

УДК 582.284.3: 543.4.5

## ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ЧАГИ БЕРЕЗОВОЙ ТРУТОВИКА КОСОТРУБЧАТОГО (*INONOTUS OBLIQUUS*)

© Л.А. Зейле<sup>1\*</sup>, И.В. Новиков<sup>1</sup>, Е.В. Петрова<sup>2</sup>, Е.С. Рабцевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный медицинский университет, Московский тракт, 2/7, Томск, 634050 (Россия), e-mail: lyubov.zeyle@mail.ru

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, 634050 (Россия)

Применение березовой чаги *Inonotus obliquus* в качестве составляющего многих лекарственных средств обусловлено разносторонним лечебным эффектом, связанным с содержанием большого количества биологически активных веществ, имеющих неорганическую, металлорганическую и органическую природу, высоким содержанием макро- и микроэлементов как в свободном состоянии, так и в виде хелатных комплексов. Для установления качественного и количественного элементного состава чаги березовой были использованы высокочувствительные физико-химические методы анализа, такие как атомно-эмиссионная спектроскопия (АЭС), масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), нейтронно-активационный анализ (НАА). Научная новизна данного исследования заключается в проведении комплексного физико-химического элементного послыйного анализа чаги, аналогов которого в доступной литературе не найдено. Проанализированные образцы слоев березовой чаги содержат следующие элементы: К, Na, Mg, Ca, Zn, Mn, Cu, Fe, Mo, Co, Cr, P, Br, Se, V, Al, Ba, Li, Ag, Au, Rb, Cs, As, Sb, B, Sr, Pb, Ni, Ti, Be, Ta, U, Th, Sc; при этом концентрация элементов наиболее высока в наружном слое гриба. Отмечено, что содержание как биогенных элементов (К, Со, Mn), так и потенциально токсичных (Ag, Br, Rb) значительно выше, чем соответствующие кларки в биосе. Различия в содержании элементов коррелируют с современными биохимическими представлениями о составе чаги, также в большинстве случаев соотносятся со значениями кларков в биосе. Значение обнаруженных элементов-токсикантов не превышает ПДК.

**Ключевые слова:** трутовик косотрубчатый (*Inonotus obliquus*), березовая чага, элементный состав, нейтронно-активационный анализ, атомно-эмиссионная спектроскопия, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой.

### Введение

Трутовик косотрубчатый, (*Inonotus obliquus*, (*Acharius ex Persoon, 1801*) *Pilát, 1942*), базидиальный гриб, паразитирует на большом количестве видов деревьев, при этом лекарственные свойства проявляют только представители, поражающие березу: на месте проникновения спор сначала формируется спорообразующее тело гриба серого цвета, богатое протеинами, однако не имеющее биологически активных веществ (БАВ), и только спустя порядка пяти лет образуется черная стерильная форма, собственно, чага, обладающая лечебными свойствами [1–3].

Биохимически и морфологически выделяют два слоя у чаги: наружную черную часть, в большом количестве содержащую бетулин и меланины, и внутреннюю – рыжевато-желтого цвета с белыми прожилками мицелия, аморфной древесной массой, богатую полисахаридами и полифенольными композитами древесного происхождения [4]. Однако можно наблюдать и промежуточный слой, очень плотный темно-коричне-

вого цвета. Очевидно, что и элементный состав слоев также может иметь существенные различия.

Большое количество БАВ чаги входит в состав меланинов, помимо них также обнаружены органические кислоты (инонотовая, обликвиновая и др.), бетулин, ланостановые тритерпеноиды (главным образом, инотодиол), гуминовые кислоты, полисахариды, фосфолипиды [5–10]. Важно

Зейле Любовь Андреевна – кандидат химических наук, доцент кафедры химии, e-mail: lyubov.zeyle@mail.ru

Новиков Иван Викторович – студент, e-mail: ivao\_asahi@mail.ru

Петрова Елена Васильевна – кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии, e-mail: elena1207@sibmail.com

Рабцевич Евгения Сергеевна – ассистент кафедры химии, e-mail: evgenia882-a@mail.ru

\* Автор, с которым следует вести переписку.

отметить, что современных исследователей привлекает наличие в чаге большого количества полисахаридов, обладающих как гипогликемическим, так и противоопухолевым действием [10–14].

Неорганические вещества представлены как в виде свободных ионов, так и в составе хелатных комплексов в аллоеланинах – обширной группе высокомолекулярных черных и коричневых пигментов, образующихся при окислительной конденсации фенолов (пирокатехина), которые этерифицированы с сиреневыми и гваяцильными структурами; состав данной фракции может существенно варьировать [15]. Экспериментально обнаружено порядка 25 центров связывания с ионами металлов ( $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ). Это обусловлено тем, что молекулы веществ, входящих в состав меланинов, имеют большое количество групп, являющихся хелатообразующими: карбонильные, карбоксильные, метоксильные и многие другие, при этом наибольшая способность к комплексообразованию характерна для гидрохиноновых, феноксильных и бензосемихиноновых радикалов [16, 17]. Важно добавить, что стойкость хелатных комплексов убывает согласно ряду ионов-комплексообразователей:  $Cu^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+}$ , на основании чего возникла идея использования данных веществ в качестве энтеросорбентов при отравлениях [16]. Кроме того, они предотвращают повреждение клеток свободными радикалами, канцерогенез и мутагенез [1, 4–6, 10].

Кроме меланинов в березовой чаге обнаружены лектины – гликопротеиды, в некоторых случаях имеющие в своем составе ионы металлов ( $Ca^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и др.), которые оказывают цитотоксическое действие на клетки злокачественных опухолей, обладают противовирусным действием, являются индукторами образования эндогенного интерферона, ингибиторами адсорбции и проникновения вирусов в клетки, а также обладают гипогликемическим эффектом [1, 18].

В связи с вышесказанным элементный состав чаги весьма разнообразен и образцы ее слоев имеют относительно высокую зольность по сравнению с березой, что подтверждается экспериментальными исследованиями: если в частях березы среднее значение зольности составляет 12% (листья), 1.7% (кора), 1% (древесина), то в чаге она составляет порядка 13%. Существенные различия имеет и зольность слоев между собой: наибольшее количество зольных элементов (17.7%) содержится в наружном, черном слое, среднее значение зольности (10.0%) наблюдается в промежуточном, самое низкое (6.8%) – во внутреннем [19].

