

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.999-1006>
УДК 582.232.192.2 (470.342)



Находки фармакологически ценного сумчатого гриба *Cordyceps militaris* (L.) Fr. в Кировской области

© 2023. А. А. Широких✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Грибы рода *Cordyceps* Fr. (1818) (Ascomycota: Hypocreales: Cordycipitaceae) широко распространены по всему миру, многие виды являются космополитами. Известны кордицепсы как энтомопатогенные грибы, поражающие гусениц и куколки насекомых. Плодовые тела кордицепса китайского *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.) G. H. Sung, J. M. Sung, Huwel-Jones & Spatafora (синоним *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc.) известны также своими фармакологическими эффектами и используются в традиционной медицине Китая для лечения широкого спектра заболеваний. Этот вид имеет ограниченное распространение, и, благодаря огромному спросу, его ресурсы из-за неконтролируемых сборов в дикой природе быстро истощаются. Кроме того, *O. sinensis* трудно поддается искусственному культивированию. Другой энтомопатогенный вид гриба, *Cordyceps militaris*, обладает химическим составом и свойствами, сходными с таковыми у *O. sinensis*, но, в отличие от *O. sinensis*, его легче искусственно выращивать в мицелиальной культуре. В связи с этим, изучение распространения и встречаемости вида *Cordyceps militaris* приобрело в настоящее время исключительную актуальность. В статье приведены данные о первых в Кировской области спорадических находках гриба *Cordyceps militaris*, обладающего уникальными биологическими свойствами. Обсуждается экологическая стратегия популяции данного вида, особенности его распространения и колебаний численности на территории России. Рассмотрен вопрос, почему при широком распространении данного вида его считают редким и даже включают в Красную книгу отдельных регионов. Найденный в северной части Кировской области *C. militaris* выделен в чистую культуру (штамм T1) для искусственного выращивания и изучения физиолого-биохимических свойств. Обоснована целесообразность включения природных изолятов кордицепса, полученных введением в мицелиальную культуру, в микологические коллекционные фонды, поскольку искусственное культивирование гриба представляет очевидный интерес для развития биотехнологий в медицине, ветеринарии, растениеводстве и защите растений.

Ключевые слова: кордицепс, аскомицеты, энтомопатогенные грибы, лекарственные свойства, встречаемость вида

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0005).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Широких А. А. Находки фармакологически ценного сумчатого гриба *Cordyceps militaris* (L.) Fr. в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(6):999-1006.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.999-1006>

Поступила: 11.08.2023

Принята к публикации: 02.11.2023

Опубликована онлайн: 20.12.2023

Records of pharmacologically valuable ascomycete fungus *Cordyceps militaris* (L.) Fr. in the Kirov region

© 2023. Alexander A. Shirokikh✉

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov,
Russian Federation

Fungi of the genus *Cordyceps* Fr. (1818) (Ascomycota: Hypocreales: Cordycipitaceae) are widely distributed throughout the world, many species are cosmopolitan. *Cordyceps* are known as entomopathogenic fungi that infect caterpillars and pupae of insects. The fruit bodies of Chinese cordyceps *Ophiocordyceps sinensis* (synonym *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc) are also well known for their pharmacological effects and are widely used in traditional Chinese medicine for the treatment of a wide range of diseases. This species has a limited distribution and, due to the huge demand, its resources are rapidly depleted in the wild due to uncontrolled fees. In addition, *O. sinensis* is difficult to cultivate artificially. Another entomopathogenic species of fungus, *Cordyceps militaris*, has a chemical composition and properties similar to those of *O. sinensis*, but, unlike *O. sinensis*, it is easier to be grown artificially in mycelial culture. In this regard, the study of the distribution and occurrence of the fungus *Cordyceps militaris* has now acquired exceptional relevance. The article presents data on the first sporadic records of *Cordyceps militaris* fungus, which has unique biological properties, in the Kirov region. The ecological strategy of the population of this species, the peculiarities of its distribution and population fluctuations in Russia are discussed. The question is considered why, with the wide distribution of this species, it is considered rare and even included in the Red Books of individual regions. *C. militaris* found in the northern part of the Kirov region was isolated into pure culture (strain T1) for artificial cultivation and study of physiological and biochemical properties. The expediency of including natural cordyceps isolates obtained by introduction into mycelial culture in mycological collection funds is substantiated, since artificial cultivation of the fungus is of obvious interest for the development of biotechnologies in medicine, veterinary medicine, crop production and plant protection.

