

ЭКОЛОГИЯ / ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.32.6>

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ РАЗНООБРАЗИЯ И ЭКОЛОГИИ КСИЛОТРОФНЫХ ГРИБОВ:
ЭПИСТЕМОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Научная статья

Сафонов М.А.^{1,*}, Сафонова Т.И.²

¹ORCID : 0000-0002-7174-6876;

²ORCID : 0000-0001-5919-7889;

¹Оренбургский областной детско-юношеский многопрофильный центр, Оренбург, Российская Федерация

¹Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Оренбург, Российская Федерация

²Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (safonovmaxim[at]yandex.ru)

Аннотация

Рассматриваются основные методологические проблемы изучения биоты ксилотрофных макромицетов. Многолетние исследования разнообразия и экологии дереворазрушающих грибов Оренбургской области (Россия) позволяют проанализировать эпистемологическую ценность разных методов. Обсуждаются недостатки методов изучения видового состава грибов, основанных на учете плодовых тел. Анализируются факторы, влияющие на полноту выявления видового состава микокомплексов (варьирование по сезонам, по годам). Предлагается использование маркеров — показателей структурности микокомплексов для анализа микобиоты, включающих динамику площади гименофора видов, продукцию плодовых тел, скорость микогенной деструкции древесины, выделение видов-индикаторов и редких видов; соотношения биотрофных и сапротрофных видов и ряд других.

Ключевые слова: микобиота, методы микологических исследований, видовое разнообразие, экология грибов, динамика видового состава, ксилотрофные грибы.

METHODS FOR STUDYING THE DIVERSITY AND ECOLOGY OF XYLOTROPHIC FUNGI: AN
EPISTEMOLOGICAL ANALYSIS

Research article

Safonov M.A.^{1,*}, Safonova T.I.²

¹ORCID : 0000-0002-7174-6876;

²ORCID : 0000-0001-5919-7889;

¹Orenburg Regional Children's and youth Multidisciplinary Center, Orenburg, Russian Federation

¹Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Orenburg, Russian Federation

²Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russian Federation

* Corresponding author (safonovmaxim[at]yandex.ru)

Abstract

The main methodological problems of studying the biota of xylotrophic macromycetes are reviewed. Long-term studies of diversity and ecology of wood-destroying fungi in Orenburg Oblast (Russia) allow to analyse the epistemological value of different methods. Disadvantages of methods of studying the species composition of fungi based on fruit bodies are discussed. Factors affecting the completeness of the identification of the species composition of mycocomplexes (variation by season, by year) are examined. It is proposed to use markers — indicators of structure of mycocomplexes for analysis of mycobiota, including dynamics of species hymenophore area, fruit body production, rate of mycogenic destruction of wood, identification of indicator species and rare species; ratios of biotrophic and saprotrophic species and a number of others.

Keywords: mycobiota, mycological research methods, species diversity, fungal ecology, dynamics of species composition, xylotrophic fungi.

Введение

Одной из важнейших проблем в биологических исследованиях являются проблемы методологические. В настоящее время разработаны апробированные эффективные методики качественного и количественного учета видов растений и животных, однако этого нельзя сказать про высшие базидиальные грибы. Присутствие растений в фитоценозе традиционно оценивается по наличию надземных органов. В случае, если речь идет о травянистых одно- или двулетниках, можно сказать, что их существование дискретно. Одно поколение не следует за другим непосредственно — их разделяет определенная временная лагуна. В это время вид как бы «существует» в экосистеме в виде банка семян, либо подземных органов, но не принимает непосредственного участия в функционировании фитоценоза, что позволяет не учитывать этот вид при оценке экосистемных процессов на этих «переходных» этапах.

Грибные организмы в экосистемах существуют практически всегда (в том плане, что они функционируют практически постоянно, т.е. перманентно выполняют свои экосистемные функции). Но достоверная идентификация и оценка характеристик мицелия гриба, погруженного в субстрат, сильно затруднена, и, соответственно, отсутствует возможность выявить видовой состав грибов и, тем более, оценить количество особей на изучаемом участке [14].