Элементный состав золы данного гриба отличается разнообразием, при этом отмечается преобладание калия и натрия, что подтверждается экспериментальными данными. Содержание калия колеблется от 30 до 50%, что установлено при анализе как жидких концентратов, так и меланинов гриба, при этом содержание натрия всегда во много раз меньше, чем калия; также выяснено, что указанные элементы входят в состав соответствующих карбонатов и хлоридов золы [1, 19–21].

В литературе приведены результаты спектрального анализа золы, показывающие послойный элементный состав гриба; наружный черный слой содержит Na, K, Cu, Mg, Ca, Zn, Al, Mn, Fe, и следы Si, P; средний плотный слой – много Na, K, среднее количество – Cu, Mg, Al, Mn, Fe, следы – Si, P, Ag, внутренний слой: следы Si, P, Na, K, Ag и среднее количество K, Na, Cu, Mg, Al, Mn, Fe [19]. В более поздних исследованиях приводятся данные, в целом, соотносимые с вышеуказанными, но с различиями, которые зависят от места сбора образцов. Образцы, собранные в Московской области РФ, содержат K, Na, P, Mg, Ca, Si, Mn, Al, Zn, Fe, Cu, Ba, Se, Ni, Sr, B; в грибах, собранных в Кемеровской области, дополнительно обнаружены Ti, Zr, Mo; в чаге, произрастающей в Татарстане, – S, Rb [1, 20, 21].

Благодаря богатому органическому и неорганическому составу, чага широко применяется в народной и официальной медицине, обладает выраженным противовоспалительным и противоопухолевым действием; экспериментально установлено наличие радиопротекторных, гепатопротекторных, антиоксидантных, генопротективных, антидиабетических, антигиперлипидемических и антибактериальных свойств [1–4, 9–15, 17]. В настоящее время к чаге проявляют значительный интерес как к перспективному лекарственному сырью, что объясняет большое разнообразие лекарственных форм: водные и сухие экстракты, мази, кремы, стоматологические гели [16, 17, 23, 24]. Важно добавить, что разнообразный состав березовой чаги характеризуется наличием большого количества биогенных элементов, жизненно важных для человека. При этом необходимо учитывать высокое содержание зольных элементов в грибе: ошибочное назначение и неадекватная дозировка могут привести к токсическому действию на организм пациента, появлению нежелательных побочных эффектов и обострению хронических заболеваний [2].

Кроме того, мицелий трутовика косотрубчатого способен сорбировать элементы-токсиканты (As, Cd, Pb, Hg, Cu, Zn), превышение допустимого содержания которых может косвенно показывать степень загрязненности почвы в местах его расселения [16, 17, 25, 26].

На основании вышесказанного возникла необходимость полноценного изучения элементного состава березовой чаги с применением высокочувствительных физико-химических методов анализа, таких как атомно-эмиссионная спектроскопия (АЭС), масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), нейтронно-активационный анализ (НАА).

### **Материалы и методы**

Для исследования использовали чагу березовую, собранную в окрестностях пос. Тимирязевское Томской области с живых старых деревьев. Предварительно высушенные фрагменты гриба разделяли на внутренний, промежуточный и наружный слой. Фрагменты слоев измельчали до порошкообразного состояния и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм. Для проведения атомно-эмиссионного и нейтронно-активационного методов анализа измельченные образцы озоляли в муфельной печи при 450 °С до постоянной массы.

*Атомно-эмиссионный спектральный анализ.* Зольные остатки проб гомогенизировали в агатовой ступке и разбавляли графитовым порошком в соотношении 1 : 10 (для определения микроэлементов) и 1 : 100 (для определения макроэлементов), при таких степенях разбавления определяемые элементы попадают в область градуировочных графиков, для построения которых использовали государственные стандартные образцы на основе графитового порошка СОГ-37 (ГСО 8487-2013) [27, 28]. Анализ подготовленных таким образом зольных остатков проводили на атомно-эмиссионном спектральном комплексе «Гранд» со спектроаналитическим генератором «Везувий-3» и многоканальным анализатором эмиссионных спектров (МАЭС), (ВМК «Оптоэлектроника», Россия).

*Нейтронно-активационный метод.* Образцы чаги анализировали на ядерном реакторе (п. Спутник, Томск) с анализаторной системой «CANBERRA» и детектором из чистого германия. Облучение пробы и стандартных образцов в вертикальном канале проводили потоком тепловых нейтронов  $2.2 \cdot 10^{12}$  н/см<sup>2</sup> в течение 7 ч.

*Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой.* Исследования проводили в аккредитованной испытательной лаборатории «Аналитический центр геохимии и природных систем» Томского регионального центра коллективного пользования при Национальном Томском государственном университете. Измельченные пробы обрабатывали концентрированными растворами HNO<sub>3</sub> (ос.ч) и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, далее использовали закрытую систему микроволнового разложения Milestone Start D (t=200 °С, p=700 Вт, время выдерживания – 20 мин). Перед проведением анализа в образцы добавляли раствор внутреннего стандарта. Анализ проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, с использованием квадрупольного масс-спектрометра низкого разрешения Agilent 7500cx (Agilent Technologies, США), (свидетельство о поверке №25489/203 от 25.11.2020 г.). Статистическую обработку результатов проводили с использованием программного пакета STATISTICA по t-критерию Стьюдента (n=3, P=0.95).

### **Результаты и их обсуждение**

Методами атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС), масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), нейтронно-активационного анализа (НАА) обнаружено 34 элемента в послынных образцах чаги березовой, проведено их сравнение с кларками в биосе [11]. В таблице 1 представлено содержание макроэлементов в образцах березовой чаги.

Исходя из данных таблицы 1, можно составить следующие ряды накопления макроэлементов в слоях чаги (в порядке убывания):

наружный слой: K > Ca > Mg > Na > P;

средний слой: K > Ca > P > Mg > Na;

внутренний слой: K > P > Ca > Mg > Na.

