостоятельно синтезировать под влиянием солнечного света. Он участвует в полноценном усвоении организмом фосфора и кальция, влияющих на процессы роста костей, способен подавлять рост раковых клеток и замедлять воспалительные процессы. Также он участвует в регуляции работы нервно-мышечной, эндокринной и иммунной систем организма человека. Витамин Е относится к группе жирорастворимых веществ и представляет собой смесь токоферолов и токотриенолов. Он замедляет процессы старения организма, поддерживает работу половой системы, понижает уровень холестерина и улучшает состояние кожи. Токоферолы и токотриенолы – сильные антиоксиданты, поэтому при их ежедневном поступлении в организм замедляется развитие онкологических заболеваний [2, 30, 40, 41].

Кроме того, обнаружены такие химические элементы, как железо, магний, кремний, цинк, алюминий, сера, фосфор, кальций. Методом рентгенофлуоресцентной адсорбции в *I. obliquus* обнаружены водород (3,6 %), натрий (0,05 %), марганец (0,02 %), хлор (0,33 %), углерод (39 %) и некоторые другие элементы. Плодовые тела чаги березовой также способны накапливать радионуклиды цезия (¹³⁷Cs), стронция (⁹⁰Sr) и калия (⁴⁰K) [30].

Биологически активные вещества *Inonotus obliquus*. Биологически активные вещества, накапливающиеся с течением времени, распределены по внешнему, среднему и внутреннему слоям чаги, где достигается их наибольшая концентрация [31].

Основным биологически активным веществом *I. obliquus* является хромогенный полифенолоксикар-

боновый комплекс (ПФК), который хорошо растворим в воде и имеет восстановительную способность. Он приводит в норму деятельность ферментных систем организма [15]. Биологическую активность данного комплекса изучают с помощью определения количества углеводов (гликозиды, гликопротеины), которые представлены в виде полисахаридов [32]. Полисахариды, содержащиеся в плодовом теле, проявляют противовоспалительное, антиоксидантное, противоопухолевое действие. Противовоспалительные свойства достигаются за счет понижения экспрессии мРНК, экспрессии фактора некроза опухоли- α . Антиоксидантное действие связано с поглощением полисахаридами *I. obliquus* гидроксильных радикалов, H₂O₂ и супероксид-анионов. Кроме антиоксидантных и противовоспалительных свойств, доказано противоопухолевое действие полисахаридов, т. к. они приводят к апоптотической гибели клеток рака легких человека в результате активации киназы печени. Полисахариды оказывают защитный эффект при заболеваниях желудочно-кишечного тракта. Активность данного комплекса определяют по наличию белковых молекул, которые также проявляют биологическую активность. Например, белок лектин, являющийся гликопротеином, стимулирует деление и рост лимфоцитов, подавляет миграцию опухолевых клеток, а также связывает сахара и их остатки, что способствует слипанию эритроцитов и преципитации углеводов. В других трутовиках, например в трутовике окаймленном (*Fomitopsis pinicola* Karst., 1881), трутовике настоящем (*Fomes fomentarius* Fr., 1849), трутовике плоском (*Ganoderma applanatum* Pat., 1887), этот комплекс не обнаружен [6, 13].

Исследования фенольных пигментов чаги позволяют отнести их к такому классу пигментов, как меланины [21]. Меланины – темно-коричневые пигменты, образующиеся у живых организмов, содержащиеся в клетках плодовых тел грибов и находящиеся в плотной взаимосвязи с полисахаридами и белками (рис. 6). Они широко распространены в живой природе и отвечают за их цветное многообразие. Меланины в наибольших концентрациях встречаются в тканях растений, грибов и животных. У животных, включая человека, эти пигменты отвечают за цвет кожи и волос [7].

Меланины трутовика скошенного (*I. obliquus*) имеют высокую антиоксидантную активность и обладают противоопухолевыми, противовоспалительными, энтеросорбционными свойствами при низкой токсичности [14, 18, 33–35].

В ходе метаболизма в организме человека образуются свободные радикалы, нейтрализация которых осуществляется антиоксидантной системой, связанной с иммунитетом и регулирующей скорость старения.

Наиболее важными антиоксидантами *I. obliquus* являются витамины С, Е, селен, β -каротин. Многие аминокислоты, витамины, минералы и микроэлементы растений имеют антиоксидантные свойства, т. к. обнаруживаются в составе ферментов-антиоксидантов.

Чага содержит лигнинолитические ферменты, действующие как биокатализаторы в оксидоредуктазных процессах, например, разлагая лигнин или другие части клеточной стенки. Лигнинолитическая пероксидаза способна к разложению полимеров и некоторых компонентов в окислительном процессе, расщепляя всю структуру лигнина. Таким способом эти ферменты разлагают и полисахаридные соединения в целлюлозе. За счет этих процессов плодовое тело гриба получает необходимые для роста и развития питательные вещества, находящиеся в древесине [36].

