

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Экология

УДК 579:576.8:636.036.5

DOI 10.31242/2618-9712-2021-26-3-75–85

Особенности биозаражения бивней мамонта при длительном хранении в различных условиях

Т.А. Исакова^{1,*}, Е.С. Петухова¹, В.В. Павлова¹, Л.А. Ерофеевская²

¹ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», Якутск, Россия

²Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия

*tatyana_issakova@mail.ru

Аннотация. Показано, что на сохранение свойств и качества бивней мамонта после добычи до художественной обработки значительное влияние оказывают условия хранения. Одним из наиболее значимых факторов сохранения сортности сырья является предотвращение возможности его биозаражения микроорганизмами окружающей среды, которые используют органические компоненты бивня в качестве источника питания и энергии, что приводит к преждевременному разрушению костного материала. Представлены результаты первичного скрининга микроорганизмов-возбудителей биозаражения образцов из бивней мамонта после длительного хранения в различных условиях. Выделены спорообразующие и мицелийобразующие группы микроорганизмов, установлена связь выделенной микрофлоры с объектами внешней среды (почва, атмосферный воздух, воздух закрытых помещений, холодильная установка). Полученные результаты будут служить основой для разработки составов для профилактики биоповреждений бивней мамонта при их длительном хранении.

Ключевые слова: бивень мамонта, биозаражение, грибки, бактерии, сохранение ископаемой мамонтовой кости.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № АААА-А20-120011490003-9.

Введение

На сохранность бивней мамонта (БМ) после извлечения из вмещающих пород большое влияние оказывает множество факторов, таких как длительность воздействия прямого солнечного излучения и ветра, температура и влажность окружающей среды либо помещения, в котором они хранятся, способ упаковывания, длительность хранения в заданных условиях и пр. [1, 2]. В молодежной лаборатории технологий добычи и переработки сырья мамонтовой фауны ФГБУН ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН» ведутся исследования особенностей деградации костного сырья в различных условиях с целью разработки наиболее эффективных ресурсосберегающих методик обработки и хранения БМ и других палеонтологических костных остатков. Извест-

но [3], что, помимо приведенных выше факторов, существенное воздействие на сохранность ископаемой мамонтовой кости (ИМК) оказывают микроорганизмы окружающей среды. В зависимости от условий и среды залегания (мерзлые породы, дно водоемов, открытые участки и т. д.) и хранения ИМК может поражаться различными видами бактерий и грибов. В процессе жизнедеятельности бактерии и микроскопические грибки используют органические компоненты бивня в качестве источника питания и энергии. При этом могут образовываться различные продукты биохимических реакций, такие как аммиак, сероводород, органические кислоты и др., которые в свою очередь способствуют изменению свойств и разрушению БМ [4–9]. Поэтому для выявления микроорганизмов-воз-

будителей, которые способны поражать ИМК в процессе хранения, в том числе в условиях воздействия территориальных климатических факторов Якутии, были проведены микробиологические исследования экспонированных в различных условиях образцов из БМ.

Материалы и методы исследования

В качестве проб для лабораторных исследований служили смывы [10] с поверхностей образцов из БМ, экспонировавшихся в течение 4 месяцев в следующих условиях:

- на открытом испытательном полигоне, предназначенном для климатических испытаний различных материалов, обеспечивающий размещение образцов согласно ГОСТ 9.708-83; одна партия образцов экспонировалась в свободном состоянии, другая была обернута в пищевую пленку так, как обычно оборачивают БМ после добычи;
- в отапливаемом помещении (в закрытом коробе);
- в неотапливаемом помещении (ангар, расположенный вблизи испытательного полигона);
- в холодильной камере при температуре -9°C .

Для контроля микробиологических показателей согласно методикам, описанным в [11–14], также были отобраны пробы почвы полигона климатических испытаний в пяти различных точках (ПКИ 1-5), снежного покрова, атмосферного воздуха, воздуха закрытого помещения, воздуха холодильной установки, где хранились образцы. Пробы атмосферного воздуха отбирали на уровне 0,5 и 1,5 м от поверхности почвы методом седиментации. Отбор проб проводили дважды: до формирования снежного покрова (06.09.2020 г.) и после формирования снежного покрова (27.10.2020 г.).