Во всех слоях чаги преобладающим элементом является калий. Последовательность распределения остальных макроэлементов меняется в зависимости от слоя чаги. Так, в наружном слое содержание кальция и магния соизмеримо, а в среднем и внутреннем слоях преобладает кальций. Интересно распределение фосфора: находясь в наружном слое на 5-м месте после K, Ca, Mg и Na, в среднем он перемещается на 3-е место, а во внутреннем слое – на 2-е. При этом его содержание максимально во внутреннем слое, что можно объяснить наличием фосфорорганических соединений, например, таких как фосфолипиды. На основании определения зольности различных слоев чаги (табл. 2) можно проследить за распределением органических веществ, которые преобладают, как и фосфор, во внутреннем слое.

Содержание эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов определяли в зольных остатках образцов березовой чаги методом АЭС и в растворах после разложения этих же образцов методом ИСП-МС (табл. 3).

На основании полученных результатов (табл. 3) можно составить следующие ряды накопления эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов для чаги (в порядке убывания):

наружный слой:  $Mn > Zn > Fe > B > Cu > Co > Ni > Li > V \approx Mo \approx Cr \approx Se$ ;

средний слой:  $Mn > Fe > Zn > B > Cu \approx Co > Li > Ni > V \approx Mo \approx Cr \approx Se$ ;

внутренний слой:  $Mn \approx Fe > Zn > B > Cu \approx Co > Li > Ni > Cr \approx V \approx Se \approx Mo$ .

Преобладающим эссенциальным элементом во всех слоях является марганец. Важно отметить высокое содержание таких биогенных элементов, как железо, цинк, бор. При этом содержание эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов в березовой чаге в основном соответствует кларку в биосе, исключение составляет марганец и кобальт, содержание которых на порядок выше.

Что касается послойного распределения, то все жизненно необходимые микроэлементы найдены в наружном, среднем и внутреннем слоях. Причем такие элементы, как кобальт, селен и хром распределены равномерно, тогда как для большинства остальных наблюдается тенденция к убыванию их содержания от наружного слоя к внутреннему.

Интересно отметить высокое содержание марганца в чаге: оно многократно превышает таковое как для остальных элементов, так и соответствующий кларк в биосе. Известно, что двухзарядные ионы марганца регулируют активность ряда ферментов, а также выступают в качестве одного из факторов, препятствующих возникновению атеросклеротических бляшек [30].

Таблица 1. Содержание макроэлементов (% мас.) в образцах березовой чаги *Inonotus obliquus*, определенное методом АЭС ( $n=3, P=0.95$ )

Элемент	Содержание, % мас в послойных образцах чаги			Кларк в биосе
	Наружный слой	Средний слой	Внутренний слой	
К	5.5±0.8	3.7±0.6	3.3±0.5	0.3
Ca	0.46±0.08	0.10±0.02	0.05±0.01	0.5
Mg	0.42±0.07	0.041±0.006	0.035±0.005	7·10 <sup>-2</sup>
P	0.009±0.002	0.060±0.009	0.090±0.018	–
Na	0.040±0.006	0.013±0.002	0.010±0.002	2·10 <sup>-2</sup>

Таблица 2. Определение зольности (%) образцов березовой чаги *Inonotus obliquus*

Слой чаги	Масса сухого образца, г	Масса золы, г	Зольность, %
Рыхлый внутренний слой	1.065	0.0663	6.2
Средний плотный слой	1.066	0.0943	8.8
Наружный слой	1.0546	0.1941	18.4

Таблица 3. Содержание эссенциальных и условно-эссенциальных микроэлементов (% мас.) в образцах березовой чаги *Inonotus obliquus*, определенное методами АЭС и ИСП-МС ( $n=3, P=0.95$ )

Элемент	Содержание микроэлементов в послойных образцах чаги %, мас						Кларк в биосе
	Наружный слой		Средний слой		Внутренний слой		
	АЭС	ИСП-МС	АЭС	ИСП-МС	АЭС	ИСП-МС	
Fe·10 <sup>-3</sup>	4.0±0.6	12±2	2.2±0.4	7.5±1.1	2.4±0.3	8.6±1.6	2·10 <sup>-2</sup>
Zn·10 <sup>-3</sup>	7.6±1.2	16±3	1.0±0.2	2.0±0.2	2.5±0.4	3.0±0.5	2·10 <sup>-3</sup>
B·10 <sup>-3</sup>	1.0±0.2	0.91±0.15	0.72±0.11	0.55±0.09	0.50±0.09	0.57±0.10	1·10 <sup>-3</sup>
Mn·10 <sup>-3</sup>	32±6	39±5	13±2	10.0±1.8	5.0±0.8	6.0±0.7	n·10 <sup>-3</sup>
Cu·10 <sup>-4</sup>	3.7±0.6	4.9±0.9	2.1±0.3	1.1±0.2	1.4±0.3	1.5±0.2	2·10 <sup>-4</sup>
Co·10 <sup>-4</sup>	–	1.10±0.16	1.4±0.3	1.30±0.23	–	1.4±0.2	2·10 <sup>-5</sup>
Ni·10 <sup>-4</sup>	<1.0	0.80±0.14	<1.0	0.10±0.02	<1.0	0.21±0.03	5·10 <sup>-5</sup>
Cr·10 <sup>-5</sup>	<1.0	0.40±0.08	<1.0	0.30±0.05	<1.0	0.40±0.08	n·10 <sup>-5</sup>
Mo·10 <sup>-5</sup>	<1.0	0.6±0.1	<1.0	0.5±0.1	<1.0	0.10±0.01	n·10 <sup>-5</sup>
Li·10 <sup>-5</sup>	7.7±1.0	–	4.0±0.6	–	2.5±0.4	–	6·10 <sup>-5</sup>
V·10 <sup>-5</sup>	<1.0	0.76±0.14	<1.0	0.71±0.13	<1.0	0.21±0.04	n·10 <sup>-4</sup>
Se·10 <sup>-6</sup>	–	1.6±0.3	–	1.2±0.2	–	1.7±0.4	n·10 <sup>-6</sup>

Повышенное содержание такого важного биогенного элемента как кобальт, который в виде трехзарядного иона входит в состав антианемического фактора – кобаламина (витамина В<sub>12</sub>) и его коферментных форм, обуславливает применение чаги не только для лечения системы кроветворения, но и также в качестве противоопухолевого препарата, поскольку считается, что двухзарядные ионы кобальта способны угнетать дыхание клеток злокачественных образований, тем самым блокируя их деление [30].