Анализ культуральных и генетических характеристик мицелия может позволить идентифицировать многие виды грибов, однако эти методы весьма трудоемки и дорогостоящи.

Цель данного обзора – анализ эффективности методов изучения биоразнообразия и экологии ксилотрофных грибов, широко распространенных в лесных экосистемах и трофически связанных с древесиной.

Методы и принципы исследования

В основу работы легли многолетние (1994-2022) исследования микобиоты дереворазрушающих грибов Оренбургской области. Проведенные исследования разнообразия и разных аспектов функционирования грибов региона на основе общепринятых [1], [2], [5] и авторских методов исследований [6], [9] позволили оценить их преимущества и недостатки, которые анализируются в статье.

Основные результаты

Основной способ выявления и оценки видового разнообразия грибов основан на учете плодовых тел грибов. Это относится к базидиомицетам и части аскомицетов. Различия в морфологии плодовых тел позволяют проводить приблизительную идентификацию; использование микроскопии для анализа структурного своеобразия элементов гимения позволяет более точно определять видовую принадлежность образцов [16]. В настоящее время для определения грибов все шире используются данные молекулярной биологии, но использование соответствующих технологий мало приемлемо в экспедиционных исследованиях, так как требуют стационарной аппаратуры и занимают значительно больше времени для реализации.

Изучение видового разнообразия микобиоты по плодовым телам грибов во многом субъективна [10], [17]. Особенно это касается количественных данных, так как на одном мицелии может образоваться неопределенно большое количество плодовых тел. Так, если на отдельной единице субстрата, например, валежном стволе, развивается серия плодовых тел, можно предположить, что они сформированы на одном мицелии, но достоверность этого предположения оценить затруднительно. Кроме того, если из-за действия дереворазрушающих грибов субстрат распадается на несколько частей — правомерно ли считать каждый из этих фрагментов отдельной особью? Видимо, по этим причинам многие специалисты стараются не использовать количественные данные при анализе микологических данных.

На достоверность микологических данных также влияет периодичность и время проведения исследовательских работ. Как показывают наши данные, видовой состав грибов одной и той же территории значительно варьирует (как в количественном, так и в качественном отношении) по сезонам [9]. Исходя из этого, можно сделать вывод, что для относительно полной оценки видового разнообразия грибов территории необходимо стационарное исследование того или иного лесного массива в течение всего года [15]. В этом случае перспективы получить полную картину разнообразия грибов значительного по площади региона отодвигаются на много лет. Еще один аспект проблемы – межгодовое варьирование видового состава микоценозов. Эти изменения определяются причинами разного уровня: межгодовые флуктуации климатических условий, что приводит к смещению фенофаз грибов от года к году; автохтонные или аллохтонные сукцессии растительности и самих микоценозов; нарушения ритма образования плодовых тел у ряда грибов (многие грибы, в особенности агарикоидные, в условиях степной и лесостепной зон формируют плодовые тела один раз в год, а при особенно неблагоприятных условиях могут вообще не образовывать плодовые тела в течение года) [3]. Примером такого нарушения периодичности плодоношения среди дереворазрушающих грибов может служить печеночница обыкновенная (*Fistulina hepatica* (Schaeff.) Fr.), обитающая на стволах ослабленных деревьев дуба (*Quercus robur* L.), а также на пнях. Этот гриб образует плодовые тела в среднем раз в два года. Исходя из этого, в некоторые годы наличие и численность этого вида, естественно, не может быть учтены без бурения стволов дуба и определения присутствия гриба по наличию специфической гнили [6], [9].

В итоге сочетания действия этих факторов, видовой состав грибов определенной территории существенно варьирует от года к году. Согласно нашим исследованиям, сравнительно полную картину видового разнообразия биоты ксилотрофных грибов можно получить, проводя исследования на стационарных площадках в течение 7 лет [11].