Всего исследовано 8 смывов, 7 проб атмосферного воздуха, 1 проба воздуха закрытого помещения, 1 проба воздуха из холодильной камеры; 5 проб почвы.

Исследование отобранных проб проводили с помощью стандартных методов: выделение в культуру, идентификация и исследование чистых культур грибов, микроскопия. В работе был использован лабораторный поляризационный микроскоп Axiolab Pol (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Германия) и биологический микроскоп Biomed-3 (Россия). Основными параметрами идентификации и оценки обнаруженных микроорганизмов

являлись: интегральные показатели численности биомассы; индексы разнообразия сообществ; культурально-морфологические признаки колоний; биохимические характеристики выделенных культур. Идентификацию бактерий и микроскопических грибов осуществляли по известным определителям [15–20]. Влажность почвы определяли по общепринятым в почвенной микробиологии методикам [21]. Кислотность почв (pH) определяли согласно ГОСТ 26423-85.

Результаты и обсуждение

В качестве факторов биозаражения образцов БМ при их длительном хранении в условиях открытого полигона и в закрытых помещениях исследованы образцы объектов окружающей среды (почва, воздух закрытых помещений, атмосферный воздух) на микробную контаминацию.

Анализ структуры почвенных микробных сообществ показал, что в почвах открытого полигона климатических испытаний, где экспонировались образцы из БМ, доминируют бактериальные формы над грибными (рис. 1), что согласуется с результатами исследований авторов [1, 22, 23], где также было установлено преобладание бактерий над микроскопическими грибами в почвах северного мегаполиса.

Доминирование бактериальных форм микроорганизмов над грибными, вероятно, обусловлено условиями окружающей среды, поскольку почвенные грибы предпочитают теплые, сырые субстраты с влажностью более 70 % и pH около 3,0–5,5 условных единиц (усл. ед.), в то время как исследованные почвенные образцы характеризовались слабощелочной реакцией среды и недостаточной увлажненностью (рис. 2, 3).

Средняя температура воздуха в Якутске по данным сайта gismeteo.ru, в течение вегетационного периода (май–сентябрь), когда почвенная микрофлора наиболее интенсивно принимает участие в природном круговороте, в 2020 г. составила $19,9^{\circ}\text{C}$, что является пограничным минимумом для развития мезофильных почвенных микроорганизмов и пограничным максимумом для криофильной микрофлоры.

В конце вегетационного сезона, когда наблюдается максимальная численность микроорганизмов, в почвах доминировали спорообразующие бактерии родов *Bacillus* и *Clostridium*; неферментирующие грамотрицательные бактерии рода *Pseudomonas*; энтеробактерии рода *Proteus*. Из микроорганизмов актинобактериальной линии доминировали *Rhodococcus*, *Streptomyces*,