Keywords: cordyceps, ascomycetes, entomopathogenic fungi, medicinal properties, species occurrence

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0005)

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author declared no conflict of interest.

For citation: Shirokikh A. A. Records of pharmacologically valuable ascomycete fungus *Cordyceps militaris* (L.) Fr. in the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023; 24(6):999-1006. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.999-1006>

Received: 11.08.2023

Accepted for publication: 02.11.2023

Published online: 20.12.2023

В настоящее время большой интерес вызывает метаболический потенциал высших грибов как основа для развития новых биотехнологий. Всё большую популярность приобретают ценные виды лекарственных грибов, традиционно используемые в народной медицине Китая и других стран Юго-Восточной Азии [1].

Среди грибов, применяемых в традиционной восточной медицине, особый интерес представляют аскомицеты рода *Cordyceps*, принадлежащие к классу Sordariomycetes, порядку Hypocreales, семейству Cordycipitaceae (<https://www.indexfungorum.org/>). Особенностью кордицепсов является их зоопаразитизм. Эти энтомопатогенные грибы поражают гусениц и куколок насекомых. Гусеницы бабочек зарываются в почву или подстилку, и в них начинается развитие мицелий гриба, использующий питательные вещества насекомого-хозяина и приводящий его к гибели. Личинка мумифицируется, а из гусеницы на следующее лето вырастает плодовое тело гриба. Как правило, оно прикреплено к голове зараженного насекомого.

Некоторые виды рода *Cordyceps* содержат вещества со свойствами, представляющими интерес для биотехнологии и фармакологии. Лекарственные свойства грибов рода *Cordyceps* обусловлены, в первую очередь, синтезом кордицепина и кордицепиновой кислоты, уникальным составом полисахаридов, способствующих активации клеток иммунной системы, в частности – увеличению синтеза цитокинов и интерферонов, а также антиоксидантными свойствами [2, 3]. Ряд выявленных и научно доказанных лечебных эффектов имеют плодовые тела кордицепса китайского *Ophiocordyceps sinensis* (Berk.) G. H. Sung, J. M. Sung, Hywel-Jones & Spatafora, 2007 (синоним *Cordyceps sinensis* (Berk.) Sacc.), который с успехом используется в традиционной медицине Китая для лечения широкого спектра заболеваний [1]. Этот ограниченно распространённый в высокогорьях Тибета и прилегающих районах Гималаев вид имеет огромный спрос, из-за чего интенсивно собирается населением, и его ресурсы быстро истощаются. Кроме того, *O. sinensis*

трудно поддается искусственному культивированию. Мицелий *O. sinensis*, выращенный на питательных средах, содержит значительно меньше ценных для фармакологии компонентов в отличие от плодового тела гриба, сформировавшегося на гусеницах насекомых-хозяев, которыми являются различные виды бабочек семейства тонкопрядов (Hepialidae). Другой энтомопатогенный вид гриба – *Cordyceps militaris* (L.) Fr., обладает химическим составом и свойствами, сходными с таковыми у *O. sinensis*, но в отличие от него легче поддается искусственному выращиванию, и его состав в меньшей степени зависит от условий культивирования [4], ввиду чего *Cordyceps militaris* заслуживает особо пристального внимания как объект биотехнологии.

До недавнего времени считалось, что кордицепсы являются редкими грибами, предпочитающими биотопы с повышенной влажностью и температурой, распространенными преимущественно в субтропических и тропических лесах Южной Америки, Азии, Африки. К началу нынешнего века было известно около 400 видов рода *Cordyceps*, но в настоящее время их количество сильно сократилось, так как данные молекулярно-генетических исследований показали, что значительная их часть является представителями близких семейств: Clavicipitaceae (*Metacordyceps* и др.) и Ophiocordycipitaceae (*Ophiocordyceps*, *Perennicordyceps*, *Pleurocordyceps* и мн. др. роды). Но в целом, действительно, наибольшее видовое разнообразие всех *Cordyceps*-подобных грибов, в большинстве являющихся эндопаразитами членистоногих, характерно для тропических дождевых лесов. На сегодня установлено, что многие виды этой группы распространены и в зоне умеренного климата, а в России есть уникальные места, например, реликтовые леса на юге Приморского края, где их встречается до 80 видов [5].

