

КРАТКИЕ
СООБЩЕНИЯ

УДК 582.284 : 616.006

К ВОПРОСУ О ПЕНТАЦИКЛИЧЕСКИХ ТРИТЕРПЕНОИДАХ
INONOTUS OBLIQUUS (ЧАГА)

© 2021 г. Н. В. Белова^{1,*}

¹ Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, 197376 Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: cultures@mail.ru

Поступила в редакцию 10.03.2021 г.

После доработки 15.04.2021 г.

Принята к публикации 24.05.2021 г.

Рассмотрен вопрос о пентациклических тритерпеноидах у лигнотрофного макромицета *Inonotus obliquus* (чага). Приведены данные из истории изучения пентациклических тритерпеноидов растений и тритерпеноидов *I. obliquus*. Рассмотрен характер биологической активности пентациклических тритерпеноидов и, в частности, бетулина. Представлены основные типы структур пентациклических тритерпеноидов и тритерпеноидов *I. obliquus*.

Ключевые слова: бетулин, бетулиновая кислота, инотодиол, лупеол, траметеноловая кислота, чага, *Inonotus obliquus*

DOI: 10.31857/S0026364821050032

Терпеноиды (изопреноиды) представляют собой крупнейший класс природных соединений, ключевым фрагментом которых является изопрен C_5H_8 . Они образуются в процессе вторичного метаболизма организмов и характеризуются биогенетической общностью, разнообразием структур, их величиной и сложностью. Значительную часть этого обширного класса природных соединений составляют тритерпеноиды – $(C_5H_8)_6$. Тритерпеноиды содержатся в растениях, грибах, микроорганизмах, животных (наземных и морских), в органических осадочных породах (Plemenkov, 2001). В растениях тритерпеноиды отмечены исключительным структурным разнообразием. Среди них наиболее распространены тетрациклические (группа даммарана) и пентациклические тритерпеноиды (производные урсана, олеанана и лупана) (рис. 1).

Тритерпеноидами урсанового типа являются α -амирин, уваол и урсоловая кислота; соединения олеананового – β -амирин, эритродиол и олеаноловая кислота; лупанового – лупеол, бетулин и бетулиновая кислота. Большинство тритерпеноидов растительного происхождения обладает широким спектром биологической активности – противовирусной, противомикробной, противораковой, антиоксидантной, противовоспалительной, антиацетилхолинэстеразной и пр. Низкая токсичность, отсутствие серьезных побочных эффектов, а также доступность соединений, делают тритерпеноиды особенно интересными при создании лекарственных препаратов (Kvasnic et al., 2015). Пер-

воначальное изучение тритерпеноидов среди вторичных метаболитов растений определило поиск новых структур, в настоящее время их изучение стимулирует открытие биологически активных соединений, способных стать основой различных медицинских и пищевых продуктов. В изучении химической структуры, генных кластеров, кодирующих продукты, участвующие в тритерпеноидном биосинтезе, и создании баз данных, упорядочивающих значительное разнообразие тритерпеноидов, важную роль играет биоинформатика, предлагая свои инструменты, подходы и методы исследования (Medema, 2021).

Большой интерес вызывают исследования пентациклических тритерпеноидов с использованием методов геномной инженерии. Это позволяет получать новые соединения, используя синтез геномодифицированными штаммами микроорганизмов, или изменять структуры тритерпеноидов путем биотрансформации – гидроксирования, окисления, гликозилирования с использованием биосинтетического потенциала грибов и бактерий (Tolstikov et al., 2006; Ali Shah et al., 2014; Guo et al., 2020; Luchnikova et al., 2020).

Начало исследований тритерпеноидов в России было положено в конце 50-х гг. прошлого столетия А.А. Рябининым и Л.Г. Матюхиной в Ботаническом институте Академии наук (БИН РАН), позднее работы были продолжены в Ленинградском университете. Исследования коры ряда растений (*Myrica gale*, *Alnus incana*, *A. fruticosa* и др.) привели к обнаружению соединений, обладаю-