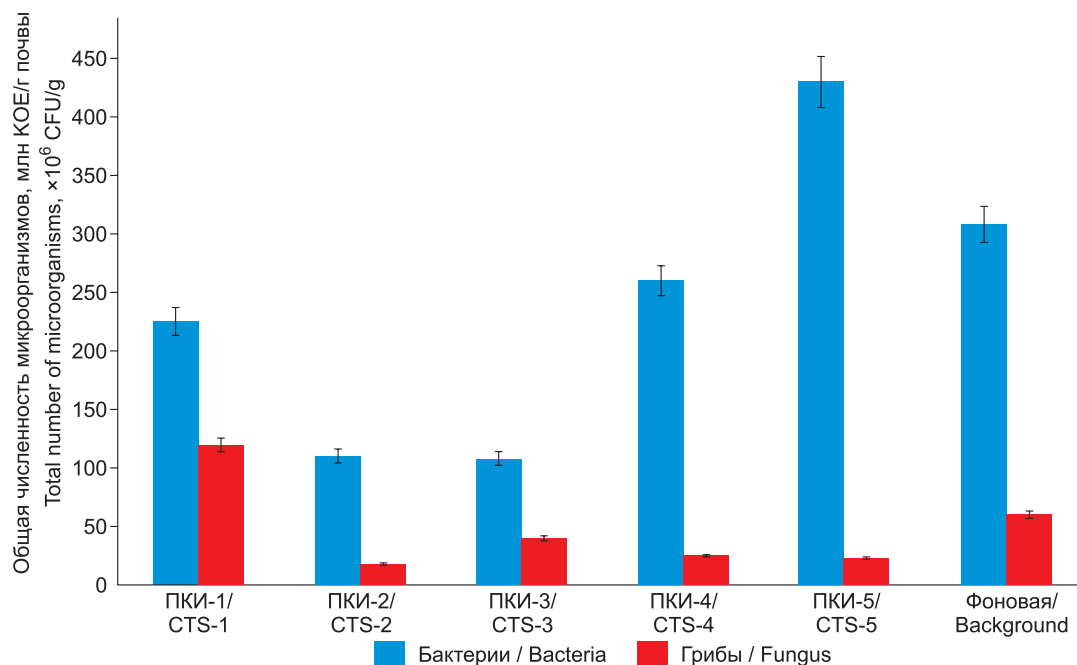


Рис. 1. Общая численность основных групп почвенных микроорганизмов в почвах полигона климатических испытаний (Якутск, 2020).

Fig. 1. The total number of the main groups of soil microorganisms in the soils of the climatic test site (Yakutsk, 2020).

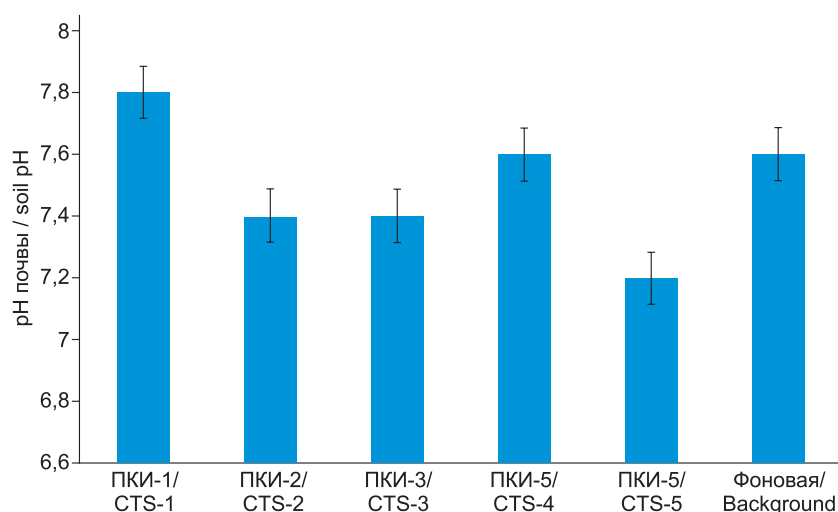


Рис. 2. Показатели pH почвенной среды территории полигона климатических испытаний, г. Якутск, ул. Автоторожная, д. 20.

Fig. 2. pH indicators of the soil environment of the climatic test site, Yakutsk, 20, St. Avtodorozhnaya.

Nocardia. В пейзаже мицелий образующих микроскопических грибов преобладали *Penicillium*, *Fuzarium*, *Aspergillus*, *Mucor* и *Ulokladium*. Последние представляют наибольший интерес, поскольку чаще всего являются возбудителями биопоражений различных материалов [24].