В *I. obliquus* содержатся лектины, которые принадлежат классу сложных гликопротеинов. Они принимают активное участие в процессах связывания, транспорта и депонирования углеродсодержащих соединений, выводя их из раствора и тем самым проявляя гипогликемическое действие, что приводит к снижению уровня сахара в крови у больных диабетом. Имеются данные, что лектины способны участвовать в процессах роста и деления лимфоцитов, регуляции иммунологических реакций организма, а также подавлении миграции опухолевых клеток и блокировки их рецепторов [28].

В связи с высокой стоимостью анализов, данные показатели на момент завершения статьи не определены. Результаты будут представлены в другой статье.

Культивирование клеток *Inonotus obliquus* в культуре *in vitro*. При работе с биологическим материалом чаги были соблюдены условия стерильности основного помещения, бокса, инструментария и исследуемого биоматериала.

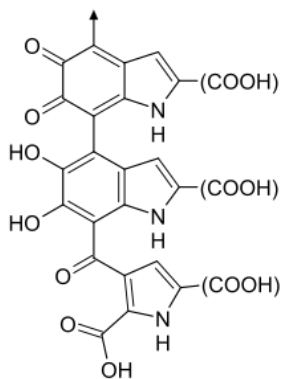


Рисунок 6. Общая структурная формула меланина

Figure 6. The structural formula of melanin

Большое влияние на процессы культивирования чаги оказывают такие параметры среды, как температура, свет, аэрация и влажность. Оптимальные параметры для формирования каллусов: температура 25–27 °С, влажность 65–70 %. Одним из ключевых условий для успешного роста каллуса является исключение доступа света с целью максимального образования и накопления биологически активных веществ. Культивирование каллусных культур клеток проводили в стерильных условиях, в темноте, при 27 °С, влажности 60–70 %.

Согласно данным таблицы 3, оптимальной питательной средой для выращивания каллусных культур *I. obliquus* является среда № 9 (глюкоза – 40,0; пептон – 5,0; дрожжевой экстракт – 2,0; K_2HPO_4 – 1,0; MgSO_4 – 0,5; агар – 8–9; картофельный крахмал – 0,5 г/л).

Для выбора рационального светового режима выращивания каллусных культур чаги регистрировали показатель индекса роста (рис. 7).

В результате максимальный прирост биомассы каллусных культур чаги березовой (*I. obliquus*) составил 15,9 г.

Суспензионную культуру *I. obliquus* получали из выделенных каллусных клеток с последующим переносом в жидкую питательную среду. Для экспериментов отобраны хорошо растущие рыхлые каллусные культуры чаги березовой, которые перенесены с агаризованных питательных сред в жидкие среды аналогичного состава (рис. 8). Суспензионные культуры клеток выращивали в колбах объемом 250 мл, помещали в шейкер-инкубатор для перемешивания содержимого при скорости 80–120 об/мин. Цикл выращивания составил 30 суток. Культивирование суспензионных культур клеток проводили в стерильных условиях, в темноте, при температуре 27 °С, влажности 60–70 %.

Используемые в работе колбы и инструменты стерилизовали в течение 60 мин при 180 °С в сухожаровом шкафу.

Анализировали макро- и микроэлементный состав плодового тела, каллусной и суспензионной культур трутовика скошенного. Данные представлены в таблице 4.

Таким образом, в результате изучения химического состава чаги методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП) установлено, что плодовое тело, каллусная и суспензионная культуры данного гриба богаты макро- и микроэлементами. При этом каллусная культура, в отличие от других,

Таблица 3. Результаты определения индекса роста каллусных культур *Inonotus obliquus* Pil.

Table 3. Growth index of *Inonotus obliquus* Pil. callus cultures

Номер среды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Минеральная основа	ГПА	ГПА	ГПА	ГПА	ГПА	ГПА	ГПА	ГПА	ГПА	ГПА
Глюкоза	8	14	16	20	24	28	32	36	40	44
Индекс роста каллусных культур	11,2	8,8	7,3	9,5	8,3	9,2	10,1	8,5	15,9	2,7

содержит наибольшее количество кальция, магния, фосфора, калия. Это объясняется тем, что для улучшения роста каллуса среда для его индукции включает агар и смесь макро- и микроэлементов. В результате каллус может накапливать определенные химические элементы в зависимости от условий культивирования. Полученные результаты согласуются с литературными данными [14, 21, 22].

Для определения антиоксидантных свойств водных вытяжек чаги березовой применяли кулонометрический метод оценки антиоксидантной активности с помощью электрогенерированного брома (табл. 5).

Антиоксидантная активность водных извлечений имеет близкие значения: от 27 до 31 кКл/100 г.

Антимикробные свойства чаги оценивали диско-диффузионным методом. В качестве тестовых микроорганизмов выбрали бактерии *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*. Результаты определения антимикробных свойств представлены в таблице 6.