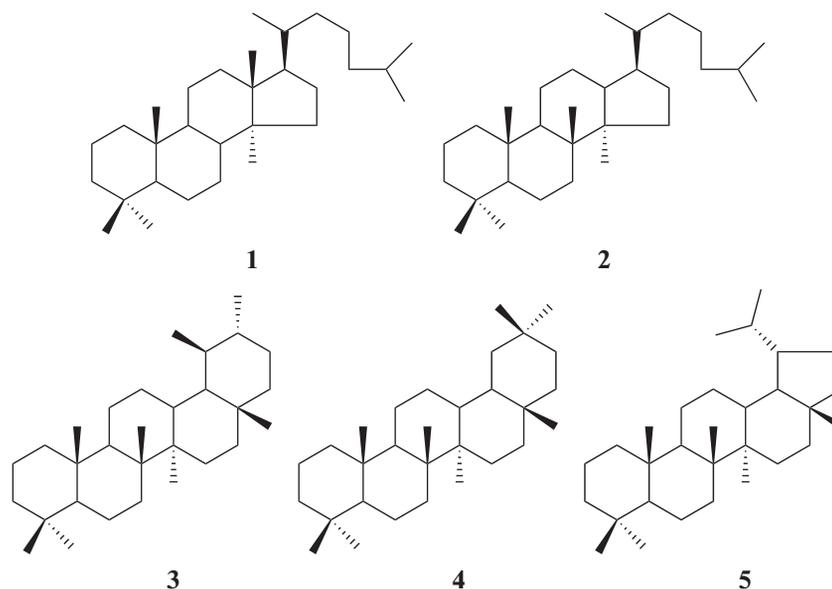


Рис. 1. Структурные типы тритерпеноидов: 1 – ланостан, 2 – даммаран, 3 – урсан, 4 – олеанан, 5 – лупан.

щих структурой тетрациклических тритерпеноидов – производных даммарана и пентациклических производных – бетулина и урсоловой кислоты (Matyukhina, Ryabinin, 1960; Ryabinin, Matyukhina, 1961; Ryabinin, Matyukhina, Domareva, 1962; Matyukhina, Shmukler, Ryabinin, 1965). В настоящее время присутствие олеаноловой кислоты, бетулина и его природных производных – аллобетулина, бетулинового альдегида, бетулиновой кислоты, метилового эфира бетулиновой кислоты, включая постоянный спутник – лупеол, доказано для многих видов растений семейства *Betulaeae*. Все перечисленные соединения являются окисленными производными бетулина и обладают структурой лупанового типа (Tolstikov et al., 2006).

Бетулин, как большинство тритерпеноидов, несмотря на широкий спектр биологической активности – противовирусной, противомикробной, противораковой, антиоксидантной, противовоспалительной – обладает низкой растворимостью в водных средах и неблагоприятными параметрами адсорбции, что затрудняет его применение в медицине, хотя в исследованиях *in vitro* лупановые тритерпеноиды, в т.ч. бетулиновая кислота, проявляют выраженные генопротекторные и противоопухолевые свойства при отсутствии токсичности в отношении неделящихся клеток (Mullauer et al., 2010). Структурные изменения в тритерпеноидном скелете приводят к улучшению параметров липофильности и гидрофильности и, следовательно, к значительному расширению спектра биомедицинского применения этих веществ, созданию новых лекарственных препаратов (Zhang et al., 2015).

Тритерпеноиды в грибах представлены, главным образом, тетрациклическими соединениями ланостанового типа (Belova, 2016). Грибные тритерпеноиды, подобно растительным, обладают разнообразной биологической активностью – противовирусной, противомикробной, противораковой, антиоксидантной, противовоспалительной, антиацетилхолинэстеразной, и др.

В середине прошлого века группа А.Н. Шивриной с сотр. в БИН РАН проводила исследования стерильных наростов гриба *Inonotus obliquus* (чага) с целью поиска среди грибов “растительных антибиотиков” (Shivrina et al., 1959; Yakimov et al., 1961). Был выполнен целый цикл исследований как на природном материале, так и в культуре. Исследования доказали присутствие в псевдосклероциальной пластинке гриба *I. obliquus* инотодиола и траметовой кислоты, тритерпеноидов тетрациклической ланостановой структуры. Результаты исследований были опубликованы в ряде коллективных монографий (Shivrina, 1965; Shivrina, Lovuagina, 1965; Shivrina et al., 1969). К сожалению, исследователи не смогли идентифицировать обнаруженное соединение, которое позднее в многочисленных исследованиях чаги различные авторы верифицировали как бетулин – пентациклический тритерпеноид со структурой лупанового типа.

