КАК ПРЕДОТВРАТИТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЕ БОЛЕЗНИ БЕЛОГО НОСА У ЛЕТУЧИХ МЫШЕЙ РУКОВОДСТВО ПО ОТВЕТСТВЕННОЙ СПЕЛЕОЛОГИИ В ЕВРОПЕ И АЗИИ

Авторы: Виолета Желязкова, Юре Тикар, Станимира Делева, Ния Тошкова, Себастиян Пюшмай

Переводчик: Веселка Желязкова

Что такое болезнь белого носа?

Болезнь белого носа (ББН, ранее известная как синдром белого носа) — самое смертоносное известное заболевание у зимующих видов летучих мышей, вызываемое белоносым грибком. На данный момент ББН унесла жизни нескольких миллионов животных, а колонии наиболее пострадавших видов летучих мышей в Северной Америке сократились более чем на 90%. Поскольку летучие мыши могут контролировать популяции вредных насекомых, их сокращение оказывает серьёзное влияние на дикие и сельскохозяйственные экосистемы, а также на здоровье человека. Кроме того, эти летающие млекопитающие являются «зонтичным видом» в пещерных экосистемах, способствуя круговороту питательных веществ и поддерживая биологическое разнообразие, а также некоторые пещерные образования. Поэтому сохранение летучих мышей часто означает сохранение самих пещер и всех их обитателей.

Как распознать ББН?

ББН поражает только летучих мышей во время гибернации, когда их температура тела низкая, и не может поражать людей или других животных. Болезнь проявляется в виде белого, похожего на вату грибкового налёта на ушах, мордочке или крыльях летучих мышей, обычно в конце зимы (Фигура 1). За пределами Северной Америки не известно грибов, которые выглядели бы подобным образом при наблюдении невооружённым глазом, поэтому визуальное обследование живых летучих мышей часто бывает достаточным для постановки диагноза ББН. Как правило, чем больше видимого грибкового налёта, тем тяжелее инфекция. ББН не следует путать с ростом сапрофитных грибов, питающихся мёртвой органической материей и покрывающих всё тело погибших летучих мышей или других животных, а также с любыми органическими

остатками в пещерах (Фигура 2).



Фигура 1: Большой/остроухий ночник (*Myotis myotis/blythii*), заражённый белоносым грибком (*Pd*) в пещере Балабанова дупка, Западная Болгария. Летучие мыши этого рода являются наиболее частыми хозяевами белоносого грибка, хотя и другие роды также могут быть поражены. Фото: Ивайло Борисов



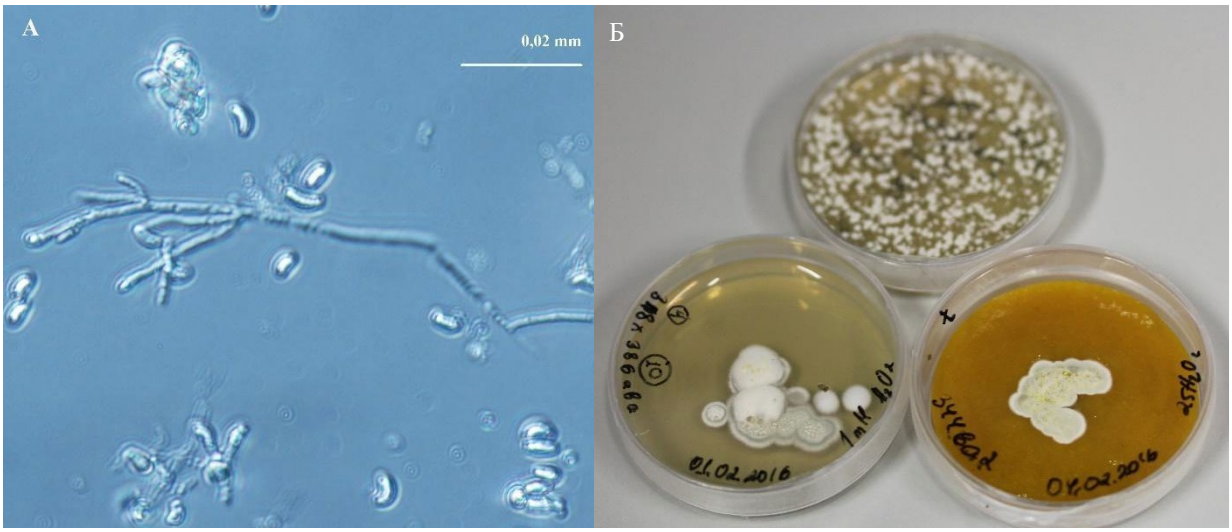
Фигура 2: Мёртвая летучая мышь, покрытая сапрофитным грибком. Фото: Ния