Таким образом, видовой состав сообществ является показательным компонентом состояния экосистем, но совсем не безупречным. Во многих случаях получаемые данные практически не сравнимы или же результаты сравнения не достоверны. Это определяется значительным варьированием видового состава, обусловленным сезонными или межгодовыми флуктуациями климатических условий, циклическими или стохастическими изменениями других экологических факторов и/или отдельных компонентов экосистем (в случае, если анализируется состояние только одной из трофических групп организмов, например, грибов-ксилотрофов).

Возникает вопрос о возможности адекватной оценки видового состава микоценозов, сравнения этого показателя для получения результатов в научных целях (формационный, географический, экологический анализ микобиоты и биоты территории в целом) и в прикладных исследованиях (например, для биоиндикации состояния среды). Т.е. если информация о находках того или иного вида в определенном биотопе, на определенном субстрате, имеет безусловную научную ценность, то данные о видовом составе микоценозов или микобиоты в целом во многих случаях являются нерепрезентативными; они не позволяют делать обоснованные выводы об особенностях микобиоты изучаемых экосистем, оценивать влияние экологических факторов на видовое богатство, экологическую и другие типы структур микобиоты.

Если ни качественные, ни количественные данные, получаемые в результате краткосрочных рекогносцировочных обследований территории не позволяют проводить достоверный сравнительный анализ, то что же следует использовать в качестве маркеров своеобразия сообществ грибов?

Возможно, в качестве таких маркеров могут использоваться показатели структурности грибных комплексов [6]. Переход от уровня изучения видового разнообразия к структурному анализу является вполне закономерным. Этот подход представляет собой качественно иной уровень анализа данных; позволяет абстрагироваться от элементарных

по уровню материалов по видовому составу и оценивать сообщества как отдельное, объективно существующее образование [16]. Получение данных о структурных особенностях микрокомплексов разного уровня возможно при использовании ряда методик: учет динамики площади гименофора видов, присутствующих в сообществе; учет продукции (урожайности) плодовых тел, учет скорости деструкции древесины (для древоразрушающих грибов); выделение и использование видов, индицирующих специфику среды биотопа; учет редких видов; учет соотношения биотрофных и сапротрофных видов и ряд других.

Первая из методик позволяет оценить вклад отдельных видов в производство спор, т.е. активность размножения этих видов, являющееся функцией площади гименофора, связанной с репродуктивным усилием прямой зависимостью [6]. Косвенным образом площадь гименофоров плодовых тел определенного вида гриба в сообществе отражает успешность этого вида и, в определенной мере является предиктором тенденций развития грибного сообщества.

Учет продукции плодовых тел отражает роль видов в сообществе, их вклад в общую продукцию [18]. Необходимо заметить, что продукция плодовых тел разных видов грибов зависит от многих параметров (время существования плодовых тел, максимальная величина плодового тела, определяемая особенностями вида, периодичность появления плодовых тел). В то же время интенсивное формирование базидиом отражает активность гриба, так как значительная численность или крупные плодовые тела могут формировать только мицелий вида, который активно функционирует в лесной экосистеме, более эффективно поглощает и использует питательные вещества.

Скорость деструкции древесины является показателем активности ксилотрофных грибов, которые во многом определяют интенсивность и химизм этого процесса. Изучение процесса деструкции производится путем заложения опытных образцов в подстилку с дальнейшим учетом изменения веса опытных образцов. Проведенные исследования [8] показывают, что скорость деструкции древесины существенно варьирует в зависимости от родовой принадлежности древесины, специфики биотопа и видов грибов, осуществляющих деструкцию. Соответственно, этот показатель определенным образом отражает функциональное значение микрокомплексов древоразрушающих грибов в тех или иных лесных экосистемах.

Выделение видов-индикаторов природных условий или антропогенной нагрузки на среду сопряжено с достаточно длительными предварительными исследованиями, так как верность вида-индикатора необходимо доказать статистически, однако создание оптимально объективной системы индикаторных видов грибов позволит существенно упростить оценку состояния отдельных лесных экосистем, так как при этом исследователь может абстрагироваться от выявления полного видового состава микоценозов и сосредоточить свое внимание на реперных, индикаторных видах [6], [7]. Учет редких видов в определенной мере связан с выявлением и учетом индикаторных видов, так как редкие виды, виды с тенденцией к снижению численности отражают специфические условия местообитаний и историю формирования локальной микобиоты. Наличие редких видов грибов в лесных экосистемах является маркером их устойчивости и степени их антропогенной деградации [7], [13].