Проведенные исследования подтверждают высокую антимикробную активность чаги березовой. Наибольший антимикробный эффект по отношению к штаммам микроорганизмов выявлен у суспензионной культуры.

Выявленные у культур чаги антиоксидантные и антимикробные свойства, обусловленные присутствием в составе биологически активных веществ, позволяют рассматривать их в качестве перспективного сырья для создания функциональных продуктов широкого спектра биологического действия.

Перспективы использования БАВ в медицине и пищевой биотехнологии. В настоящее время известен ряд промышленных препаратов на основе сырья из чаги. Производители биологически активных добавок, фармацевтических, косметических средств используют в качестве материала для производства своей продукции сырье чаги березовой (*I. obliquus*). В качестве примера можно привести такие продукты, как «Драже жизни» и коктейль «Тростинка». В их состав входят экстракт чаги, молочная закваска, лактобактерии, микроэлементы, аминокислоты, фруктовый пектин. Такие продукты предназначены для больных с онкологическими заболеваниями, гастритами, язвой желудка. Также их рекомендуется употреблять людям, склонным к аллергическим реакциям. Известны препараты «Бефунгин», «Чаговит» и «Чаголюкс», которые включают в себя экстракт чаги, фолиевую кислоту, витамины (В₁, В₂, В₆, С). Их также рекомендуют к употребле-

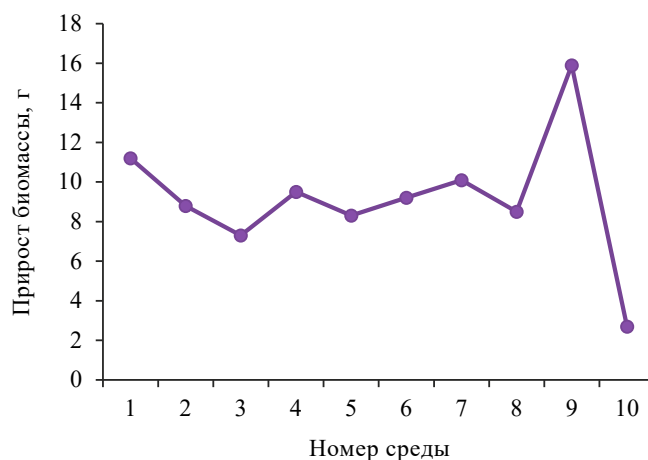


Рисунок 7. Зависимость индекса роста каллусной культуры *Inonotus obliquus* Pil. от питательной среды

Figure 7. Effect of nutrient medium on growth index of *Inonotus obliquus* Pil. callus culture

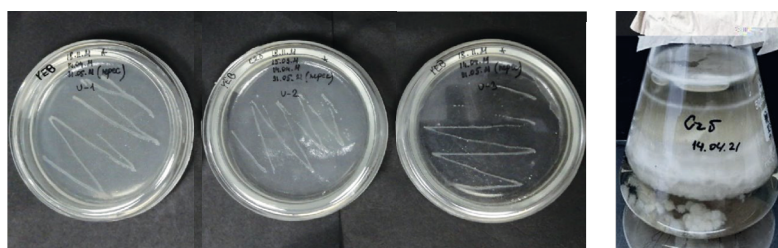


Рисунок 8. Твердофазная и суспензионная культуры *Inonotus obliquus* Pil.

Figure 8. Solid-phase and suspension cultures of *Inonotus obliquus* Pil.

нию при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, при различных опухолях из-за их способности проявлять противовоспалительное и общеукрепляющее действие. Такие препараты приводят к подавлению болевого синдрома [18, 37].

В отоларингологии настой на основе трутовика скошенного (*I. obliquus*) применяется в качестве профилактического средства при опухолях гортани. В результате происходит улучшение самочувствия больных и устраняется хрипота голоса. Лечение с помощью данного препарата способствует уменьшению воспалительного процесса и улучшению дыхания. После

снятия отечности лучше удается исследовать опухоль, легче провести биопсию и назначить дальнейшее лечение. Кроме того, чагу используют в стоматологии для профилактики и лечения пародонтоза. Прерогатива такого метода – точность дозирования используемого вещества [7, 26].

Наиболее известным препаратом является экстракт березового гриба – бифунгин. Он повышает защитные реакции организма, способствует активации обмена веществ центральной нервной системы, повышает биоэлектрическую активность мозга, а также понижает артериальное и венозное давление. Бифунгин

Таблица 4. Результаты определения макро- и микроэлементного состава плодового тела, каллусной и суспензионной культур *Inonotus obliquus* Pil.

Table 4. Macro- and microelement composition of conk, callus culture, and suspension culture of *Inonotus obliquus* Pil.