Поскольку березовая чага используется для приготовления разнообразных лекарственных форм, интерес представляет содержание в ней токсичных и потенциально токсичных элементов. В (табл. 4) нами представлено послойное их распределение (содержание определено методами АЭС, ИСП-МС, НАА).

На основании полученных результатов (табл. 4) можно составить следующие ряды накопления элементов-токсикантов для чаги (в порядке убывания):

наружный слой: Rb ≈ Ba > Al > Sr > Br > Ti > Pb > Ag > As > Cs > Be > Sb > U ≈ Th > Ta ≈ Sc ≈ Au;

средний слой: Rb > Ba > Sr > Al > Br > Ti > Ag > Pb > As > Cs > Be > Sb ≈ Ta ≈ Th ≈ Au ≈ U ≈ Sc;

внутренний слой: Rb ≈ Ba > Sr > Br > Al > Ti > Ag > Pb > As > Cs > Be > Sb > U ≈ Th > Ta ≈ Sc > Au.

Как видно из полученных данных, преобладают рубидий и барий, значение которых максимально для всех слоев, несколько меньше содержание стронция, алюминия и брома. Содержание токсичных и потенциально токсичных элементов большей частью соответствует кларку в биосе. В целом, распределение токсичных и потенциально токсичных элементов увеличивается от внутреннего и среднего слоев к наружному. Например, содержание бария в среднем и внутреннем слоях не превышает кларк, а в наружном слое оно повышено на порядок. Исключение составляют серебро, рубидий и бром, содержание которых на порядок выше; при этом серебро и бром накапливаются в основном во внутреннем слое, а рубидий – в наружном.

Кроме того, послойное распределение серебра отличается от распределения других элементов, увеличиваясь при переходе от внешнего слоя к внутреннему. Вызывает интерес накопление серебра, повышенное содержание которого может являться одним из факторов бактерицидного и бактериостатического, также антимикотического эффекта препаратов чаги. При этом установлено, что наибольшим эффектом обладают наночастицы молекулярного серебра, слабее действуют гидратированные Ag<sup>+</sup>, самыми слабыми по действию являются мицеллы хлорида серебра [31]. В перспективе чагу можно использовать для биосинтеза молекулярного серебра, в настоящее время предпринимаются такие попытки с применением съедобных грибов [32].

Также можно отметить высокое накопление золота в среднем слое, превосходящее таковое по сравнению с наружным и внутренним слоями без превышения соответствующего кларка в биосе. При всей малоизученности биогенной роли золота известно, что оно входит в состав ряда металлопротеидов, участвует в составе протеаз, гидролизующих коллаген; ультрамикроразмерности Au<sup>3+</sup>, а также частицы коллоидного золота применяются при лечении онкологических заболеваний, так как способны вызывать разрывы ДНК, возникновение аберраций, наступление апоптоза клеток [33, 34].

Таблица 4. Содержание токсичных и потенциально токсичных микроэлементов (% мас.) в образцах березовой чаги *Inonotus obliquus*, определенное методами АЭС, ИСП-МС, НАА (n=3, P=0.95)

Элемент	Содержание, % мас в послойных образцах чаги			Кларк в биосе
	Наружный слой	Средний слой	Внутренний слой	
Al·10 <sup>-3</sup>	3.6±0.6 (АЭС)	1.5±0.3 (АЭС)	1.0±0.3 (АЭС)	2·10 <sup>-2</sup>
Rb·10 <sup>-3</sup>	11.0±1.6 (АЭС)	7.5±1.1 (АЭС)	6.0±1.0 (АЭС)	2·10 <sup>-4</sup>
Ba·10 <sup>-3</sup>	11.0±2 (АЭС)	4.5±0.8 (АЭС)	6.0±1.3 (АЭС)	n·10 <sup>-3</sup>
Sr·10 <sup>-3</sup>	3.3±0.5 (НАА)	3.1±0.4 (НАА)	2.7±0.4 (НАА)	2·10 <sup>-3</sup>
Pb·10 <sup>-4</sup>	0.69±0.11 (ИСП-МС)	0.22±0.04 (ИСП-МС)	0.20±0.04 (АЭС)	n·10 <sup>-4</sup>
Ti·10 <sup>-4</sup>	4.9±0.9 (ИСП-МС)	2.3±0.4 (ИСП-МС)	3.6±0.6 (ИСП-МС)	n·10 <sup>-4</sup>
Br·10 <sup>-4</sup>	9.5±1.5 (НАА)	9.1±1.3 (НАА)	11.0±1.8 (НАА)	1,5·10 <sup>-4</sup>
As·10 <sup>-5</sup>	0.54±0.09 (НАА)	0.33±0.06 (НАА)	0.43±0.08 (НАА)	n·10 <sup>-5</sup>
Ag·10 <sup>-5</sup>	2.0±0.3 (АЭС)	3.1±0.6 (АЭС)	5.5±0.2 (АЭС)	n·10 <sup>-6</sup>
Cs·10 <sup>-6</sup>	2.5±0.4 (ИСП-МС)	2.0±0.4 (ИСП-МС)	2.7±0.5 (ИСП-МС)	n·10 <sup>-5</sup>
Be·10 <sup>-6</sup>	2.3±0.4 (ИСП-МС)	0.69±0.12 (ИСП-МС)	0.94±0.17 (ИСП-МС)	4·10 <sup>-6</sup>
Sb·10 <sup>-7</sup>	1.7±0.4 (НАА)	1.3±0.3 (НАА)	1.0±0.4 (НАА)	n·10 <sup>-7</sup>
U·10 <sup>-7</sup>	0.37±0.07 (НАА)	0.05±0.01 (НАА)	0.29±0.05 (НАА)	8·10 <sup>-7</sup>
Th·10 <sup>-7</sup>	0.20±0.04 (НАА)	0.17±0.04 (НАА)	<0.10 (НАА)	–
Ta·10 <sup>-8</sup>	<0.50 (НАА)	0.65±0.13 (НАА)	<0.50 (НАА)	–
Au·10 <sup>-8</sup>	0.11±0.02 (НАА)	0.82±0.15 (НАА)	<0.10 (НАА)	n·10 <sup>-8</sup>
Sc·10 <sup>-8</sup>	0.33±0.05 (НАА)	0.47±0.08(НАА)	0.42±0.08(НАА)	–

Элементный анализ образцов *Inonotus obliquus* выполняли в аккредитованных лабораториях Томского регионального центра коллективного пользования при Национальном Томском государственном университете ЦКП НИ ТГУ на поверенном оборудовании. Данные (табл. 5) показывают удовлетворительную сходимость результатов количественного определения ряда элементов в наружном слое березовой чаги, полученных разными методами.