Таким образом, биологическая активность почв полигона климатических испытаний в го-

роде Якутске снижена, а наличие в почвенном субстрате патогенных и условно-патогенных видов плесневых грибов может являться причиной контаминации атмосферного воздуха и материалов, контактирующих с почвой и атмосферным воздухом грибными спорами, которые при благоприятных условиях могут прорасти и вызывать механические и биологические поврежде-

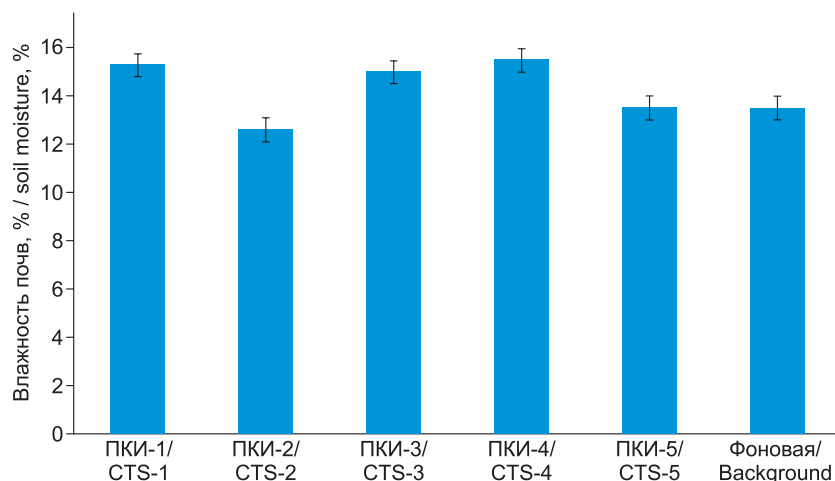


Рис. 3. Показатель влажности почв территории полигона климатических испытаний, г. Якутск, ул. Автоторожная, д. 20.

Fig. 3. Soil moisture indicator in the territory of the climatic test site, Yakutsk, 20, St. Avtodorozhnaya.

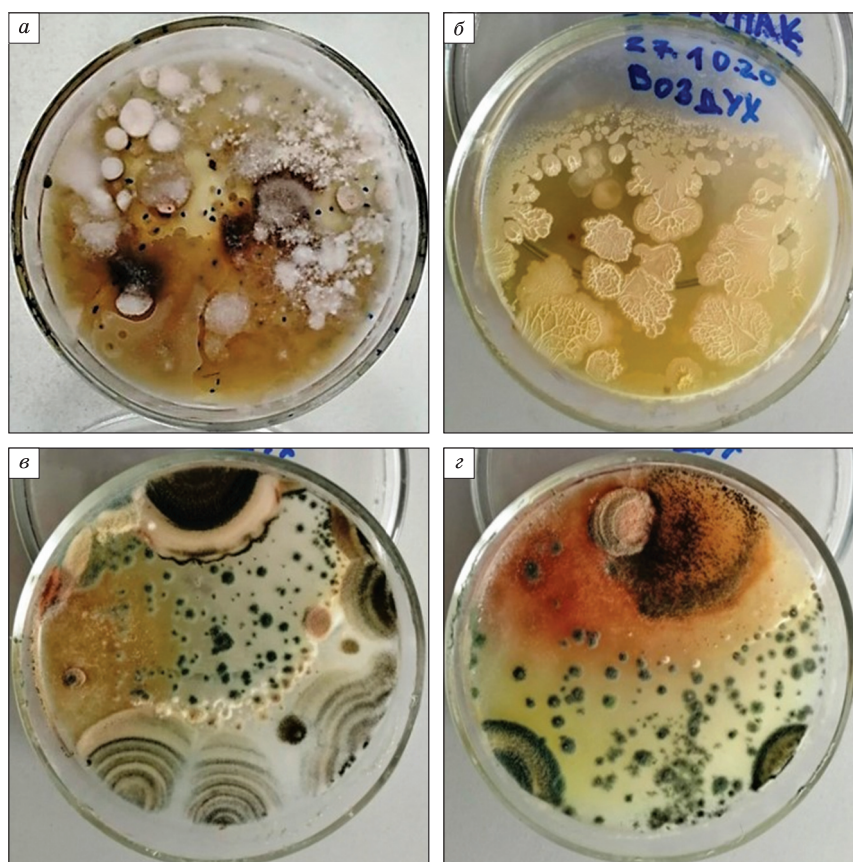


Рис. 4. Результаты микробиологических исследований внешней среды:

a – плесневые грибы, выделенные из почвенного образца; *б* – спорообразующие бактерии рода *Bacillus*, выделенные из пробы атмосферного воздуха, который был взят после наступления холодов; *в* – плесневые грибы, выделенные из холодильной камеры; *г* – плесневые грибы, выделенные из воздуха помещения, где хранились образцы бивней.