Растительное сырье	Определяемый показатель	Результат измерения, мг/кг	Методика измерений
<i>Inonotus obliquus</i> Pil., плодовое тело	Бор (В)	4,1 ± 1,2	ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98
	Кальций (Са)	395,4 ± 118,6	
	Кобальт (Со)	< 0,1	
	Медь (Cu)	2,4 ± 0,5	
	Железо (Fe)	278,1 ± 77,9	
	Магний (Mg)	632,6 ± 189,8	
	Марганец (Mn)	56,4 ± 16,9	
	Молибден (Мо)	0,4 ± 0,2	
	Натрий (Na)	58,6 ± 23,4	
	Сера (S)	143 ± 43	
	Цинк (Zn)	15,4 ± 3,1	
Фосфор (P)	157,7 ± 47,3		
Калий (К)	26612,0 ± 10644,8		
<i>Inonotus obliquus</i> Pil., каллусная культура	Бор (В)	1,0 ± 0,3	ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98
	Кальций (Са)	2275,7 ± 682,7	
	Кобальт (Со)	0,10 ± 0,04	
	Медь (Cu)	0,6 ± 0,1	
	Железо (Fe)	61,3 ± 17,2	
	Магний (Mg)	2202,7 ± 660,8	
	Марганец (Mn)	8,7 ± 2,6	
	Молибден (Мо)	0,9 ± 0,4	
	Натрий (Na)	296,7 ± 118,7	
	Сера (S)	3248 ± 974	
	Цинк (Zn)	24,8 ± 5,0	
Фосфор (P)	8590,9 ± 2577,3		
Калий (К)	9906,1 ± 3962,4		
<i>Inonotus obliquus</i> Pil., суспензионная культура	Бор (В)	4,8 ± 1,4	ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98
	Кальций (Са)	553,8 ± 166,1	
	Кобальт (Со)	0,5 ± 0,2	
	Медь (Cu)	0,3 ± 0,1	
	Железо (Fe)	< 5,0	
	Магний (Mg)	294,3 ± 88,3	
	Марганец (Mn)	2,4 ± 0,7	
	Молибден (Мо)	0,2 ± 0,1	
	Натрий (Na)	45,4 ± 18,2	
	Сера (S)	446 ± 134	
	Цинк (Zn)	< 5,0	
Фосфор (P)	367,1 ± 110,1		
Калий (К)	531,6 ± 212,6		

Таблица 5. Антиоксидантная активность водных вытяжек *Inonotus obliquus* Pil.Table 5. Antioxidant activity of *Inonotus obliquus* Pil.

Образец чаги	Антиоксидантная активность, кКл/100 г
№ 1	27,12 ± 0,20
№ 2	28,26 ± 0,30
№ 3	27,06 ± 0,20
№ 4	29,61 ± 1,70
№ 5	31,78 ± 0,20

Таблица 6. Антимикробная активность *Inonotus obliquus* Pil. разных популяцийTable 6. Antimicrobial activity of *Inonotus obliquus* Pil. across populations

Микроорганизмы	Суспензионная культура	Интактное растение (контроль)
<i>Escherichia coli</i>	+	+
<i>Proteus mirabilis</i>	+	±
<i>Proteus vulgaris</i>	+	+
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	+	+

Примечание: «-» – рост тест-культуры; «+» – отсутствие роста; «±» – угнетение роста.

Note: “-” – growth detected; “+” – no growth detected; “±” – growth inhibited.

обладает иммуномодулирующим и обезболивающим действием, повышая сопротивляемость желудочно-кишечного тракта (в частности, его слизистых оболочек) к действию пищеварительного сока и восстанавливая работу желез пищеварительной системы [16].

В пищевой промышленности трутовик скошенный (*I. obliquus*) используют при изготовлении продуктов питания: безалкогольных напитков, к которым относят чай (ЕТЕА), сиропы (Тайга внутри), прохладительные, лечебно-профилактические напитки (Чагачино). Также на его основе производят ликеро-водочную продукцию, например различные настойки, бальзамы (Бефунгин) [5]. Из пищевых продуктов, в состав которых входит чага, включают желейные мармеладки, медовые композиции с чагой и т. д. [6].

Одни и те же препараты, изготовленные на основе трутовика скошенного (*I. obliquus*), можно отнести как к фармации, так и к косметологии (например кремы, бальзамы). Производство препаратов, в основе которых содержится чага, опирается на исследования фармацевтической и пищевой промышленности.

Таким образом, продукты на основе компонентов чаги содержат ряд полезных биологически активных веществ, благодаря чему они широко применяются в современной медицине, фармацевтике, косметологии, химической и пищевой промышленности.

Для поддержания здоровья важен повседневный состав рациона, который должен включать белки живот-

ного и растительного происхождения, витамины, масла и жиры, жизненно важные микроэлементы, биологически активные вещества, обладающие антиоксидантными и антимикробными свойствами [38, 39]. Для поддержания ферментативной системы необходимо создание продуктов функционального питания на основе включения в их состав естественного фонда микронутриентов, биологически активных веществ, растворимых и нерастворимых пищевых волокон, витаминов, макро- и микроэлементов.