Наиболее широко распространенными видами рода *Cordyceps*, в современном объеме его понимания, являются известные лишь по бесполой (анаморфной) стадии развития *C. farinosa* и *C. fumosorosea*, а среди грибов, преиму-

шественно встречающихся в природе в половой стадии (телеоморфной) – *C. militaris*. Последний встречается в Европе, Северной и Южной Америке, Азии, Африке. В России этот гриб отмечен во всех природно-климатических зонах: от тундры до южных областей [6, 7, 8, 9, 10]. Плодовое тело и искусственно культивируемый мицелий *C. militaris* содержат биоактивные соединения – кордицепиновую кислоту и кордицепин, которые оказывают антибактериальное, противовирусное действие, ингибируют развитие многих видов опухолей, что обеспечивает широкую терапевтическую и профилактическую эффективность кордицепса в медицине и ветеринарии [11, 12, 13]. Экспериментально показана способность кордицепина влиять на физиологию растений, регулируя накопление лектинов в клетках пшеницы при солевом стрессе [14]. Известны фитотоксические свойства кордицепина, который был даже предложен как природный гербицид [15]. Активно изучается инсектицидное действие кордицепина и самого гриба как средства борьбы с колорадским жуком [16], капустной молью и другими вредными членистоногими [17].

Количественный и качественный состав метаболитов гриба может различаться в зависимости от генетически обусловленных особенностей штамма и влияния факторов внешней среды [18].

Цель работы – уточнить представления о встречаемости и распространении гриба *Cordyceps militaris* (L.) Fr. на территории северо-востока европейской части России. При выявлении в природе выделить в мицелиальную культуру для последующего изучения пригодности местных штаммов к биотехнологическому использованию в сельском хозяйстве.

Новизна исследований – представлены первые документированные, с указанием географических координат, находки вида *C. militaris* на территории Кировской области, и впервые из природной среды получен местный штамм гриба *C. militaris* T1 для изучения его филогении и физиолого-биохимических свойств.

Материал и методы. Территория исследования. Исследование проводили в 2018-2023 гг. маршрутным методом на двух пространственно удаленных территориях, типизирующих природно-климатические условия северной и центральной зон Кировской области, но контрастных по степени антропогенного воздействия на биоту: 1) особо охраняемая природная территория (ООПТ) – участок «Тулашор» ФГБУ

«Государственный природный заповедник «Нургуш» (ГПЗ «Нургуш»); 2) микрорайон Талица, г. Киров. Время сбора – июль, август.

Участок «Тулашор» ГПЗ «Нургуш» расположен на северо-западе Нагорского района, на границе Кировской области с Республикой Коми. Это один из немногих сохранившихся массивов старовозрастных лесов в Европе, представленный спелыми и перестойными ельниками и смешанными лесами, находящимися на разных стадиях возрастной динамики. «Тулашор» – один из мало нарушенных лесных территорий европейского севера России, практически не затронутая хозяйственной деятельностью (<https://nurgush.org/>).

Микрорайон Талица расположен в заречной части г. Кирова, на правом берегу р. Вятки и представляет собой низинный закоряженный участок елово-берёзового леса с лежащими на земле полусгнившими стволами деревьев и моховой подстилкой. Местонахождение гриба находилось в 60 м от железнодорожной ветки местного значения Киров-Слободской.

Выделение и культивирование гриба. Выделение сумчатого гриба *C. militaris* в чистую культуру осуществляли на солодовом агаре (4 °Б) по методу Фриза (из аскоспоры) с использованием плодового тела гриба, собранного на территории участка «Тулашор» ГПЗ «Нургуш» в августе 2020 года [19]. Идентификацию гриба проводили до выделения в мицелиальную культуру по морфологическим признакам с использованием микроскопа Leica DM 2500, в соответствии с определителем [20]. Чашки Петри инкубировали при 24 °С в темноте. Учёт проводили на 7-10 сутки культивирования. Моноспоровые изоляты сохраняли в стеклянных пробирках на косом сусле-агаре при +4 °С.

Результаты и их обсуждение. Обычно *C. militaris* обнаруживается в лесной подстилке на куколках и гусеницах чешуекрылых из различных семейств, преимущественно бражников (*Sphingidae*) и близких к ним групп [7]. На куколках бабочек гриб образует булавовидные оранжево-красные плодовые тела – стромы, одиночные или по несколько штук (рис., а, б). Размеры, форма стром и интенсивность окраски очень изменчивы и зависят от размеров пораженного насекомого и условий местообитания [18]. Спорообразующая часть стромы цилиндрическая, булавовидная, веретеновидная, бородавчатая от выступающих устьев перитециев. Ножка цилиндрическая, бледно-оранжевая или почти белая.