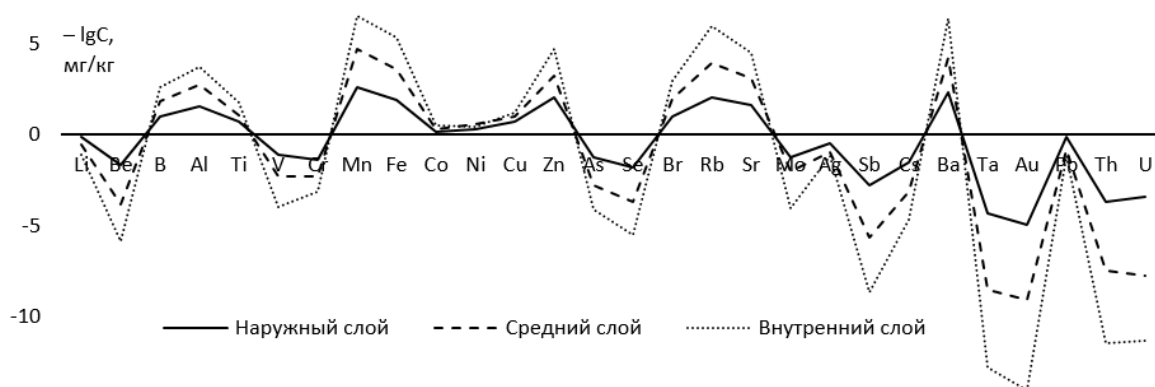
Послойное распределение микроэлементов в березовой чаге представлено на рисунке в виде логарифмической зависимости среднего значения содержания элементов в чаге ( $\lg C$ , мг/кг) от его атомной массы.

Из рисунка видно, что распределение микроэлементов в рассматриваемых слоях березовой чаги однотипно. Наблюдается большее накопление V, Cr, Ni, As, Se, Rb, Sr, Mo, Pb, Th, U в наружном слое. Содержание этих элементов уменьшается в среднем и внутреннем слоях, то есть наружный слой выступает в роли «защитного». Содержание таких элементов как Li, Mn, Cu, Br, Sb, Cs меняется незначительно при переходе от одного слоя к другому, а такие элементы как Au и Ag преобладают в среднем и внутреннем слоях соответственно.

Кроме того, было проведено сравнение полученного содержания контролируемых элементов-токсикантов с ПДК, согласно СанПин 2.3.2. 1078-01 от 14.11.2001/22.03.02. Из таблицы 6 следует, что содержание элементов-токсикантов не превышает ПДК.

Таблица 5. Содержание элементов (% мас.) в наружном слое березовой чаги *Inonotus obliquus*, определенное методами АЭС, ИСП-МС, НАА ( $n=3$ ,  $P=0.95$ )

Элемент	Содержание, % мас в наружном слое березовой чаги, определенное методами			Кларк в биосе
	АЭС	НАА	ИСП-МС	
Ca	0.30±0.06	–	0.46±0.08	0.5
Mn·10 <sup>-3</sup>	32±6	–	39±5	n·10 <sup>-3</sup>
Rb·10 <sup>-3</sup>	11.0±1.6	–	11.1±1.4	2·10 <sup>-4</sup>
Sr·10 <sup>-3</sup>	–	3.3±0.5	3.9±0.6	2·10 <sup>-3</sup>
V·10 <sup>-3</sup>	1.0±0.2	–	0.91±0.15	1·10 <sup>-3</sup>
Cu·10 <sup>-4</sup>	3.7±0.6	–	4.9±0.9	2·10 <sup>-4</sup>
Co·10 <sup>-4</sup>	–	1.5±0.2	1.10±0.16	2·10 <sup>-5</sup>
Ag·10 <sup>-5</sup>	2.0±0.3	–	2.6±0.5	1·10 <sup>-6</sup>
Cs·10 <sup>-6</sup>	–	2.9±0.5	2.5±0.4	n·10 <sup>-5</sup>



Распределение микроэлементов в образцах березовой чаги *Inonotus obliquus*

Таблица 6. Сравнение содержания элементов-токсикантов в образцах березовой чаги *Inonotus obliquus* (выбраны элементы, накапливающиеся в грибах) [25, 35, 36]

Элемент	Максимальное содержание в золе, мг/кг	ПДК, мг/кг	Превышение ПДК
As	0.054±0.009	0.5	нет
Pb	0.59±0.11	6.0	нет
Ni	0.5±0.1	0.5	нет
Cu	4.9±0.9	25	нет
Zn	15±2	20	нет
Cr	0.040±0.008	0.1	нет

### Выводы

Методами атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС), масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), нейтронно-активационного анализа (НАА) в стерильной форме трутовика косотрубчатого (*Inonotus obliquus*) обнаружено 34 элемента.

В наружном слое гриба отмечается максимальное содержание К, Mg, Ca, P, Na, Cu, Fe, Zn, Mn, V, Li, Rb, Ba, Ni, Pb Al, Be. Накопление большей части как эссенциальных, так и токсичных элементов характеризуется тенденцией к убыванию их содержания от наружного слоя к внутреннему и среднему.

Элементный состав среднего слоя не отличается значимыми особенностями, содержание элементов в нем во многих случаях или ниже, чем в других слоях, или занимает промежуточное положение. Содержание Со соизмеримо с таковым для внутреннего слоя. Содержание Au многократно превышает таковое для других слоев, имеет место несколько повышенное накопление Та и самое низкое накопление U.

Внутренний слой березовой чаги накапливает максимальные количества Со, Ag.