Для решения обозначенной проблемы разработан функциональный продукт из пшеничной муки с использованием экстракта биологически активных веществ суспензионной культуры клеток чаги березовой.

В практический эксперимент включены хлебцы хрустящие. Они соответствуют ГОСТ 9846-88. В эксперименте использовали экстракт чаги, полученный из биомассы суспензионных культур клеток *in vitro*. В нем идентифицирован широкий спектр биологически активных веществ, причем содержание таких соединений, как меланин, витамины С и Е, селен и β -каротин, выше, чем в интактном растении. Данные вещества обуславливают выраженное антимикробное и антиокислительное действие *I. obliquus*. Кроме того, меланин самостоятельно обладает рядом функциональных свойств: радиопротекторными, стимулирующими перистальтику желудочно-кишечного тракта, восстанавливающими слизистую оболочку пищеварительных и дыхательных путей после воспалительных процессов, влияющими на внутриклеточное дыхание тканей и общий обмен веществ.

Выводы

В современном обществе наблюдается тенденция к увеличению спроса на биологически активные добавки, пищевые продукты растительного происхождения, имеющие высокую биологическую и пищевую ценность. В этом отношении интересен трутовик скошенный (*Inonotus obliquus* Pil.), который с давних времен применяется в медицине для профилактики заболеваний. Химический состав *I. obliquus* достаточно, поэтому существует необходимость последовательного исследования его биологически активных веществ. Основным биологическим компонентом плодового тела чаги является полифенолоксикарбоновый комплекс, представляющий собой водное извлечение и образующий коллоидную полидисперсную систему.

Трутовик скошенный имеет три слоя – внешний, средний и внутренний. По данным М. А. Сысоевой и др., каждый из этих слоев имеет различное содержание химических элементов, включая биогенные элементы, выступающие жизненно необходимыми для организма человека (P^0 , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и др.) [14]. В его составе также выявлены такие важные для новой фармакологической, лечебной, пищевой, косметологической продукции компоненты, как меланин, витамины С, Е, селен, β -каротин.

Обоснованы оптимальные параметры получения каллусной и суспензионной культуры клеток *in vitro* чаги березовой (*I. obliquus*) и изучены ростовые характеристики культуры. Условия получения суспензионной культуры чаги: культивирование в течение 30 суток, в темноте, при температуре 27 °С и влажности 60–70 %. На основании полученных результатов выявлено, что наиболее благоприятной питательной средой для выращивания чаги является среда № 9 (глюкоза – 40,0; пептон – 5,0; дрожжевой экстракт – 2,0; КН₂РО₄ – 1,0; MgSO₄ – 0,5; агар – 8–9; картофельный крахмал – 0,5 г/л). Максимальный индекс роста составил 15,9 г.

Определены физико-химические свойства, антиоксидантная и антимикробная активность водных извлечений трутовика скошенного (*I. obliquus*). Антиоксидантная активность водных извлечений имеет близкие значения и составляет от 27 до 31 кКл/100 г. Также определена антимикробная активность. Самый высокий антимикробный эффект по отношению к штаммам микроорганизмов установлен у суспензионной культуры в отношении *Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa*.

Разработан функциональный продукт из пшеничной муки с использованием экстракта биологически активных веществ трутовика скошенного (*I. obliquus*), имеющий ряд полезных биологически активных веществ, которые обуславливают его активное применение в современной пищевой промышленности.