Рис. *Cordyceps militaris*: а – одиночная строма (Тулашор, 2018); б – множественные стромы на насекомом-хозяине (Тулашор, 2020); в – плодовое тело на спиле бревна осины; г – мицелиальная культура (штамм *C. militaris* T1) на сусло-агаре с зачатками плодовых тел; д – формирование плодового тела (телеоморфы) в колбе на сусло-агаре; е – плодовые тела, обнаруженные в городской черте г. Кирова (микрорайон Талица, 2023); ж – плодовые тела на куколке бабочки из семейства бражников (*Sphingidae*)

Fig. *Cordyceps militaris*: а – single stroma (Tulashor, 2018); б – multiple stromas on the host insect (Tulashor, 2020); в – fruit body on the sawn aspen log; д – mycelial culture (strain *C. militaris* T1) on wort-agar with germs of fruit bodies; е – the formation of a fruit body (teleomorphs) in a flask on wort-agar; ф – fruit bodies found in the city limits of Kirov (Talitsa microdistrict, 2023); г – fruit bodies on the pupa of a butterfly from the hawk moth family (*Sphingidae*)

В Кировской области *C. militaris* впервые был нами найден на территории ГПЗ «Нургуш», участок «Тулашор» в 2018 году [19]. Гриб обнаружен на куколке бабочки в моховой подстилке сырого лога (N59.65902, E50.01778).

Найденный экземпляр представлен одиночной ярко-оранжевой стромой (рис., а). В 2020 году, недалеко от места первой находки (N59.38721, E50.03342), обнаружен второй экземпляр со множественными ярко-оранжевыми стромами,

растущими на мёртвой куколке бабочки (рис., б). Второй экземпляр кордицепса был доставлен в лабораторию биотехнологии растений и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, где из плодового тела на сусло-агаре получили мицелиальную культуру кордицепса. Мицелиальная колония на плотной питательной среде ватоподобная, не плотная, от белого до кремового цвета. Край колонии ровный, высоко приподнятый над субстратом. Образование жёлто-оранжевого пигмента отмечено только при культивировании *C. militaris* на свету. В анаморфной культуре наблюдали образование множественных примордиев (рис., г). Микроскопия вегетативного мицелия позволила наблюдать септированные гифы с гладкими стенками и единичными хламидоспорами. Отмечено было также множество округлых конидий от 5 до 7 мкм в диаметре. Характер конидиогенных структур выявить не удалось.

На 25 сутки культивирования на сусло-агаре при естественном освещении и температуре 23 ± 2 °C на мицелии гриба сформировалась строма с сумками (асками), содержащими аскоспоры (рис., д). Следует отметить, что получить *in vitro* строму *C. militaris* удается далеко не всегда. При микроскопии аски имели цилиндрическую форму, были септированными, размером $300-500 \times 3.0-3.5$ мкм, и содержали 8 спор каждая. По мере созревания распадалась на отдельные клетки – споры, имеющие размеры $4.5-5(7) \times 1-1.5$ мкм. Аскоспоры бесцветные, нитевидные, часто с многочисленными перегородками, почти равные по длине сумкам.

После предварительной идентификации и присвоения акронима штамм *C. militaris* T1 помещен для хранения и изучения свойств в коллекцию культур высших грибов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока.

В 2020 году в Галанином логу (N59.39505, E50.05232) на территории участка «Тулашор» на спиле полусгнившего ствола осины был обнаружен третий экземпляр *C. militaris* (рис., в). Образование стромы гриба на полусгнившем стволе дерева можно объяснить тем, что данный вид достаточно часто встречается на куколках мелких чешуекрылых, зимующих в гниющей древесине и под корой в нижней части ствола.

В июле 2023 года еще один экземпляр *C. militaris* найден в лесном массиве микрорайона Талица (N58.61381, E49.77960), расположенном в черте города Кирова. Стромы гриба развились из куколки бражника, находящейся в моховой подстилке (рис., е и ж). Биотоп обитания гриба

представлял собой низинный участок елово-берёзового леса с полусгнившими стволами деревьев и моховой подстилкой, состоящей из сфагнома (*Sphagnum palustre*), кукушкиного льна (*Polytrichum commune*) и плевроциума Шребера (*Pleurozium schreberi*).