Тошкова

Кто является возбудителем ББН?

ББН вызывается пещерным холодолюбивым грибком *Pseudogymnoascus destructans*, также называемым *Pd* или белоносым грибком (Фигура 3). На самом деле это комплекс из двух видов, но поскольку второй был открыт совсем недавно, ему пока не присвоено отдельное научное название, и вместо этого используются обозначения *Pd1* и *Pd2*. Оба вида встречаются в Европе и Азии, но не вызывают массовой смертности у летучих мышей. Причина в том, что грибы присутствуют на этих континентах тысячи лет, что дало летучим мышам эволюционное время для адаптации к инфекции.

Напротив, *Pd1* был введён в Северную Америку относительно недавно (около 20–30 лет назад), где он столкнулся с местными видами летучих мышей, не имевшими предыдущего эволюционного опыта с этим патогеном. Это явление, при котором патогены попадают в новые регионы, где ранее не существовали, и вызывают эпидемии, называется «патогенным загрязнением» (pathogen pollution) и часто провоцируется деятельностью человека.



Фигура 3: А) *Pd* под световым микроскопом. Структуры, напоминающие бананы, представляют собой споры, которыми грибок размножается бесполым способом. Фото: Благой Узунов; Б) *Pd* на чашках с питательной средой. Фото: Виолета Желязкова

Почему важно поведение спелеологов?

Споры *Pd*, невидимые невооружённым глазом (их размер около 1/140 миллиметра), обильно присутствуют в пещерном субстрате (например, в глине на полу или на стенах

пещер), вместе со сотнями других видов микроорганизмов — грибов, бактерий и т. д. Все они легко могут прилипать к пещерному снаряжению (самостоятельно или вместе с глиной), что подтверждается нашими экспериментами, в ходе которых мы выделили живые споры *Pd* с комбинезонов, использованных в пещерах. Мы также показали, что *Pd* способен выживать на том же снаряжении не менее 25 дней при комнатной температуре. Всё это означает, что спелеологи могут непреднамеренно перенести *Pd1* или *Pd2* из одной пещеры в другую. Согласно нашим генетическим данным, именно это произошло с *Pd1*, который был незаметно перенесён из района Подолья в Западной Украине — родины самых протяжённых гипсовых пещер в мире (Фигура 4), — в пещеру в штате Нью-Йорк, США. С другой стороны, несмотря на то что некоторые виды летучих мышей мигрируют на большие расстояния, ряд исследований показывает, что эти животные не являются эффективными переносчиками *Pd* на дальние дистанции от своих убежищ.



Фигура 4: Пещеры Подолья известны не только своими огромными размерами, но и красивыми гипсовыми образованиями, которые привлекают большое количество международных посетителей. Фото: Виктор Лягушкин

В чём заключается решение?

К счастью, хорошее планирование экспедиций и соблюдение полевой гигиены могут

значительно снизить вероятность распространения *Pd*. Ниже приведены конкретные гигиенические рекомендации для спелеологов Европы и Азии, составленные с учётом расстояний между посещаемыми последовательно пещерами.