За прошедшие десятилетия в России, Китае, Корее, Канаде выполнены многочисленные исследования вторичных метаболитов *I. obliquus* – природного продукта (чаги) и культивируемого мицелия (Zheng et al., 2010; Zmitrovich et al., 2020; Denisova et al., 2020; Kim et al., 2020; Wold et al., 2020). Грибные культуры *I. obliquus*, выделенные

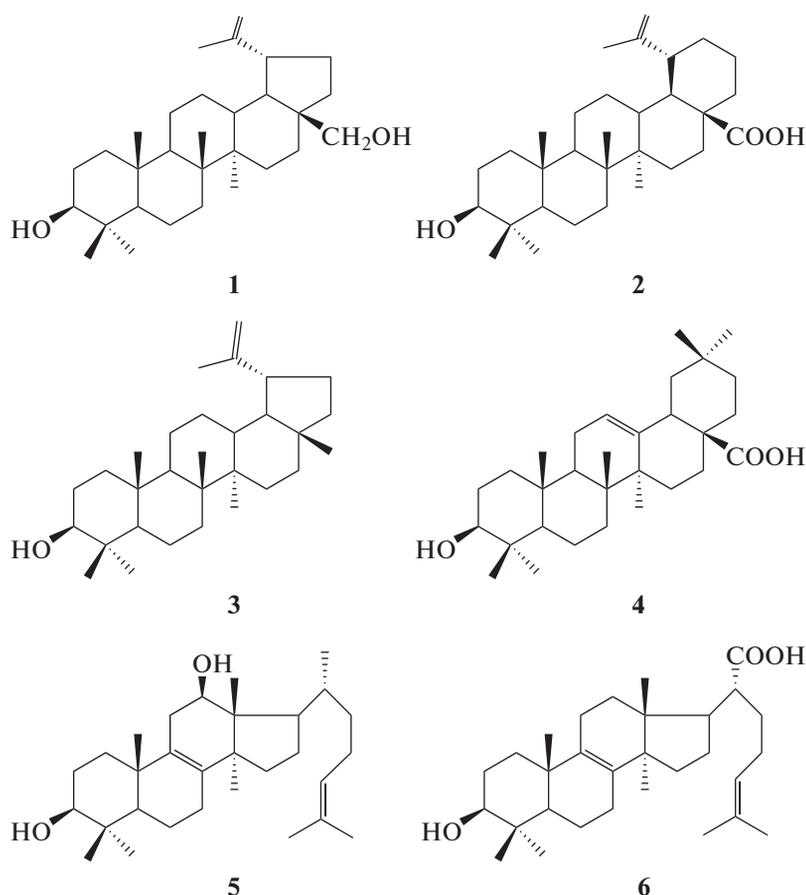


Рис. 2. Тритерпеноиды *Inonotus obliquus* (чага): 1 – бетулин, 2 – бетулиновая кислота, 3 – лупеол, 4 – олеаноловая кислота, 5 – инотодиол, 6 – траметсовая кислота.

из стерильных наростов, поддерживаются в различных мировых коллекциях микроорганизмов. В коллекции LE-BIN Ботанического института РАН имеется шесть штаммов, выделенных в различные годы в России (Psurtseva et al., 2007).

Пул вторичных метаболитов *I. obliquus* характеризуют как тетрациклические соединения ланостанового типа, так и пентациклические тритерпеноиды лупановой структуры (Shin et al., 2000; Zheng et al., 2010; Zhao et al., 2015; Ying et al., 2020). Состав пула тритерпеноидов *I. obliquus* определяют такие факторы, как происхождение, условия жизни и культивирования, а результаты его исследования часто зависят от методов выделения и идентификации. Присутствие пентациклических тритерпеноидов – бетулина, бетулиновой кислоты, лупеола и олеаноловой кислоты (рис. 2) среди вторичных метаболитов псевдосклероциальной пластинки *I. obliquus* подтверждено различными методами (Wold et al., 2020; Zheng et al., 2010).