Отсутствие до 2018 года информации о нахождении *C. militaris* на территории Кировской области объясняется как особенностями биологии данного вида гриба, так и тем, что в ходе региональных маршрутных микологических обследований [21] не проводился его направленный поиск. Как отмечает Б. А. Борисов (2012), для данного вида характерно естественное состояние малочисленности и микроочаговости [22]. Например, для некоторых территорий Приморского края (Лазовский государственный природный заповедник им. Л. Г. Капанова, Государственный природный биосферный заповедник «Кедровая Падь» и др.) кордицепс является типичным обитателем хвойно-широколиственных лесов. В других местах с аналогичными и даже более благоприятными условиями обитания он может встречаться локально, в пространственно удалённых друг от друга точках. Если не знать координаты этих точек, а тем более – не искать это вид специально, то вероятность его обнаружения на исследуемой территории весьма незначительна. Такая стратегия выживания создаёт ложное представление о «редкости» гриба *C. militaris*, а поскольку редкость вида в природе рассматривают как свидетельство его потенциального исчезновения, связанного с повышенной уязвимостью, то это предполагает включение вида в охранные списки [23]. Однако следует учесть, что за периодами исключительной редкости вида *C. militaris* могут следовать сильные всплески его численности в пределах одной и той же территории. Например, из-за такой особенности распространения *C. militaris* был внесён в Красную книгу Республики Бурятия с пометкой: «Численность очень мала, тенденции её изменения не выяснены, лимитирующие факторы не установлены» [24, с. 321]. А спустя несколько лет, при изучении микозов насекомых, на склоне хребта Хамар-Дабан в южном Прибайкалье был зафиксирован всплеск численности *C. militaris* – до 5000 экземпляров на 1 га [7]. Из литературы известно, что подобная стратегия существования популяции присуща многим видам зоопаразитических грибов: когда широко распространенный вид с низкой численностью характеризуется взрывным ее увели-

чением в отдельные годы с благоприятными условиями для развития и размножения насекомых-хозяев [22]. Эти микологические наблюдения в природе в очередной раз указывают на универсальность и широкую применимость концепции природной очаговости инфекций академика Е. Н. Павловского [25].

Заключение. Таким образом, единичные находки *Cordyceps militaris* (L.) Fr. в лесных биотопах Кировской области – на территории участка «Тулашор» Государственного природного заповедника «Нургуш» (август 2018 и 2020 гг.) и в городской черте (мкр-н Талица) г. Кирова (июль 2023 г.) служат подтверждением «космополитизма» данного вида гриба, его широкого распространения и, вместе с тем, его малочисленности. Несмотря на единичность находок на территории Кировской области, *C. militaris* не подлежит включению в региональные охранные списки в связи со сложностью изучения его популяционной динамики и отношения к той или иной охранной категории. Вопрос об организации охраны этого вида пока остается открытым. Возможно, путем оценки экологических ниш и диапазона распространения *C. militaris* с использованием методов

метабаркодинга (молекулярных методов анализа ДНК, выделенной из природных субстратов), которые уверенно входят в практику современных микологических исследований [26, 27], удастся решить вопрос, относится ли данный вид к «редким» и/или «исчезающим», или же, напротив, его природным популяциям в области ничто не угрожает.

Оптимизм внушает то, что в Кировской области обнаружены собственные ресурсы фармакологически ценного гриба, требующие углубленной оценки. Как и у других лекарственных грибов, при выделении *C. militaris* из природной среды в мицелиальную культуру с последующим ее искусственным выращиванием на питательной среде, отдельные изоляты, по-видимому, могут сильно различаться по биохимическим и иным свойствам, продукции ценных метаболитов. Это делает целесообразным не только поиск и выделение местных штаммов кордицепса, но и включение вятских штаммов гриба в международные коллекции микологических культур, в силу большого интереса к кордицепсу как продуценту ценных для биотехнологии метаболитов.