Равномерно распределены между слоями чаги: Со, Se, Cr, В, Ti, Sr, Br, Cs, As, Sb, Sc.

Значения концентраций большинства из вышеупомянутых элементов, в основном, совпадают со значениями кларков, однако накопление Со, Br, Ag, Rb, Mn и К в чаге на порядок выше, чем в биосе.

Концентрация обнаруженных элементов-токсикантов не превышает ПДК (СанПин 2.3.2. 1078-01 от 14.11.2001/22.03.02).

### Список литературы

1. Шашкина М.Я., Шашкин П.Н., Сергеев А.В. Химические и медико-биологические свойства чаги // Химико-фармацевтический журнал. 2006. Т. 40. №10. С. 37–44.
2. Шашкина М.Я. Шашкин П.Н., Сергеев А.В. Чага в онкологии: обзор // Российский биотерапевтический журнал: Теоретический и научно-практический журнал. 2005. Т. 4. №4. С. 59–72.
3. Кароматов И.Дж., Муродова М.М. Чага, березовый гриб // Биология и интегративная медицина. 2017. №2. С. 164–179.
4. Змитрович И.В., Денисова Н.П., Баландайкин М.Э. и др. Чаги и ее биоактивные комплексы: история и перспективы // Формулы фармации. 2020. Т. 2. №2. С. 84–93. DOI: 10.17816/phf34803.
5. Сысоева М.А. Высокодисперсные коллоидные системы и меланины чаги: монография. Казань, 2013. 228 с. DOI: 10.1007/s11094-017-1601-8.
6. Никитина С.А., Хабибрахманова В.Р., Сысоева М.А. Исследование меланина чаги. I. Липофильные вещества меланина чаги // Химия растительного сырья. 2014. №3. С. 191–198. DOI: 10.14258/jcprm.1403185.
7. Сысоева М.А., Хабибрахманова В.Р., Гамаюрлова В.С., Тазеева А.Х. Исследование золя водных извлечений чаги. XI. Липиды водного извлечения чаги // Химия растительного сырья. 2008. №3. С. 119–122.
8. Хасанов В.В., Слизов Ю.Г., Чумаков А.А., Бажина С.В. Анализ состава и свойств сырья березового гриба чаги, *Inonotus obliquus* (Pers.) Pilat, собранного в Томской области // Химия растительного сырья. 2015. №2. С. 43–48. DOI: 10.14258/jcprm.201502533.
9. Nakata T., Taji S., Yamada T. Structure determination of inonotsuoxides A and B and in vivo anti-tumor promoting activity of inotodiol from the sclerotia of *Inonotus obliquus* // Bioorganic & Medicinal Chemistry. 2007. Vol. 15. N1. Pp. 257–264. DOI: 10.1016/j.bmc.2006.09.064
10. Chung M.J. Anticancer activity of subfractions containing pure compounds of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract in human cancer cells and in Balbc/c mice bearing Sarcoma-180 cells // Nutrition research and practice. 2010. Vol. 4. N3. Pp. 177–182. DOI: 10.4162/nrp.2010.4.3.177.
11. Zheng W. Chemical diversity of biologically active metabolites in the sclerotia of *Inonotus obliquus* and submerged culture strategies for up-regulating their production // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2010. Vol. 87. Pp. 1237–1254. DOI: 10.1007/s00253-010-2682-4.
12. Chen H., Fu L., Dong P., Zhang X., Lu X. Acute Toxicity Evaluation and Compositional Analysis of a Polysaccharide from the Medicinal Mushroom *Inonotus obliquus* // 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. 2009. Pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICBBE.2009.5162275.
13. Liu P., Xue J., Tong S., Dong W., Wu P. Structure Characterization and Hypoglycaemic Activities of Two Polysaccharides from *Inonotus obliquus* // Molecules. 2018. Vol. 23. N8. 1948. DOI: 10.3390/molecules23081948.
14. Eid J.I., Das B. Molecular insights and cell cycle assessment upon exposure to Chaga (*Inonotus obliquus*) mushroom polysaccharides in zebrafish (*Danio rerio*) // Sci. Rep. 2020. Vol. 10. 7406. DOI: 10.1038/s41598-020-64157-3.
15. Грачева Н.В., Желтобрюхов В.Ф., Голованчиков А.Б. Химическая модификация природных полимеров меланинов гриба *Inonotus obliquus* (чага) // Известия ВолгГТУ. 2014. №7(134). С. 93–97.
16. Сушинская Н.В., Курченко В.П. Сорбция тяжелых металлов меланиновыми пигментами ряда дереворазрушающих грибов // Теоретическая и прикладная экология. 2019. Т. 14. С. 83–87. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-083-087.