Итоги исследования биологически активных терпеноидов у макромицетов за два десятилетия подведены в работе Duru (2015). Среди 285 биологически активных терпеноидных метаболитов

грибов большинство составляют тетрациклические тритерпеноиды ланостановой структуры. Пентациклические тритерпеноиды являются исключением: соединения лупанового типа обнаруживают в чаге, а производные урсанового типа (2,3,6,23-тетрагидроксиурс-12-ен-28-вая кислота, 2,3,23-тригидроксиурс-12-ен-28-вая кислота, лупеол) идентифицированы в плодовых телах *Pleurotus eryngii* (Xue et al., 2015). Присутствие пентациклических тритерпеноидов в рассмотренных макромицетах можно объяснить, исходя из следующих обстоятельств: лигнотроф *Inonotus obliquus* развивается преимущественно на растениях семейства *Betulaceae*, в коре которых содержатся пентациклические тритерпеноиды лупанового типа. Данные об условиях культивирования мицелия для получения плодовых тел *Pleurotus eryngii* фирмы “Tiangan Tianghou Edible Fungus”, авторы не приводят. Из литературных источников известно, что наиболее типичным субстратом культивирования плодовых тел съедобных грибов являются древесные опилки лиственных пород и различные отходы сельскохозяйственного и пищевого производств, богатые содержанием тритерпеноидов (Belova, Denisova, 2005; Nieto, Chegwin, 2013).

Присутствие пентациклических тритерпеноидов среди вторичных метаболитов исследованных макромицетов в обоих случаях с большой вероятностью можно объяснить высокой сорбционной способностью грибного мицелия. В то же время в процессе культивирования *Inonotus obliquus* среди обнаруженных многочисленных ланостановых тритерпеноидов, идентифицирован пентациклический тритерпеноид бетулиновая кислота (Zheng et al., 2010).

Вопрос, являются ли пентациклические тритерпеноиды *I. obliquus*, обнаруживаемые в сырье чаги, результатом биосинтеза грибного мицелия или продуктами вторичного метаболизма дерева-хозяина, до сих пор остается открытым. Исследования мицелия *I. obliquus* в присутствии жасмوناتа (соединения, образующегося в растениях в качестве защитной реакции) показали, что мицелий содержит как тетрациклические (траметеноловую кислоту и инотодиол), так и пентациклические (бетулин) тритерпеноиды (Xu et al., 2016). С целью изучения биосинтеза тритерпеноидов *I. obliquus* были проведены молекулярно-генетические исследования мицелия, выращенного на различных источниках бетулина. В результате транскриптомного анализа идентифицировали 18 транскриптов генов, кодирующих ферменты терпеноидного метаболизма. Их сравнительный анализ позволил получить полезную информацию о разнообразии генов, участвующих в терпеноидном метаболизме мицелиальных культур *I. obliquus* в описываемых условиях (Fradj et al., 2019). Авторы данного исследования полагают, что только сравнительное изучение экспрессии генов у лабораторно-адаптированного и дикого природного штаммов прояснило бы многие вопросы взаимодействия гриба-патогена с растением-хозяином и однозначно ответило на вопрос о природе бетулина и его производных, накапливаемых в псевдосклероциальной пластинке *I. obliquus*.

Грибной мицелий обладает высокой сорбционной способностью, что, наряду с высокой гидрофобностью пентациклических тритерпеноидов, позволяет склоняться в пользу их сорбции из субстрата в процессе роста грибного организма. Присутствие пентациклических тритерпеноидов среди метаболитов лигнотрофных грибов *I. obliquus* и *Pleurotus eryngii* вряд ли вызвано сбоем в процессах вторичного обмена, поскольку эти организмы характеризуются высоким содержанием окислительных и гидролитических ферментов, присущих грибам белой гнили. Биосинтез тритерпеноидов проходит по мевалоновому механизму с образованием из двух молекул фарнезил-дифосфата молекулы сквалена — общего предшественника всех тритерпеноидных соединений. Трансформация сквалена в 2,3-оксидосквален при дальнейшем участии растительных генов, кодирующих а-амиринсинтазу, CYP459 и редуктазу, CYP450, ведет к

образованию пентациклических тритерпеноидов у генномодифицированных штаммов дрожжей (Guo et al., 2020; Luchnikova et al., 2020).

Исследования биосинтеза терпеноидов у грибов находятся на начальном этапе (Schmidt-Dannert, 2015). Ферменты их биосинтеза обычно включают терпенсинтазы и циклазы, участвующие в создании основного скелета структуры, и ферменты, адаптирующие структуры, такие как, например, монооксигеназы цитохрома P450, оксидоредуктазы, а также трансферазы, которые образуют конечные биоактивные структуры. Обширную группу ферментов, участвующих в гидроксильровании и окислении терпеноидных соединений, представляют монооксигеназы цитохрома P450. Известно лишь несколько семейств CYP450 при изменении структур тритерпеноидов (Quin et al., 2014). Сведения об участии цитохрома P450 в процессе меротерпеноидного биосинтеза у *Penicillium aethiopicum* открывают новые неожиданные свойства этого фермента в качестве циклазы (Chooi et al., 2013). Способность в полной мере охарактеризовать терпеноид грибов в настоящее время зависит от успехов в разработке соответствующих биоинформатических и генетических инструментов.