Список литературы

1. Лекарственные грибы в традиционной китайской медицине и современных биотехнологиях. Под ред. В. А. Сысуева. Киров: изд-во «О-Краткое», 2009. 319 с.
2. Dreyfuss M. M., Chapela I. H. Potential of fungi in the discovery of novel, low-molecular weight pharmaceuticals. Discovery of natural products with therapeutic potential. Butterworth-Heinemann Press, Stoneham Mass, 1994. 616 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-9003-4.50009-5>
3. Halpern G. M. The legend of *Cordyceps sinensis*. *Cordyceps*: east and west. In: Healing mushrooms: ancient wisdom for better health. New York: Garden City Park, 2007. Part 7. pp. 70-71.
4. Wang B. S., Lee C. P., Chen Z. T., Yu H. M., Duh P. D. Comparison of the hepatoprotective activity between cultured *Cordyceps militaris* and natural *Cordyceps sinensis*. Journal of Functional Foods. 2012;4(2):489-495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.02.009>
5. Борисов Б. А., Лиховидов В. Е., Володина Л. И., Жирков В. М., Леднев Г. Р., Глухов В. В. Грибы рода *Cordyceps* как объекты медицинской биотехнологии, их ресурсы в России и проблемы сохранения ex situ. Успехи медицинской микологии. 2006;7:272-275.
6. Иконникова Н. В., Лобай М. В. Биологические свойства и иммуностропные эффекты грибов рода *Cordyceps*. Журнал белорусского государственного университета. Экология. 2019;(2):68-76. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41261393> EDN: OSMPZR
7. Kryukov V. Y., Yaroslavtseva O. N., Lednev G. R., Boriso B. A. Local epizootics caused by teleomorphic cordycipitoid fungi (*Ascomycota: Hypocreales*) in populations of forest lepidopterans and sawflies of the summer-autumn complex in Siberia. Microbiology. 2011;80(2):286-295. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0026261711020093>
8. Борисов Б. А., Александрова А. В. Зоопаразитические кордицепитоидные грибы Московской области. Современная микология России. ТЗ. Мат-лы 3 съезда микологов России. М.: Национальная Академия микологии, 2012. С. 105-106. Режим доступа: <http://www.mycology.ru/files/cmr2012.pdf>
9. Прохоров В. П., Борисов Б. А., Воронина Е. Ю., Александрова А. В. Новые данные о сордариомицетах и дотидеомицетах государственного природного заказника «Звенигородская биостанция МГУ и карьер Сима». Микология и фитопатология. 2015;49(6):359-365. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24842708> EDN: UXQLRR
10. Борисов Б. А. Зоопаразитические кордицепитоидные грибы (*Ascomycota: Hypocreales*) Сочинского национального парка и прилегающих территорий. Биоразнообразие и экология грибов и грибоподобных организмов северной Евразии: мат-лы Всеросс. конф. с междунар. участием. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. С. 31-35. Режим доступа: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/40315>
11. Tan L., Song X., Ren Y., Wang M., Guo C., Guo D., Gu Yu., Li Yu., Cao Zh., Deng Y. Anti-inflammatory effects of cordycepin: A review. Phytotherapy Research. 2021;35(3):1284-1297. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.6890>

12. Radhi M., Ashraf S., Lawrence S., Tranholm A. A., Wellham P. A. D., Hafeez A., Khamis A. S., Thomas R., McWilliams D., De Moor C. H. A systematic review of the biological effects of cordycepin. *Molecules*. 2021;26(19):5886. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26195886>
13. Yoon S. Y., Park S. J., Park Y. J. The anticancer properties of cordycepin and their underlying mechanisms. *International journal of molecular sciences*. 2018;19(10):3027. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19103027>
14. Шакирова Р. М., Безрукова М. В., Авальбаев А. М., Фатхутдинова Р. А. Механизмы регуляции накопления лектина в проростках пшеницы при засолении. *Физиология растений*. 2003;50(3):341-345.
15. Quy T. N., Xuan T. D., Andriana Y., Tran H.-D., Khanh T. D., Teschke R. Cordycepin isolated from *Cordyceps militaris*: its newly discovered herbicidal property and potential plant-based novel alternative to glyphosate. *Molecules*. 2019;24(16):2901. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24162901>
16. Крюков В. Ю., Ярославцева О. Н., Дубовский И. М., Тюрин М. В., Крюкова Н. А., Глулов В. В. Инсектицидное и иммуносупрессивное действие аскомицета *Cordyceps militaris* на личинок колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata*. *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2014;(3):296-303. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002332914020040> EDN: SARZQX
17. Берестейский А. О., Леднев Г. Р., Ху Ц. Перспективные подходы к поиску метаболитов грибов для борьбы с вредными членистоногими. *Вестник защиты растений*. 2021;104(1):6-27. DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-1-14963> EDN: NDPNVD
18. Пучкова Т. А., Бабицкая В. Г., Щерба В. В., Пармон С. В., Навоша Ю. Ю. Влияние факторов среды на образование полисахаридов гриба *Cordyceps militaris*. *Вестні Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. 2010;(3):83-86. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42539223> EDN: DIXZYM
19. Широких А. А., Широких И. Г. К вопросу об охране грибов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(5):641-660. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.641-660> EDN: BQWZRA
20. Hansen L., Knudsen H. *Nordic macromycetes*. Vol. 1. *Ascomycetes*. Copenhagen: Nordsvamp c/o Botanical Museum, 2020. 285 p.
21. Ставищенко И. В., Лугинина Е. А., Кирилов Д. В., Егошина Т. Л. Макромицеты Государственного природного заказника «Былина». Киров: ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС», 2019. 150 с.
22. Борисов Б. А. Возбудители микозов беспозвоночных заповедника «Калужские засеки»: результаты исследований на южном участке и прилегающих территориях. *Труды государственного природного заповедника «Калужские засеки»*. Вып. 2. Под общ. ред. С. К. Алексеева. Калуга: изд-во «Эйдос», 2012. С. 29-73.
23. Арефьев С. П. О системном подходе к охране редких видов грибов. *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2008;(8):3-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11730088> EDN: JWRYAH
24. Петров А. Н. Кордицепс военный – *Cordyceps militaris* (Fr.) Link. Красная книга республики Бурятия. *Редкие и исчезающие виды растений и грибов*. Под ред. Т. Г. Бойкова. Новосибирск: Наука, 2002. С. 321.
25. Павловский Е. Н. Основы учения о природной очаговости трансмиссивных болезней человека. *Журнал общей биологии*. 1946;7(1):3-33.
26. Blackwell M., Vega F. E. Lives within lives: Hidden fungal biodiversity and the importance of conservation. *Fungal Ecology*. 2018;35:127-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.05.011>
27. Новожилов Ю. К., Малышева В. Ф., Малышева Е. Ф., Щепин О. Н., Азаров Д. В., Змитрович И. В., Волобуев С. В., Коваленко А. Е. Скрытое разнообразие грибов и грибообразных протистов в природных экосистемах: проблемы и перспективы. *Биосфера*. 2016;8(2):202-215. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26620021> EDN: WKNRHP