Критерии авторства

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The authors contributed equally to this work and bear equal responsibility for any potential plagiarism.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Babich O, Prosekov A, Zaushintsena A, Sukhikh S, Dyshlyuk L, *et al.* Identification and quantification of phenolic compounds of Western Siberia *Astragalus danicus* in different regions. *Heliyon*. 2019;5(8):e02245. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02245>
2. Sukhikh S, Babich O, Prosekov A, Patyukov N, Ivanova S. Future of chondroprotectors in the treatment of degenerative processes of connective tissue. *Pharmaceutics*. 2020;13(9):220. <https://doi.org/10.3390/ph13090220>
3. Babich O, Larina V, Krol O, Ulrikh E, Sukhikh S, *et al.* *In vitro* study of biological activity of *Tanacetum vulgare* extracts. *Pharmaceutics*. 2023;15(2):616. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15020616>
4. Усольцева О. Н., Оленников Д. Н., Потупчик Т. В., Окладникова Е. В., Игнатюк А. В. Гриб березовый (чага): характеристика химического состава, биологической активности и продуктов переработки. *Фармация*. 2023. Т. 72. № 4. С. 58–64. [Usoltseva ON, Olennikov DN, Potupchik TV, Okladnikova EV, Ignatyuk AV. Birch mushroom (chaga): Characteristics of the chemical composition, biological activity and processed products. *Farmatsiya*. 2023;72(4):58–64. (In Russ.)] <https://doi.org/10.29296/25419218-2023-04-08>
5. Kou R-W. Anti-neuroinflammatory polyoxygenated lanostanoids from Chaga mushroom *Inonotus obliquus*. *Phytochemistry*. 2021;184:112647. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112647>
6. Усольцева О. Н., Оленников Д. Н., Потупчик Т. В. Оценка качества и биологической активности экстракта березового гриба чага «БиоЧага». *Фармация*. 2022. Т. 71. № 2. С. 33–40. [Usoltseva ON, Olennikov DN, Potupchik TV. Evaluation of the quality and biological activity of the «BioChaga» birch fungus extract. *Farmatsiya*. 2022;71(2):33–40. (In Russ.)] <https://doi.org/10.29296/25419218-2022-02-06>
7. Кузнецова О. Ю., Шаехов М. Ф., Зиятдинова Г. К., Будников Г. К. Экстракты и меланины чаги, полученные после плазменной обработки сырья. *Ученые записки Казанского университета*. 2019. Т. 161. № 2. С. 211–221. [Kuznetsova OYu, Shaehov MF, Ziyatdinova GK, Budnikov GS. Chaga extracts and melanins after plasma treatment of raw material. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta*. 2019;161(2):211–221. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.2.211-221>
8. Patel S. Chaga (*Inonotus obliquus*) mushroom: Nutraceutical assessment based on latest findings. In: *Emerging Bioresources with Nutraceutical and Pharmaceutical Prospects*. 2015. pp. 115–126. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12847-4_11
9. Ильичева Т. Н., Ананько Г. Г., Косогова Т. А., Олькин С. Е., Омигов В. В. и др. Противовирусная активность меланина из чаги (*Inonotus obliquus*), полученного на основе культивирования штамма F-1244, выделенного в чистую культуру. *Химия растительного сырья*. 2020. № 2. С. 283–289. [Ilyicheva TN, Anan'ko GG, Kosogova TA, Olkin SY, Omigov VV, *et al.* Antiviral activity of the melanin from birch fungus (*Inonotus obliquus*) obtained by cultivating F-1244 strain isolating to pure culture. *Chemistry of plant raw material*. 2020;(2):283–289. (In Russ.)] <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020025167>