Еще один маркер состояния микобиоты — соотношение биотрофных и сапротрофных видов древоразрушающих грибов в сообществах. Фауна грибов при этом выступает в качестве маркера процессов, происходящих в лесных экосистемах. В частности более высокая доля биотрофных (фитопатогенных) видов демонстрирует, что сообщество находится «на переломе», т.е. лесная экосистема находится в состоянии перестройки структуры древостоя. Большая представленность сапротрофных видов сигнализирует об относительной устойчивости лесной экосистемы [12].

Заключение

Таким образом, рассматривая микобиоту, как совокупность грибных организмов, мы имеем возможность описывать ее, опираясь на данные о ее видовом составе, собранные в результате многолетних периодических исследований. Воспринимая микокомплексы, как компонент лесных экосистем, необходимо опираться на использование иных методов, позволяющих объективно оценить роль грибного компонента в функционировании этих экосистем.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Бондарцев А.С. Трутовые грибы европейской части СССР и Кавказа / А.С. Бондарцев. — Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР, 1953. — 1106 с.
2. Бурова Д.Г. Экология грибов макромицетов / Д.Г. Бурова — М.: Наука, 1986. — 224 с.
3. Васильков Б.П. Очерк географического распространения шляпочных грибов в СССР / Б.П. Васильков. — Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР, 1955. — 86 с.
4. Исиков В.П. Дендромикология / В.П. Исиков, Н.И. Конопля — Луганск: Альма-Матер, 2004. — 347 с.
5. Мухин В.А. Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины / В.А. Мухин — Екатеринбург: Наука, 1993. — 231 с.

6. Сафонов М.А. Структура сообществ ксилотрофных грибов / М.А. Сафонов — Екатеринбург: УрО РАН, 2003. — 269 с.
7. Сафонов М.А. Основы управления ресурсным потенциалом биоты ксилотрофных грибов / М.А. Сафонов — Екатеринбург: УрО РАН, 2005. — 130 с.
8. Сафонов М.А. Скорость микогенной деструкции древесины в лесах Южного Приуралья. / М.А. Сафонов // Вестник ОГУ. — 2006. — 2 (52). — с. 18-21. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_11664493_55764596.pdf (дата обращения: 27.03.23).
9. Сафонов М.А. Феноэкология базидиальных грибов в условиях Южного Приуралья. / М.А. Сафонов // Успехи современного естествознания. — 2013. — 8. — с. 119-125. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_20152886_76000039.pdf (дата обращения: 27.03.23).
10. Сафонов М.А. Факторы выявления видового состава дроворазрушающих базидиальных грибов. / М.А. Сафонов // Вестник Оренбургского Государственного Педагогического Университета. — 2016. — 1 (17). — с. 70-75. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_25671818_37372109.pdf (дата обращения: 27.03.23).
11. Сафонов М.А. Многолетняя динамика видовой структуры локальной микобиоты в лесах предгорий Южного Урала. / М.А. Сафонов, Т.И. Сафонова, И.Н. Каменева // Фундаментальные исследования. — 2013. — 10 (3). — с. 575-579. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_20221308_40029427.pdf (дата обращения: 27.03.23).
12. Сафонов М.А. Изменения функциональной структуры сообществ дроворазрушающих грибов как отражение состояния древостоев. / М.А. Сафонов, А.С. Маленкова // Международный журнал фундаментальных и прикладных исследований. — 2014. — 8. — с. 72-77. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_21653781_41373879.pdf (дата обращения: 27.03.23).
13. Ушакова Н.В. Грибы-индикаторы коренных темнохвойных лесов Урала. / Н.В. Ушакова // Экология процессов биологического разложения древесины; под ред. Мухин В.А. — Екатеринбург: Екатеринбург, 2000. — с. 6-15.
14. Hu J.J. Ecological Factors Influencing the Occurrence of Macrofungi from Eastern Mountainous Areas to the Central Plains of Jilin Province, China. / J.J. Hu // Journal of Fungi. — 2022. — 8 (8). — p. 871. — DOI: 10.3390/jof8080871
15. Liu D.M. Survey Methods and Indicator System of Assessment for Macrofungal Diversity in China. / D.M. Liu, J.S. Li, N.W. Xiao // Journal of Nanjing Forestry University. — 2018. — 61 (6). — p. 145. — DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.201810026
16. Gautam A.K. Current Insight into Traditional and Modern Methods in Fungal Diversity Estimates. / A.K. Gautam, R.K. Verma, S. Avasthi et al. // Journal of Fungi. — 2022. — 8(3). — p. 226. — DOI: 10.3390/jof8030226
17. Safonov M.A. Accounting Potential as a Key to Prediction of Regional Fungal Biodiversity. / M.A. Safonov, A.V. Filippova, T.I. Safonova et al. // XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022". INTERAGROMASH 2022. Lecture Notes in Networks and Systems; edited by Beskopylny, A., Shamtsyan, M., Artiukh, V. — Rostov-on-Don: Springer, Cham., 2023. — p. 2282–2288. doi: 0.1007/978-3-031-21219-2_256
18. Tóth B.B. A Simple Method to Assess Macrofungal Sporocarp Biomass for Investigating Ecological Change. / B.B. Tóth, A. Feest // Canadian Journal of Botany. — 2007. — 85 (7). — p. 652-658. — DOI: 10.1139/B07-068