- **Расстояния менее 100 км или экспедиции в пределах одного и того же пещерного района — низкий уровень природоохранного риска**

На таких расстояниях летучие мыши также могут переносить *Pd*. Поэтому удаление грязи с экипировки водой и щёткой, как это традиционно практикуется, является достаточной гигиенической мерой (Фигура 5). Такое очищение не уничтожит и не удалит все грибковые споры, но уменьшит их количество до уровней, близких к тем, что распространяются естественным путём.



Фигура 5: Большинство спелеологов в Европе и Азии очищают своё снаряжение в реке — практика, приемлемая в пределах одного и того же пещерного района. Фото: Милена Ненова

- **Расстояния от 100 до 1000 км или поездки между различными пещерными районами в пределах одного и того же континента —**

умеренный уровень природоохранного риска

На таких расстояниях люди являются более эффективными переносчиками *Pd*, чем летучие мыши. Несмотря на то что *Pd1* и *Pd2* встречаются повсеместно в Европе и в больших частях Азии, смешение различных штаммов грибка может привести к появлению более опасных вариантов патогена. Подобное уже происходило с хитридиевым грибком, вызывающим массовую смертность земноводных по всему миру. Поэтому мы рекомендуем особенно тщательно очищать пещерное снаряжение вручную или стирать его в стиральной машине после удаления грязи, желательно с использованием моющего средства (Фигура 6). Согласно нашим лабораторным экспериментам, тщательная чистка водой удаляет около 95% спор *Pd*, первоначально находившихся на кусках кордуры, а машинная стирка с моющим средством удаляет более 99,5% спор. Для кусков статического каната чистка водой удаляет примерно 85% *Pd*, а машинная стирка с использованием специализированного средства, безопасного для такого снаряжения, может удалить до 98% спор. Если вы посещаете другой спелеологический клуб в другом пещерном районе, особенно если он находится в другой стране, лучше использовать их общее снаряжение.



Фигура 6: Стирка в стиральной машине на самом деле безопасна для пещерного снаряжения. Фото: Петър Велков

- **Расстояния более 1000 км в пределах одного и того же континента — высокий уровень природоохранного риска**

На таких расстояниях риски, связанные с генетическим обменом между различными штаммами *Pd*, уже являются значительными, поэтому необходимо удалить или уничтожить все грибковые споры с пещерного снаряжения. Наиболее надёжной, экспериментально подтверждённой практикой является **стирка при температуре выше 55 °C в течение более чем 5 минут** (доказано, что при этом *Pd* погибает). Снаряжение, которое нельзя стирать, например фотоаппарат, можно продезинфицировать спиртом или другим подобным средством — разумеется, после полного удаления грязи. **Всё оборудование, которое нельзя ни стирать при высокой температуре, ни дезинфицировать**, например верёвки, следует оставить и использовать местное снаряжение.(Фигура 7). При выезде с места экспедиции убедитесь, что всё использованное снаряжение помещено в чистые сумки, чтобы избежать загрязнения чистого оборудования или автомобиля. Полезно также очистить сам автомобиль сразу после экспедиции – это поможет предотвратить распространение не только *Pd*, но и других микроорганизмов, обитающих в почве. Для получения более подробных протоколов дезинфекции и актуальных списков средств, протестированных против *Pd*, вы можете посетить:

https://www.whitenosesyndrome.org/static-page/decontamination-information.



Фигура 7: Спелеологи уже привыкли делиться своим снаряжением в рамках собственного клуба, поэтому не должно быть трудно перенести такую практику и на международный уровень. Фото: Скот Трескот

- **Межконтинентальные поездки — очень высокий уровень природоохранного риска**

Перенос *Pd1* или *Pd2* в новые места, где они в настоящее время не встречаются, может вызвать вторую волну смертельных эпидемий ББН, которые впоследствии будет невозможно остановить. Поэтому любое оборудование, перевозимое между континентами, должно быть полностью (на 100%) продезинфицировано, а ваша обувь и одежда — абсолютно чистыми. **Не берите с собой ничего, что может содержать даже минимальные следы пещерного субстрата.**

- **Меры, принятые на других континентах**

При посещении пещер в Северной Америке необходимо соблюдать местные рекомендации, доступные по следующей ссылке: https://www.whitenosesyndrome.org/static-page/decontamination-information.