17. Senyuk O., Gorovoj L., Zhidkov A., Kovalyov V., Palamar L., Kurchenko V., Kurchenko N., Schroeder H.-Ch. Genome protection properties of the chitin-containing preparation Micoton // *Advances in chitin science*. 2005. Vol. 8. Pp. 430–434.
18. Hassan M.A., Rouf R., Tiralongo E., May T.W., Tiralongo J. Mushroom lectins: specificity, structure and bioactivity relevant to human disease // *International journal of molecular sciences*. 2015. Vol. 16. N4. Pp. 7802–7838. DOI: 10.3390/ijms16047802.
19. Якимов П.А., Ступак М.Ф. Зольные элементы чаги и препарата из нее. Чага и ее лечебное применение при раке IV стадии. Л., 1959. Т. 9. С. 50–54.
20. Ловкова М.Л., Соколова С.М., Бузук Г.Н., Буховский В.Я., Пономарева С.М. Особенности элементного состава лекарственных растений, синтезирующих фенольные соединения // *Прикладная биохимия и микробиология*. 1999. №35–5. С. 578–589.
21. Сысоева М.А., Сысоева Е.В., Носов А.И., Фатыхова А.З. Содержание макро- и микроэлементов в макромицетах, растущих в Республике Татарстан // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. №7. С. 192–195.
22. Кузнецова О.Ю. Обзор современных препаратов с биологически активными композициями березового гриба чага // *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2016. Т. 14. №1. С. 128–141.
23. Федосеева Г.М. О применении чаги в медицинской практике // *Сибирский медицинский журнал*. 2004. №8. С. 66–69.
24. Гюльбякова Х.Н., Маринина Т.Ф., Казуб В.Т. Исследования стоматологического геля на основе биологически активных веществ *Inonotus obliquus* // *Евразийский Союз Ученых. Фармацевтические науки*. 2019. Т. 55, вып. 1. С. 75–76.
25. Отмахов В.И., Петрова Е.В. Атомно-эмиссионная методика анализа грибов на содержание тяжелых металлов и использование ее для целей экомониторинга // *Журнал Известия ТПУ*. 2004. Т. 307, вып. 6. С. 51–56.
26. Гордеева И.В. Исследование влияния загрязнения субстрата тяжелыми металлами на размеры плодовых тел грибов в городских экосистемах // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. №10 (52). С. 9–11. DOI: 10.18454/IRJ.2016.52.153.
27. Государственная фармакопея РФ: 13-е изд. М., 2015. 1004 с.
28. ГСО 8487-2003. Стандартные образцы состава графитового коллектора микропримесей. Комплект СОГ-37. Екатеринбург, 2003.
29. Алексеенко В.А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов: монография. Ростов-на-Дону, 2013. 388 с.
30. Литвинова Т.Н., Выскубова Н.К., Ненашева Л.В. Биогенные элементы. Комплексные соединения. Ростов-на-Дону, 2009. 283 с.
31. Фастовец И.А., Верховцева Н.В., Пашкевич Е.Б., Нетрусов А.И. Наночастицы серебра: токсическое действие на микроорганизмы и взаимодействие с высшими растениями // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2017. №1. С. 51–62.
32. Mirunalini S., Arulmozhi V., Deeplakshmi K., Krishnaveni M. Intracellular Biosynthesis and Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles Using Edible Mushrooms // *Notulae Scientia Biologica*. 2012. Vol. 4. N4. Pp. 55–61. DOI: 10.15835/nsb448051.
33. Крутенко В.В. Близкий взгляд на роль микроэлемента золото в организме человека // *Вісник проблем біології і медицини*. 2013. №3. С. 19–24.
34. Катола В.М. О целебных свойствах золота: иллюзии и реалии // *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2014. №54. С. 103–110.
35. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. М., 2001.
36. Горбунов А.В., Ляпунов С.М., Окина О.И., Фронтасьева М.В., Павлов С.С. Оценка факторов, влияющих на микроэлементный состав базидиальных грибов европейской части России. Дубна, 2009. 19 с.

Поступила в редакцию 18 июня 2021 г.

После переработки 25 ноября 2021 г.

Принята к публикации 30 ноября 2021 г.

**Для цитирования:** 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. DOI: 10.14258/jcrtm.2022019738.



Zeyle L.A.<sup>1\*</sup>, Novikov I.V.<sup>1</sup>, Petrova E.V.<sup>2</sup>, Rabceovich E.S.<sup>1</sup> ELEMENTAL COMPOSITION OF CHAGA MUSHROOM (*INONOTUS OBLIQUUS*)

<sup>1</sup> Siberian State Medical University, Moscovsky tract, 2, Tomsk, 634050 (Russia), e-mail: lyubov.zeyle@mail.ru

<sup>2</sup> National research Tomsk State University, pr. Lenina, 36, Tomsk, 634050 (Russia)

Birch chaga *Inonotus obliquus* is used as a component of many medicines. This is due to the versatile therapeutic effect associated with the content of a large number of biologically active substances of inorganic, organometallic and organic nature, a high content of macro- and microelements both in a free state and in the form of chelate complexes. To establish the qualitative and quantitative elemental composition of birch chaga, highly sensitive physicochemical methods of analysis were used, such as atomic emission spectroscopy (AES), inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), and neutron activation analysis (NAA). The scientific novelty of this study lies in the conduct of a complex physicochemical elemental layer-by-layer analysis of chaga, the analogs of which have not been found in the available literature. The analyzed samples of birch chaga layers contain the following elements: K, Na, Mg, Ca, Zn, Mn, Cu, Fe, Mo, Co, Cr, P, Br, Se, V, Al, Ba, Li, Ag, Au, Rb, Cs, As, Sb, B, Sr, Pb, Ni, Ti, Be, Ta, U, Th, Sc; the concentration of elements is highest in the outer layer of the fungus. It is noted that the content of both biogenic elements (K, Co, Mn) and potentially toxic (Ag, Br, Rb) is significantly higher than the corresponding clarkes in bios. Differences in the content of elements correlate with modern biochemical concepts of the composition of chaga, and in most cases also correlate with the values of clarkes in bios. The value of the detected toxicant elements does not exceed the MPC.

**Keywords:** *Inonotus obliquus*, birch tree chaga fungus, elemental composition, neutron activation analysis, atomic emission spectroscopy, inductively coupled plasma mass spectrometry.