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bondartsev A.S. Trutovie gribi yevropeiskoi chasti SSSR i Kavkaza [Tinder Fungi of the European Part of the USSR and the Caucasus] / A.S. Bondartsev. — Moskva-Leningrad: AN SSSR Publishing, 1953. — 1106 p. [in Russian]
2. Burova D.G. E'kologiya gribov makromicetov [Ecology of Macromycete Fungi] / D.G. Burova — M.: Nauka, 1986. — 224 p. [in Russian]
3. Vasilkov B.P. Ocherk geograficheskogo rasprostraneniya shlyapochnikh gribov v SSSR [An Essay on the Geographical Distribution of Cap Mushrooms in the USSR] / B.P. Vasilkov. — Moskva-Leningrad: AN SSSR Publishing, 1955. — 86 p. [in Russian]
4. Isikov V.P. Dendromikologiya [Dendromycology] / V.P. Isikov, N.I. Konoplya — Lugansk: Al'ma-Mater, 2004. — 347 p. [in Russian]
5. Muxin V.A. Biota ksilotrofn'y'x bazidiomicetov Zapadno-Sibirskoj ravniny' [Biota of Xylotrophic Basidiomycetes of the West Siberian Plain] / V.A. Muxin — Ekaterinburg: Nauka, 1993. — 231 p. [in Russian]
6. Safonov M.A. Struktura soobshhestv ksilotrofn'y'x gribov [Structure of Communities of Xylotrophic Fungi] / M.A. Safonov — Ekaterinburg: УрО РАН, 2003. — 269 p. [in Russian]
7. Safonov M.A. Osnovy' upravleniya resursny'm potencialom bioty' ksilotrofn'y'x gribov [Fundamentals of Resource Potential Management of Xylotrophic Fungi Biota] / M.A. Safonov — Ekaterinburg: УрО РАН, 2005. — 130 p. [in Russian]
8. Safonov M.A. Skorost' mikogennoj destrukcii drevesiny' v lesax Yuzhnogo Priural'ya [The Rate of Mycogenic Destruction of Wood in the Forests of the Southern Urals]. / M.A. Safonov // Vestnik OGU [Bulletin of OSU]. — 2006. — 2 (52). — p. 18-21. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_11664493_55764596.pdf (accessed: 27.03.23). [in Russian]
9. Safonov M.A. Fenoe'kologiya bazidial'ny'x gribov v usloviyax Yuzhnogo Priural'ya [Phenoecology of Basidial Fungi in the Conditions of the Southern Urals]. / M.A. Safonov // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of Modern Natural Science]. — 2013. — 8. — p. 119-125. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_20152886_76000039.pdf (accessed: 27.03.23). [in Russian]
10. Safonov M.A. Faktory' vy'yavleniya vidovogo sostava drevorazrushayushhix bazidial'ny'x gribov [Factors for Identifying the Species Composition of Wood-destroying Basidial Fungi]. / M.A. Safonov // Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Pedagogicheskogo Universiteta [Bulletin of the Orenburg State Pedagogical University]. — 2016. — 1 (17). — p. 70-75. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_25671818_37372109.pdf (accessed: 27.03.23). [in Russian]
11. Safonov M.A. Mnogoletnyaya dinamika vidovoj struktury' lokal'noj mikobioty' v lesax predgorij Yuzhnogo Urala [Long-term Dynamics of the Species Structure of the Local Microbiota in the Forests of the Foothills of the Southern Urals]. /