10. Соколов Д. В., Болхонов Б. А., Жамсаранова С. Д., Лебедева С. Н., Баженова Б. А. Ферментативный гидролиз соевого белка. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 1. С. 86–96. [Sokolov DV, Bolkhonov BA, Zhamsaranova SD, Lebedeva SN, Bazhenova BA. Enzymatic hydrolysis of soy protein. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(1):86–96. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2418>
11. Шадеркина В. А., Шадеркин И. А. Терпены и их применение в клинической практике. Экспериментальная и клиническая урология. 2019. № 1. С. 77–80. [Shaderkina VA, Shaderkin IA. Terpenes and their application in clinical practice. Experimental and clinical urology. 2019;(1):77–80. (In Russ.)] <https://doi.org/10.29188/2222-8543-2019-11-1-77-80>
12. Величко Н. А., Рыгалова Е. А., Шароглазова Л. П., Смольникова Я. В. Разработка рецептуры безалкогольного напитка на основе артезианской воды и сублимированного экстракта березового гриба (*Inonotus obliquus*). Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 140–146. [Velichko NA, Rygalova EA, Sharoglazova LP, Smolnikova YaV. Development of a non-alcoholic drink based on artesian water and a freeze-dried birch fungus (*Inonotus obliquus*) extract. Bulletin of KSAU. 2022;(4):140–146. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-4-140-146>
13. Peng H, Shahidi F. Bioactive compounds and bioactive properties of Chaga (*Inonotus obliquus*) mushroom: A review. Journal of Food Bioactives. 2020;12:9–75. <https://doi.org/10.31665/JFB.2020.12245>
14. Сысоева М. А., Уразлина Л. Н., Хабибрахманова В. Р., Григорьева Т. В., Сысоева Е. В. Выделение штамма *Inonotus obliquus* и интенсификация роста культуры при твердофазном культивировании. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. Т. 10. № 1. С. 95–106. [Sysoeva MA, Urazlina LN, Khabibrakhmanova VR, Grigoryeva TV, Sysoeva EV. Isolation of the *Inonotus obliquus* chaga mushroom strain and intensification of a culture growth during solid-phase cultivation. Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2020;10(1):95–106. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2020-10-1-95-106>
15. Sagayama K, Tanaka N, Fukumoto T, Kashiwada Y. Lanostane-type triterpenes from the sclerotium of *Inonotus obliquus* (Chaga mushrooms) as proliferative agents on human follicle dermal papilla cells. Journal of Natural Medicines. 2019;73:597–601. <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01280-0>
16. Шишкова В. Н., Нарциссов Я. Р., Титова В. Ю., Шешегова Е. В. Молекулярные механизмы, определяющие применение комбинации глицина и цинка в коррекции основных проявлений стресса и тревоги. Фармация и фармакология. 2022. Т. 10. № 5. С. 404–415. [Shishkova VN, Nartsissov YR, Titova VY, Sheshegova EV. Molecular mechanisms defining application of glycine and zinc combination in correction of stress and anxiety main manifestations. Pharmacy & Pharmacology. 2022;10(5):404–415. (In Russ.)] <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2022-10-5-404-415>
17. Brydon-William R, Munck IA, Asbjornsen H. Incidence and ecology of the chaga fungus (*Inonotus obliquus*) in hardwood new england – Acadian forests. Canadian Journal of Forest Research. 2021;51(1):122–131. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0144>
18. Burmasova MA. Melanins of *Inonotus Obliquus*: Bifidogenic and antioxidant properties. Biomolecules. 2019;9(6):248. <https://doi.org/10.3390/biom9060248>
19. Szychowski KA. *Inonotus obliquus* – from folk medicine to clinical use. Journal of Tradit Complement Med. 2020;11(4):293–302. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2020.08.003>
20. Ding X, Ge B, Wang M, Zhou H, Sang R, et al. *Inonotus obliquus* polysaccharide ameliorates impaired reproductive function caused by *Toxoplasma gondii* infection in male mice via regulating Nrf2-PI3K/AKT pathway. International Journal of Biological Macromolecules. 2020;151:449–458. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.178>
21. Зейле Л. А., Новиков И. В., Петрова Е. В., Рабцевич Е. С. Элементный состав чаги березовой трутовика косотрубчатого (*Inonotus obliquus*). Химия растительного сырья. 2022. № 1. С. 251–260. [Zeyle LA, Novikov IV, Petrova EV, Rabcevic ES. Elemental composition of chaga mushroom (*Inonotus obliquus*). Chemistry of plant raw material. 2022;(1):251–260. (In Russ.)] <https://doi.org/10.14258/jcprm.2022019738>
22. Попов А. И., Шпанько Д. Н. Макро- и микроэлементы чаги, заготовленной в Кемеровской области и Республике Тыва. Фармация на современном этапе – проблемы и достижения: сб. науч. тр. Москва; 2000. Т. XXXI. С. 251–253. [Popov AI, Shpanko DN. Macro- and microelements of chaga mushrooms harvested in the Kemerovo Region and the Republic of Tyva. Current Pharmacy: Problems and Achievements: A Collection of Sci. Papers. Moscow; 2000;XXXI:251–253. (In Russ.)]
23. Баландайкин М. Э. Химическая структура и лечебные свойства чаги. Фармация. 2013. № 5. С. 52–55. [Balandaikin ME. The chemical structure and healing properties of shelf fungus (*Polyporus sulphureus*). Pharmacy. 2013;(5):52–55. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/RADOTB>
24. Fenqin Z, Xia G, Chen L, Zhao J, Xie Z, et al. Chemical constituents from *Inonotus obliquus* and their antitumor Activities. Journal of Natural Medicines. 2016;70(4):2–11. <https://doi.org/10.1007/s11418-016-1002-4>
25. Гревцова С. А., Рехвиашвили Э. И., Айлярлова М. К., Кабулова М. Ю., Гагиева Л. Ч. Характеристика терпенов, входящих в состав некоторых представителей семейства Crassulaceae, DC. Рода *Sedum* S. L., произрастающих в условиях РСО – Алалия. Вестник НГАУ. 2024. № 2. С. 48–54. [Grevtsova SA, Rekhviashvili EI, Aylarova MK, Kabulova MY, Gagieva LCh. Characteristics of some biologically active substances of a number of terpenes for representatives of the Crassulaceae DC family the Genus *Sedum* S. L., growing in the RSO – Alania. Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2024;(2):48–54. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2024-71-2-48-54>