В отличие от настоящих, эти рекомендации основаны на наличии или отсутствии *Pd*, а не на расстоянии между пещерами. Кратко говоря, в районах, где летучие мыши массово погибают из-за ББН, каждое посещение пещеры считается высокорисковым с точки зрения охраны природы, и снаряжение дезинфицируется после каждого визита в пещеру. Перенос оборудования из районов, более сильно загрязнённых *Pd*, в менее заражённые районы представляет особенно высокий риск и должен быть полностью исключён. Регулярно обновляемую карту соответствующих районов, а также список местных дезинфицирующих средств, протестированных против *Pd*, можно найти на указанной выше странице. Наилучшей гигиенической практикой по-прежнему остаётся стирка при температуре выше 55°C в течение более чем 5 минут. Некоторые люди, главным образом учёные, используют одноразовые пещерные комбинезоны, но они редко бывают практичны для серьёзных спелеологических экспедиций (Фигура 8). **Ни в коем случае не перевозите пещерное оборудование с континента и на континент.**

В Австралии и Южной Америке *Pd* пока не обнаружен. Однако прогнозные исследования показывают, что гибель летучих мышей вследствие ББН вероятна, поскольку многие пещеры предлагают подходящие условия для *Pd*, а местные виды летучих мышей не адаптированы к этому грибку. Поэтому **пещерное оборудование не должно перевозиться с других континентов.** В пределах континентов можно соблюдать описанные выше гигиенические правила, основанные на расстоянии, чтобы предотвратить патогенное загрязнение другими микробными видами. Более подробную информацию можно найти здесь: https://wildlifehealthaustralia.com.au (для Австралия).



Фигура 8: Одноразовые костюмы могут полностью защитить исследователей и летучих мышей от различных микробов, но они непригодны для серьёзных пещерных экспедиций. Фото: Борис Петров

Чем ещё мы можем помочь?

Настоящие гигиенические рекомендации основаны на лучших научных данных, доступных на данный момент, однако всегда есть место для улучшений. Не стесняйтесь делиться идеями по очистке пещерного снаряжения, которые были бы одновременно простыми в применении и щадящими для окружающей среды.

После посещения пещеры, где *Pd* присутствует в особенно больших количествах, или перед входом в недавно открытую пещеру, пещеру без естественного входа или такую, которая особенно уязвима по другим причинам, разумно перейти к более строгой гигиенической категории.

Не забывайте узнавать о местном законодательстве и ограничениях на доступ в пещеры. В случае пещер, где обитают большие колонии летучих мышей, избегайте посещений в развлекательных целях во время их размножительного периода или гибернации.

И наконец — биологов, изучающих летучих мышей, немного, но спелеологов много, и ваши наблюдения бесценны. Вы можете связаться с местными специалистами по летучим мышам или с нашей командой, чтобы сообщить о числе животных, а также о

любых признаках заболевания или необычной смертности. При подаче сообщения укажите название пещеры, её точное местоположение, дату, количество живых и мёртвых летучих мышей, а также приложите фотографии. Отметьте любое необычное поведение, видимые признаки ББН или недавнюю человеческую активность. Не забудьте добавить контакт для обратной связи.

Благодарности

Благодарим всем спелеологам, которые внесли свой вклад в подготовку настоящих рекомендаций своими советами или участием в нашем социологическом опросе о гигиенических привычках среди спелеологического сообщества.