В заключение можно ожидать, что исследования биосинтеза тритерпеноидов у макромицетов позволят решить вопрос о том, что потребляет и что синтезирует грибной организм в системе взаимодействия “дерево-хозяин—ксилотрофный гриб”.

Работа выполнена в рамках государственного задания Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН, регистрационный номер темы АААА-А19-119020890079-6. Автор выражает благодарность канд. хим. наук А.Д. Зориной за ценные советы в работе над рукописью и помощь в оформлении рисунков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ali Shah S.A., Tan H.L., Sultan S. et al. Microbial-catalyzed biotransformation of multifunctional triterpenoids derived from phytonutrients // Int. J. Molecular Sciences. 2014. V. 15. № 7. P. 12027–12060. <https://doi.org/10.3390/ijms150712027>
- Belova N.V. Lanostane triterpenoids and steroids of higher fungi // Advances in Biology and Earth Sciences. 2016. V. 1. № 1. P. 107–120 (in Russ.).
- Belova N.V., Denisova N.P. White rot xylophilic fungi and the possibility of their use for waste disposal // Biotekhnologiya. 2005. № 4. P. 55–59 (in Russ.).
- Chooi Y.-H., Hong J., Cacho A. et al. A cytochrome P450 serves as an unexpected terpene cyclase during fungal meroterpenoid biosynthesis // J. American Chem. Soc. 2013. V. 135. № 45. P. 6805–6808. <https://doi.org/10.1021/ja408966t>
- Denisova N.P., Balandaykin M.E., Belova N.V. et al. The role of Russian researchers in the study of medicinal raw of the Chaga fungus // Modern mycology in Russia. 2020. V. 8. P. 445–448 (in Russ.).