26. Chaturvedi D. Chapter 6 – Recent developments in the anti-inflammatory potential of sesquiterpene lactones and their semisynthetic analogs. In: Brahmachari G, editor. Discovery and Development of Anti-Inflammatory Agents from Natural Products. 2019. pp. 185–205. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816992-6.00006-1>
27. Fernandes CSM, Teixeira GDG, Iranzo O, Roque AA. Engineered protein variants for bioconjugation. In: Sarmiento B, das Neves J, editors. Biomedical Applications of Functionalized Nanomaterials. 2018. pp. 105–138. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323050878-0.00005-7>
28. Раганина К. Т., Тлеубаева М. И., Жандабаева М. А., Кусниева А. Е., Капсальямова Э. Н. и др. Влияние методов экстрагирования гриба чага (*Inonotus obliquus*) на получение экстрактов с более высоким содержанием БАВ. Технология фармацевтического производства. 2024. № 3. С. 226–232. [Raganina KT, Tleubayeva MI, Zhandabayeva MA, Kusnieva AE, Kapsalyamova EN, et al. Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extraction methods for obtaining an extract with a high content of biological active substances. Pharmaceutical Production Technology. 2024;(3):226–232. (In Russ.)] <https://doi.org/10.53511/pharmkaz.2024.58.79.027>
29. Лысыков Ю. А. Аминокислоты в питании человека. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2012. № 2. С. 88–105. [Lysikov YuA. Amino acids in human nutrition. Experimental and Clinical Gastroenterology Journal. 2012;(2):88–105. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TBJPRX>
30. Буренков С. С. Макро- и микроэлементный состав трутовика скошенного (*Inonotus obliquus* Pil.). Генофонд и селекция растений. 2024. С. 80–83. [Burenkov SS. Macro- and microelement composition of beveled tinder (*Inonotus obliquus* Pil.). Plant Gene Pool and Breeding. 2024;80–83. (In Russ.)] <https://doi.org/10.18699/GPB2024-21>
31. Wontcheu Fotso YA, Ghazi S, Belkaid A, Soucy J, Tremblay L, et al. Extraction, chemical composition, antiradical capacity, and photoprotective effect of *Inonotus obliquus* from Eastern Canada. Journal of Nutraceuticals. 2023;3(3):380–402. <https://doi.org/10.3390/nutraceuticals3030029>
32. Гюльбякова Х. Н. Лекарственная композиция на основе березового гриба чаги. Фармацевтическая химия. 2022. № 12. С. 1–6. [Gyulbyakova KN. A medical composition based on shelf fungus. Pharmaceutical Chemistry. 2022;(12):1–6. (In Russ.)] <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.6>
33. Burmasova MA, Sysoeva MA. Chemical composition and biological activity of the BuOH fraction from chaga melanin. Pharmaceutical Chemistry Journal. 2017;51(4):292–294. <https://doi.org/10.1007/s11094-017-1601-8>
34. Duru KC, Kovaleva EG, Danilova IG, van der Bijl P. The pharmacological potential and possible molecular mechanisms of action of *Inonotus obliquus* from preclinical studies. Phytotherapy Research. 2019;33(8):1966–1980. <https://doi.org/10.1002/ptr.6384>
35. Wong JH, Ng TB, Chan HHL, Liu Q, Man GCW, et al. Mushroom extracts and compounds with suppressive action on breast cancer: Evidence from studies using cultured cancer cells, tumor-bearing animals, and clinical trials. Applied Microbiology and Biotechnology. 2020;104(11):4675–4703. <https://doi.org/10.1007/s002253-020-10476-4>
36. Yang M, Belwal T, Devkota HP, Li L, Luo Z. Trends of utilizing mushroom polysaccharides (MPs) as potent nutraceutical components in food and medicine: A comprehensive review. Trends in Food Science & Technology. 2019;92:94–110. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.009>
37. Румянцева О. Н. Изменение состава пектиновых веществ при замораживании и хранении растительной продукции. Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 3. С. 495–507. [Rumiantceva ON. Pectin changes during freezing and storage of plant products. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(3):495–507. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-3-2522>
38. Stepanova E, Lugovaya EA. Macro- and microelements in some species of marine life from the Sea of Okhotsk. Foods and Raw Materials. 2021;9(2):302–309. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-302-309>
39. Wei Y-M, Yang L, Mei WL, Chen HQ, Cai CH, et al. Phenolic compounds from the sclerotia of *Inonotus obliquus*. Natural Product Research. 2020;36(9):2413–2417. <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1833202>
40. Биоактивные вещества геропротекторной направленности / А. Д. Фокина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 2. С. 423–435. [Fokina AD, Vesnina AD, Frolova AS, Chekushkina DYU, Proskuryakova LA, Aksenova LM. Bioactive AntiAging Substances: Geroprotectors. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(2):423–435. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2517>
41. Бородина Е. Е., Козлова О. В., Богер В. Ю., Проскуракова Л. А., Юстратов В. П. Листья пасленовых – источники антиоксидантов и витамина D. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 1. С. 197–213. [Borodina EE, Kozlova OV, Boger VYu, Proskuryakova LA, Yustratov VP. Solanaceae Leaves as are Sources of Antioxidants and Vitamin D. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(1):197–213. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-1-2565>

Дополнительная информация об авторах / Additional information about the authors

Буренков Сергей Сергеевич / Sergey S. Burenkov ORCID 0000-0001-7591-1413; eLIBRARY SPIN 8474-6398
Заушинцева Александра Васильевна / Alexandra V. Zaushintsena ORCID 0000-0003-4645-828X; eLIBRARY SPIN 4324-6460