Библиография

Cheng TL, Reichard JD, Coleman JTH, Weller TJ, Thogmartin WE, Reichert BE, Bennett AB, Broders HG, Campbell J, Etchison K, Feller DJ, Geboy R, Hemberger T, Herzog C, Hicks AC, Houghton S, Humber J, Kath JA, King RA, Loeb SC, Massé A, Morris KM, Niederriter H, Nordquist G, Perry RW, Reynolds RJ, Sasse DB, Scafini MR, Stark RC, Stihler CW, Thomas SC, Turner GG, Webb S, Westrich BJ, Frick WF (2021) The scope and severity of white-nose syndrome on hibernating bats in North America. Conservation Biology 35: 1586–1597. https://doi.org/10.1111/cobi.13739

Fischer NM, Dumville I, Nabholz B, Zhelyazkova V, Stecker RM, Blomberg AS, Dool SE, Fritze M, Tilak MK, Bashta AT, Chenal C, Fiston-Lavier AS, Puechmaille SJ (2025) Two distinct host-specialized fungal species cause white-nose disease in bats. Nature. https://doi.org/10.1038/s41586-025-09060-5

Fritze M, Puechmaille SJ, Fickel J, Czirják GA, Voigt CC (2021) A Rapid, in-Situ Minimally-Invasive Technique to Assess Infections with Pseudogymnoascus destructans in Bats. Acta Chiropterologica 23: 259–270. https://doi.org/10.3161/15081109ACC2021.23.1.022

Gargas A, Trest MT, Christensen M, Volk TJ, Blehert DS (2009) Geomyces destructans sp. nov. associated with bat white-nose syndrome. Mycotaxon 108: 147–154. https://doi.org/10.5248/108.147

Leopardi S, Blake D, Puechmaille SJ (2015) White-nose syndrome fungus introduced from Europe to North America. Current Biology 25: R217–R219. https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.01.047

Lorch JM, Meteyer CU, Behr MJ, Boyles JG, Cryan PM, Hicks AC, Ballmann AE, Coleman JTH, Redell DN, Reeder DM, Blehert DS (2011) destructans causes white-nose syndrome. Nature 480: 376–378. https://doi.org/10.1038/nature10590

Puechmaille SJ, Wibbelt G, Korn V, Fuller H, Forget F, Mühldorfer K, Kurth A, Bogdanowicz W, Borel C, Bosch T, Cherezy T, Drebet M, Görföl T, Haarsma AJ, Herhaus F, Hallart G, Hammer M, Jungmann C, Le Bris Y, Lutsar L, Masing M, Mulkens B, Passior K, Starrach M, Wojtaszewski A, Zöphel U, Teeling EC (2011) Pan-European distribution of white-nose syndrome fungus (Geomyces destructans) not associated with mass mortality. PLoS ONE 6. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019167

Zhelyazkova V, Hubancheva A, Radoslavov G, Toshkova N, Puechmaille SJ (2020) Did you wash your caving suit? Cavers' role in the potential spread of pseudogymnoascus destructans, the causative agent of white-nose disease. International Journal of Speleology 49: 145–155. https://doi.org/10.5038/1827-806X.49.2.2326

Zhelyazkova V, Tičar J, Deleva S, Ivanov A, Toshkova N, Puechmaille S (2025) Cavers' knowledge of biosecurity and its influence on the prevention of white-nose disease. Subterranean Biology 52: 45–68. https://doi.org/10.3897/subtbiol.52.140425

Zukal J, Bandouchova H, Brichta J, Cmokova A, Jaron KS, Kolarik M, Kovacova V, Kubátová A, Nováková A, Orlov O, Pikula J, Presetnik P, Šuba J, Zahradníková Jr. A, Martínková N (2016) White-nose syndrome without borders: Pseudogymnoascus destructans infection tolerated in Europe and Palearctic Asia but not in North America. Scientific Reports 6: 19829. https://doi.org/10.1038/srep19829