- Fradj N., Goncalves dos Santos K.C., Montigny N. et al. RNA-Seq de novo assembly and differential transcriptome analysis of chaga (*Inonotus obliquus*) cultured with different betulin sources and the regulation of genes involved in terpenoid biosynthesis // Int. J. Molecular Sciences. 2019. V. 20. P. 4334. <https://doi.org/10.3390/ijms20184334>
- Furtado Niege A.J.C., Pirson L., Edelberg H. et al. Pentacyclic triterpene bioavailability: An overview of in vitro and in vivo studies // Molecules. 2017. V. 22. № 3. P. 400. <https://doi.org/10.3390/molecules22030400>
- Guo H., Wang H., Huo Y.-X. Engineering critical enzymes and pathways for improved triterpenoid biosynthesis in yeast // BioRxiv. 2021. <https://doi.org/10.1101/2020.04.03.023150>
- Kim J., Yang S.C., Hwang A.Y. et al. Composition of the triterpenoids in *Inonotus obliquus* and their antiproliferative activity on cancer cell line // Molecules. 2020. V. 25. P. 4066. <https://doi.org/10.3390/molecules25184066>
- Kvasnica M., Urban M., Dickinson N.J. et al. Pentacyclic triterpenoids with nitrogen- and sulfur-containing heterocycles: synthesis and medicinal significance // Natural Product Reports. 2015. V. 32. № 9. P. 1303–1330. <https://doi.org/10.1039/c5np00015g>
- Luchnikova N.A., Grishko V.V., Ivshina I.B. Biotransformation of oleanane and ursane triterpenic acids // Molecules. 2020. V. 25. № 23. P. 5526. <https://doi.org/10.3390/molecules25235526>
- Matyukhina L.G., Ryabinin A.A. New triterpen, myricolal // Doklady Akademii nauk SSSR. 1960. V. 131. P. 316–317 (in Russ.).
- Matyukhina L.G., Shmukler V.S., Ryabinin A.A. Triterpenes of *Alnus subcordata* C.A.M bark // Zhurnal obshchey khimii. 1965. V. 35. P. 579 (in Russ.).
- Medema M.H. The Year 2020 in natural product bioinformatics: an overview of the latest tools and databases // Natural Product Reports. 2021. V. 38. № 2. P. 301–306. <https://doi.org/10.1039/d0np00090f>
- Mullauer F.B., Kessler J.H., Medema J.P. Betulinic acid, a natural compound with potent anticancer effects // Anti-cancer Drugs. 2010. V. 21. P. 215–227.
- Nieto I.J., Chegwin C.A. The effect of different substrates on triterpenoids and fatty acids in fungi of the genus *Pleurotus* // J. Chilean Chemical Society. 2013. V. 58. № 1. P. 1580–1583. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072013000100017>
- Plemenkov V.V. Introduction to the chemistry of nature substances. Kazan, 2001.
- Psurtseva N.V., Kiyashko A.A., Gachkova E.Yu. et al. Basidiomycetes culture collection LE (BIN): Catalogue of strains. KMK, Moscow, SPb., 2007 (in Russ.).
- Quin M.B., Flynn C.M., Schmidt-Dannert C. Traversing the fungal terpenome // Natural Product Reports. 2014. V. 31. № 10. P. 1449–1473. <https://doi.org/10.1039/c4np00075g>
- Ryabinin A.A., Matyukhina L.G. Studies of triterpenes of some plant species // Zhurnal obshchey khimii. 1961. V. 31. № 3. P. 1033–1036 (in Russ.).
- Ryabinin A.A., Matyukhina L.G., Domareva T.V. Studies of the structure of alninkanon // Zhurnal obshchey khimii. 1962. V. 32. P. 2056–2057 (in Russ.).
- Schmidt-Dannert C. Biosynthesis of terpenoid natural products in fungi // Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology. 2015. V. 148. P. 19–61. https://doi.org/10.1007/10_2014_283
- Shin Y., Tamai Y., Terazawa M. Chemical constituents of *Inonotus obliquus*: A new triterpene, 3 β -hydroxy-8,24-dien-lanosta21,23-lactone from sclerotium // Eurasian J. Forest Res. 2000. № 1. P. 43–50.
- Shivrina A.N. Biologically active substances of higher fungi. Nauka, Moscow, Leningrad, 1965 (in Russ.).
- Shivrina A.N., Lovyagina E.N. Study of sterols and triterpenes in the fungus *Inonotus obliquus* (Fr.) Pil. In: Forage proteins and physiological substances for animal husbandry. Nauka, Moscow, Leningrad, 1965. P. 65–72 (in Russ.).
- Shivrina A.N., Lovyagina E.N., Platonova E.G. About the chemical composition of Chaga. In: Chaga and its medicinal use. Medgiz, Leningrad, 1959. P. 72–85 (in Russ.).
- Shivrina A.N., Nizkovskaya O.P., Falina N.N. et al. Biosynthetic activity of higher fungi. Nauka, Leningrad, 1969 (in Russ.).
- Tolstikov G.A., Flekhter O.B., Schultz E.E. Betulin and its derivatives. Chemistry and biological activity // Chemistry for sustainable development. 2006. V. 13. P. 1–30 (in Russ.).
- Wold C.W., Gerwick W.H., Wangenstein H. et al. Bioactive triterpenoids and water-soluble melanin from *Inonotus obliquus* (Chaga) with immunomodulatory activity // J. Functional Foods. 2020. V. 71. P. 104025. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104025>