References

1. Medicinal mushrooms in traditional Chinese medicine and modern biotechnology. Ed. V. A. Sysuev. Kirov: izd-vo «O-Kratkoe», 2009. 319 p.
2. Dreyfuss M. M., Chapela I. H. Potential of fungi in the discovery of novel, low-molecular weight pharmaceuticals. *Discovery of natural products with therapeutic potential*. Butterworth-Heinemann Press, Stoneham Mass, 1994. 616 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-9003-4.50009-5>
3. Halpern G. M. The legend of *Cordyceps sinensis*. *Cordyceps: east and west*. In: *Healing mushrooms: ancient wisdom for better health*. New York: Garden City Park, 2007. Part 7. pp. 70-71.
4. Wang B. S., Lee C. P., Chen Z. T., Yu H. M., Duh P. D. Comparison of the hepatoprotective activity between cultured *Cordyceps militaris* and natural *Cordyceps sinensis*. *Journal of Functional Foods*. 2012;4(2):489-495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.02.009>
5. Borisov B. A., Likhovidov V. E., Volodina L. I., Zhirkov V. M., Lednev G. R., Glupov V. V. Fungi of the genus *Cordyceps* as objects of medical biotechnology, their resources in Russia and problems of ex situ conservation. *Uspekhi meditsinskoy mikologii*. 2006;7:272-275. (In Russ.).
6. Ikonnikova N. V., Lobay M. V. Biological properties and immunotropic effects of the genus *Cordyceps* fungi. *Zhurnal belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* = *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2019;(2):68-76. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41261393>
7. Kryukov V. Y., Yaroslavl'tseva O. N., Lednev G. R., Borisov B. A. Local epizootics caused by teleomorphic cordycipitoid fungi (*Ascomycota: Hypocreales*) in populations of forest lepidopterans and sawflies of the summer-autumn complex in Siberia. *Microbiology*. 2011;80(2):286-295. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0026261711020093>
8. Borisov B. A., Aleksandrova A. V. Zooparasitic cordycipitoid fungi of the Moscow region. *Modern Mycology of Russia*. Vol. 3. 3rd congress of mycologists of Russia. Moscow: *Natsional'naya Akademiya mikologii*, 2012. pp. 105-106. URL: <http://www.mycology.ru/files/cmr2012.pdf>