- M.A. Safonov, T.I. Safonova, I.N. Kameneva // *Fundamental'ny'e issledovaniya [Fundamental Research]*. — 2013. — 10 (3). — p. 575-579. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_20221308_40029427.pdf (accessed: 27.03.23). [in Russian]
12. Safonov M.A. *Izmeneniya funktsional'noj struktury' soobshhestv derevorazrushayushhix gribov kak otrazhenie sostoyaniya drevostoev [Changes in the Functional Structure of Communities of Wood-destroying Fungi as a Reflection of the State of Stands]*. / M.A. Safonov, A.S. Malenkova // *Mezhdunarodny'j zhurnal fundamental'ny'x i prikladny'x issledovaniy [International Journal of Fundamental and Applied Research]*. — 2014. — 8. — p. 72-77. — URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_21653781_41373879.pdf (accessed: 27.03.23). [in Russian]
13. Ushakova N.V. *Griby'-indikatory' korenny'x temnoxvojny'x lesov Urala [Fungi-indicators of Indigenous Dark Coniferous Forests of the Urals]*. / N.V. Ushakova // *Ecology of the Processes of Biological Decomposition of Wood*; edited by Muxin V.A. — Ekaterinburg: Ekaterinburg, 2000. — p. 6-15. [in Russian]
14. Hu J.J. *Ecological Factors Influencing the Occurrence of Macrofungi from Eastern Mountainous Areas to the Central Plains of Jilin Province, China*. / J.J. Hu // *Journal of Fungi*. — 2022. — 8 (8). — p. 871. — DOI: 10.3390/jof8080871
15. Liu D.M. *Survey Methods and Indicator System of Assessment for Macrofungal Diversity in China*. / D.M. Liu, J.S. Li, N.W. Xiao // *Journal of Nanjing Forestry University*. — 2018. — 61 (6). — p. 145. — DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.201810026
16. Gautam A.K. *Current Insight into Traditional and Modern Methods in Fungal Diversity Estimates*. / A.K. Gautam, R.K. Verma, S. Avasthi et al. // *Journal of Fungi*. — 2022. — 8(3). — p. 226. — DOI: 10.3390/jof8030226
17. Safonov M.A. *Accounting Potential as a Key to Prediction of Regional Fungal Biodiversity*. / M.A. Safonov, A.V. Filippova, T.I. Safonova et al. // *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022"*. INTERAGROMASH 2022. *Lecture Notes in Networks and Systems*; edited by Beskopylny, A., Shamtsyan, M., Artiukh, V. — Rostov-on-Don: Springer, Cham., 2023. — p. 2282–2288. doi: 0.1007/978-3-031-21219-2_256
18. Tóth B.B. *A Simple Method to Assess Macrofungal Sporocarp Biomass for Investigating Ecological Change*. / B.B. Tóth, A. Feest // *Canadian Journal of Botany*. — 2007. — 85 (7). — p. 652-658. — DOI: 10.1139/B07-068