- Xu X., Zhang X., Chen C. Stimulated production triterpenoids of *Inonotus obliquus* using methyl jasmonate and fatty acids // Industrial Crops and Products. 2016. V. 85. P. 49–67.
- Xue Z., Li J., Cheng A. et al. Structure identification of triterpene from the mushroom *Pleurotus eryngii* with inhibitory effects against breast cancer // Plant Foods for Human Nutrition. 2015. V. 70. P. 291–296. <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0492-7>
- Yakimov P.A. et al. (ed.). Comprehensive study of physiologically active substances of lower plants. Moscow, Leningrad, 1961 (in Russ.).
- Ying Y.M., Yu H.F., Tong C.P. et al. Spiroinonotsuoxotriols A and B, two highly rearranged triterpenoids from *Inonotus obliquus* // Organical Letters. 2020. V. 22. № 9. P. 3377–3380.
- Zhang H., Wang Y., Zhu P. et al. Design, synthesis and antitumor activity of triterpenoid pyrazine derivatives from 23-hydroxybetulinic acid // Eur. J. Medicinal Chemistry. 2015. V. 97. P. 235.
- Zhao F., Mai Q., Ma J. et al. Triterpenoids from *Inonotus obliquus* and their antitumor activities // Fitoterapia. 2015. V. 101. P. 34–40.
- Zheng W., Miao K., Liu Y. et al. 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. V. 87. № 4. P. 1237–1254.
<https://doi.org/10.1007/s00253-010-2682-4>
- Zmitrovich I.V., Denisova N.P., Balandaykin M.E. et al. Chaga and its bioactive complexes: history and perspectives // *Pharmacy Formulas*. 2020. V. 2. № 2. P. 84–93 (in Russ.).
<https://doi.org/10.17816/phf34803/2713-153X-2020-2-2-84-93>
- Белова Н.В. (Belova) Ланостановые тритерпеноиды и стероиды высших грибов // *Advances in Biology and Earth Sciences*. 2016. V. 1. № 1. P. 107–120.
- Белова Н.В., Денисова Н.П. (Belova, Denisova) Грибы белой гнили древесины и возможность их использования для утилизации отходов // *Биотехнология*. 2005. № 4. С. 55–59.
- Денисова Н.П., Баландайкин М.Э., Белова Н.В. и др. (Denisova et al.) Роль российских исследователей в изучении лекарственного грибного сырья – чаги // *Современная микология в России*. 2020. Т. 8. С. 445–448.
- Змитрович И.В., Денисова Н.П., Баландайкин М.Э. и др. (Zmitrovich et al.) Чага и ее биоактивные комплексы: история и перспективы // *Формулы Фармации*. 2020. Т. 2. № 2. С. 84–93.
- Матюхина Л.Г., Рябинин А.А. (Matyukhina, Ryabinin) Новый тритерпен – мириколаль // *Доклады академии наук СССР*. 1960. Т. 131. С. 316–317.
- Матюхина Л.Г., Шмуклер В.С., Рябинин А.А. (Matyukhina et al.) Тритерпены коры *Alnus subcordata* С.А.М. // *Журнал общей химии*. 1965. Т. 35. С. 579.
- Племенков В.В. (Plemenkov) Введение в химию природных соединений. Казань, 2001. 376 с.
- Рябинин А.А., Матюхина Л.Г. (Ryabinin, Matyukhina) Исследования тритерпенов некоторых видов растений // *Журнал общей химии*. 1961. Т. 31. № 3. С. 1033–1036.
- Рябинин А.А., Матюхина Л.Г., Домарева Т.В. (Ryabinin et al.) Исследования строения альнинканона // *Журнал общей химии*. 1962. Т. 32. С. 2056–2057.
- Толстикова Г.А., Флехтер О.Б., Шульц Э.Э. (Tolstikova et al.) Бетулин и его производные. Химия и биологическая активность. Химия в интересах устойчивого развития. 2006. Т. 13. С. 1–30.
- Шиврина А.Н. (Shivrina) Биологически активные вещества высших грибов. М.; Л.: Наука, 1965. 199 с.
- Шиврина А.Н., Ловягина Е.Н. (Shivrina, Lovyagina) Исследование стероидов и тритерпенов у гриба *Inonotus obliquus* (Fr.) Pil. // *Кормовые белки и физиологические вещества для животноводства*. М.; Л.: Наука, 1965. С. 65–72.
- Шиврина А.Н., Ловягина Е.Н., Платонова Е.Г. (Shivrina et al.) О химическом составе чаги // Чага и ее лечебное применение. Л.: Медгиз, 1959. С. 72–85.
- Шиврина А.Н., Низковская О.П., Фалина Н.Н. и др. (Shivrina et al.) Биосинтетическая деятельность высших грибов. Л.: Наука, 1969. 241 с.
- Якимов П.А. и др. (ред.) (Yakimov et al.) Комплексное изучение физиологически активных веществ низших растений. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 3–10.

On Pentacyclic Triterpenoids of *Inonotus obliquus* (Chaga)

N. V. Belova^{a, #}

^a Komarov Botanical Institute, St. Petersburg, Russia

[#]e-mail: cultures@mail.ru

The present note discusses the issue of pentacyclic triterpenoids in the lignotrophic macromycete *Inonotus obliquus* (Chaga). Data from the history of studying pentacyclic triterpenoids of plants and triterpenoids of macromycetes are presented. The nature of the biological activity of pentacyclic triterpenoids and, in particular, betulin is considered. The main types of pentacyclic triterpenoid structures and triterpenoids of *I. obliquus* are given.

Keywords: betulin, betulinic acid, *Inonotus obliquus*, inotodiol, lupeol, trametenolic acid