9. Prokhorov V. P., Borisov B. A., Voronina E. Yu., Aleksandrova A. V. New data on sordariomycetes and dothideomycetes at the territory of Moscow state university zvenigorod biological station and Sima open pit wildlife refuge. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2015;49(6):359-365. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24842708>
10. Borisov B. A. Zooparasitic cordycipitoid fungi (*Ascomycota*, *Hypocreales*) of Sochi national park and adjacent areas. Biodiversity and ecology of fungi and fungus-like organisms of northern Eurasia: Proceedings of the All-Russian conference with International participation. Ekaterinburg: *Izd-vo Ural'skogo universiteta*, 2015. pp. 31-35. URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/40315>
11. Tan L., Song X., Ren Y., Wang M., Guo C., Guo D., Gu Yu., Li Yu., Cao Zh., Deng Y. Anti-inflammatory effects of cordycepin: A review. *Phytotherapy Research*. 2021;35(3):1284-1297. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.6890>
12. Radhi M., Ashraf S., Lawrence S., Tranholm A. A., Wellham P. A. D., Hafeez A., Khamis A. S., Thomas R., McWilliams D., De Moor C. H. A systematic review of the biological effects of cordycepin. *Molecules*. 2021;26(19):5886. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26195886>
13. Yoon S. Y., Park S. J., Park Y. J. The anticancer properties of cordycepin and their underlying mechanisms. *International journal of molecular sciences*. 2018;19(10):3027. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19103027>
14. Shakirova R. M., Bezrukova M. V., Aval'baev A. M., Fatkhutdinova R. A. Control mechanisms of lectin accumulation in wheat seedlings under salinity. *Fiziologiya rasteniy* = Russian Journal of Plant Physiology. 2003;50(3):341-345. (In Russ.).
15. Quy T. N., Xuan T. D., Andriana Y., Tran H.-D., Khanh T. D., Teschke R. Cordycepin isolated from *Cordyceps militaris*: its newly discovered herbicidal property and potential plant-based novel alternative to glyphosate. *Molecules*. 2019;24(16):2901. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24162901>
16. Kryukov V. Yu., Yaroslavl'tseva O. N., Dubovskiy I. M., Tyurin M. V., Kryukova N. A., Glupov V. V. Insecticidal and immunosuppressive effect of ascomycete *Cordyceps militaris* on the larvae of the colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya biologicheskaya*. 2014;(3):296-303. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002332914020040>
17. Berestetskiy A. O., Lednev G. R., Khu Ts. Promising approaches to the search for fungal metabolites for management of arthropod pests. *Vestnik zashchity rasteniy* = Plant Protection News. 2021;104(1):6-27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-1-14963>
18. Puchkova T. A., Babitskaya V. G., Shcherba V. V., Parmon C. V., Navosha Yu. Yu. Influence of environment factors on formation of *Cordyceps militaris* fungus polysaccharides. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seriya biyalagichnykh navuk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series. 2010;(3):83-86. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42539223>
19. Shirokikh A. A., Shirokikh I. G. On the conservation of fungi. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(5):641-660. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.641-660>
20. Hansen L., Knudsen H. *Nordic macromycetes*. Vol. 1. *Ascomycetes*. Copenhagen: Nordsvamp c/o Botanical Museum, 2020. 285 p.
21. Stavishenko I. V., Luginina E. A., Kirolov D. V., Egoshina T. L. Macromycetes of the Bylina State Nature Reserve. Kirov: *OOO «Izdatel'stvo «Raduga-PRESS»*, 2019. 150 p.
22. Borisov B. A. Causative agents of mycosis invertebrates of the reserve «Kaluzhskiy zaseki»: results of research in the southern section and adjacent territories. Proceedings of the state natural reserve «Kaluzhskiy zaseki». Iss. 2. Pod obshch. red. S. K. Alekseeva. Kaluga: *izd-vo «Eydos»*, 2012. pp. 29-73.
23. Arefyev S. P. On system approach to protection of rare plants. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*. 2008;(8):3-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11730088>
24. Petrov A. N. Cordyceps military – *Cordyceps militaris* (Fr.) Link. Red Book of the Republic of Buryatia. Rare and endangered species of plants and fungi. *Pod red. T. G. Boykova*. Novosibirsk: *Nauka*, 2002. pp. 321.
25. Pavlovskiy E. N. Fundamentals of the doctrine of the natural foci of transmissible human diseases. *Zhurnal obshchey biologii*. 1946;7(1):3-33. (In Russ.).
26. Blackwell M., Vega F. E. Lives within lives: Hidden fungal biodiversity and the importance of conservation. *Fungal Ecology*. 2018;35:127-134. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2018.05.011>
27. Novozhilov Yu. K., Malysheva V. F., Malysheva E. F., Shchepin O. N., Azarov D. V., Zmitrovich I. V., Volobuev S. V., Kovalenko A. E. Hidden diversity of fungi and fungus-like protists in natural ecosystems: problems and prospects. *Biosfera*. 2016;8(2):202-215. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26620021>

Сведения об авторе

✉ Широких Александр Анатольевич, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7808-0376>

Information about the author

✉ Alexander A. Shirokikh, DSc in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7808-0376>

✉ – Для контактов / Corresponding author