### Referenses

1. Shashkina M.Ya., Shashkin P.N., Sergeyev A.V. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2006, vol. 40, no. 10, pp. 37–44. (in Russ.).
2. Shashkina M.Ya., Shashkin P.N., Sergeyev A.V. *Rossiyskiy bioterapevticheskiy zhurnal: Teoreticheskiy i nauchno-prakticheskiy zhurnal*, 2005, vol. 4, no. 4, pp. 59–72. (in Russ.).
3. Karomatov I.Dzh., Murodova M.M. *Biologiya i integrativnaya meditsina*, 2017, no. 2, pp. 164–179. (in Russ.).
4. Zmitrovich I.V., Denisova N.P., Balandaykin M.E. i dr. *Formuly farmatsii*, 2020, vol. 2, no. 2, pp. 84–93. DOI: 10.17816/phf34803. (in Russ.).
5. Sysoyeva M.A. *Vysokodispersnyye kolloidnyye sistemy i melaniny chagi: monografiya*. [Highly dispersed colloidal systems and chaga melanins: monograph]. Kazan', 2013, 228 p. DOI: 10.1007/s11094-017-1601-8. (in Russ.).
6. Nikitina S.A., Khabibrakhmanova V.R., Sysoyeva M.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2014, no. 3, pp. 191–198. DOI: 10.14258/jcprm.1403185. (in Russ.).
7. Sysoyeva M.A., Khabibrakhmanova V.R., Gamayurova V.S., Tazeyeva A.Kh. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2008, no. 3, pp. 119–122. (in Russ.).
8. Khasanov V.V., Slizhov Yu.G., Chumakov A.A., Bazhina S.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2015, no. 2, pp. 43–48. DOI: 10.14258/jcprm.201502533. (in Russ.).
9. Nakata T., Taji S., Yamada T. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 2007, vol. 15, no. 1, pp. 257–264. DOI: 10.1016/j.bmc.2006.09.064.
10. Chung M.J. *Nutrition research and practice*, 2010, vol. 4, no. 3, pp. 177–182. DOI: 10.4162/nrp.2010.4.3.177.
11. Zheng W. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 2010, vol. 87, pp. 1237–1254. DOI: 10.1007/s00253-010-2682-4.
12. Chen H., Fu L., Dong P., Zhang X., Lu X. *3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2009, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICBBE.2009.5162275.
13. Liu P., Xue J., Tong S., Dong W., Wu P. *Molecules*, 2018, vol. 23, no. 8, 1948. DOI: 10.3390/molecules23081948.
14. Eid J.I., Das B. *Sci. Rep.*, 2020, vol. 10, 7406. DOI: 10.1038/s41598-020-64157-3.
15. Gracheva N.V., Zheltobryukhov V.F., Golovanchikov A.B. *Izvestiya VolgGTU*, 2014, no. 7(134), pp. 93–97. (in Russ.).
16. Sushinskaya N.V., Kurchenko V.P. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2019, vol. 14, pp. 83–87. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-083-087. (in Russ.).
17. Senyuk O., Gorovoj L., Zhidkov A., Kovalyov V., Palamar L., Kurchenko V., Kurchenko N., Schroeder H.-Ch. *Advances in chitin science*, 2005, vol. 8, pp. 430–434.
18. Hassan M.A., Rouf R., Tiralongo E., May T.W., Tiralongo J. *International journal of molecular sciences*, 2015, vol. 16, no. 4, pp. 7802–7838. DOI: 10.3390/ijms16047802.
19. Yakimov P.A., Stupak M.F. *Zol'nyye elementy chagi i preparata iz neye. Chaga i yeye lechebnoye primeneniye pri rake IV stadii*. [Ash elements of chaga and preparation from it. Chaga and its therapeutic use in stage IV cancer]. Leningrad, 1959, vol. 9, pp. 50–54. (in Russ.).
20. Lovkova M.L., Sokolova S.M., Buzuk G.N., Bukhovskiy V.Ya., Ponomareva S.M. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 1999, no. 35–5, pp. 578–589. (in Russ.).
21. Sysoyeva M.A., Sysoyeva Ye.V., Nosov A.I., Fatykhova A.Z. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2013, no. 7, pp. 192–195. (in Russ.).
22. Kuznetsova O.Yu. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2016, vol. 14, no. 1, pp. 128–141. (in Russ.).
23. Fedoseyeva G.M. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal*, 2004, no. 8, pp. 66–69. (in Russ.).
24. Gyl'byakova Kh.N., Marinina T.F., Kazub V.T. *Yevraziyskiy Soyuz Uchenykh. Farmatsevticheskiye nauki*, 2019, vol. 55, no. 1, pp. 75–76. (in Russ.).

\* Corresponding author.

25. Otmakhov V.I., Petrova Ye.V. *Zhurnal Izvestiya TPU*, 2004, vol. 307, no. 6, pp. 51–56. (in Russ.).
26. Gordeyeva I.V. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2016, no. 10 (52), pp. 9–11. DOI: 10.18454/IRJ.2016.52.153. (in Russ.).
27. *Gosudarstvennaya farmakopeya RF: 13-ye izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation: 13th ed.]. Moscow, 2015, 1004 p. (in Russ.).
28. *GSO 8487-2003. Standartnyye obraztsy sostava grafitovogo kollektora mikroprimesey. Komplekt SOG-37.* [GSO 8487-2003. Standard samples of the composition of the graphite collector of microimpurities. Set SOG-37]. Yekaterinburg, 2003. (in Russ.).
29. Alekseyenko V.A. *Khimicheskiye elementy v geokhimicheskikh sistemakh. Klarki pochv selitebnykh landshaftov: monografiya.* [Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soils of residential landscapes: monograph]. Rostov-on-Don, 2013, 388 p. (in Russ.).
30. Litvinova T.N., Vyskubova N.K., Nenasheva L.V. *Biogennyye elementy. Kompleksnyye soyedineniya.* [Biogenic elements. complex compounds]. Rostov-on-Don, 2009, 283 p. (in Russ.).
31. Fastovets I.A., Verkhovtseva N.V., Pashkevich Ye.B., Netrusov A.I. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2017, no. 1, pp. 51–62. (in Russ.).
32. Mirunalini S., Arulmozhi V., Deeplakshmi K., Krishnaveni M. *Notulae Scientia Biologica*, 2012, vol. 4, no. 4, pp. 55–61. DOI: 10.15835/nsb448051.
33. Krutenko V.V. *Visnyk problem biolohiyi i medytsyny*, 2013, no. 3, pp. 19–24. (in Russ.).
34. Katola V.M. *Byullyuten' fiziologii i patologii dykhaniya*, 2014, no. 54, pp. 103–110. (in Russ.).
35. *SanPiN 2.3.2.1078-01. Gigiyenicheskiye trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov.* [SanPiN 2.3.2.1078-01. Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products]. Moscow, 2001. (in Russ.).
36. Gorbunov A.V., Lyapunov S.M., Okina O.I., Frontas'yeva M.V., Pavlov S.S. *Otsenka faktorov, vliyayushchikh na mikroelementnyy sostav bazidial'nykh gribov yevropeyskoy chasti Rossii.* [Evaluation of the factors influencing the microelement composition of basidiomycetes of the European part of Russia]. Dubna, 2009, 19 p. (in Russ.).

*Received June 18, 2021*

*Revised November 25, 2021*

*Accepted November 30, 2021*

**For citing:** Zeyle L.A., Novikov I.V., Petrova E.V., Rabcevic E.S. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 251–260. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2022019738.