Fig. 4. Results of microbiological studies of the external environment:

a – molds isolated from a soil sample; *б* – spore-forming bacteria of the genus *Bacillus*, isolated from a sample of atmospheric air, which was taken after the onset of cold weather; *в* – molds isolated from the refrigerating chamber; *г* – molds isolated from the air of the room where the tusk samples were stored.

ния экспериментальных образцов и материалов, экспонируемых на открытом полигоне.

Анализ результатов микробиологического исследования микрофлоры атмосферного воздуха показал, что в приземном слое воздуха на территории полигона климатических испытаний в конце вегетационного периода циркулировали плесневые грибы родов: *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladosporium*, *Ulokladium*, *Aspergillus*, и бактерии рода *Bacillus*. С наступлением холодов видовое разнообразие микрофлоры атмосферного воздуха резко снизилось. Из проб атмосферного воздуха были выделены исключительно спорообразующие бактерии рода *Bacillus*, что свидетельствует о способности данной группы бактерий выдерживать экстремально низкие температуры. В воздухе закрытого помещения и холодильной установки, где хранились образцы бивней мамонта, обнаружены одни и те же виды грибов родов *Penicillium* и *Aspergillus*.

Таким образом, по результатам микробиологических исследований можно сделать вывод, что атмосферный воздух, воздух закрытого помещения и воздух холодильной камеры содержат споры различных видов плесневых грибов, и это также может стать причиной биозаражения образцов бивней мамонта при длительном их хранении в различных условиях (на открытом воздухе, в помещении, в холодильной установке).

В ходе микробиологических исследований смывов с образцов из БМ установлено, что все исследованные образцы в той или иной степени контаминированы плесневыми грибами и спорообразующими бактериями. По культурально-морфологическим и физико-биохимическим признакам выделенные плесневые грибы принадлежат родам: *Aspergillus*, *Mucor*, *Acremonium*, *Penicillium*, в то время как выделенные культуры бактерий отнесены к одному роду *Bacillus*. Основные дифференциально-диагностические характеристики отдельных культур микроорганизмов, выделенных в наибольшей численности из смывов с поверхности образцов из БМ, представлены в табл. 1.

На рис. 5 представлен пейзаж микроорганизмов, выделенных из смывов, отобранных с поверхностей опытных образцов из БМ. Показано, что на родовой состав и общую численность микрофлоры, контаминирующей образцы, существенное влияние оказывают условия хранения. Наимень-

шей численностью микроорганизмов, выделенных с одинаковой площади поверхности исследуемых объектов, характеризуются образцы из БМ, хранившиеся в отопляемом (см. рис. 5, а) и не отопляемом (см. рис. 5, в) помещениях, а также в холодильной камере (см. рис. 5, б). Наибольшее количество микроорганизмов выявлено после хранения образцов на открытом испытательном полигоне (см. рис. 5, д), а также образцов, экспонировавшихся на полигоне и обернутых в пленку (см. рис. 5, е). Вероятно, полученный результат обусловлен тем, что качественный и численный состав микроорганизмов существенно зависит от состояния воздуха в выбранных условиях экспонирования. Так, оборачивание образцов в пленку приводит к парниковому эффекту с повышенной влажностью и более высокой температурой под пленкой, что вызывает более интенсивное размножение микроорганизмов.

Изученные свойства и краткая характеристика выделенных микроорганизмов представлены ниже.

Бактерии рода *Bacillus* представляют собой грамположительные, спорообразующие, подвижные палочки, обладающие свойством криофильности и характеризующиеся сходством биохимических свойств: продуцируют фермент каталазу, редуцируют нитраты, гидролизуют крахмал, разжижают желатиназу, утилизируют цитрат и малонат натрия, ферментируют до газа глюкозу, лактозу, сахарозу и мальтозу, не обладают орнитиндекарбоксилазной и лизиндекарбоксилазной активностью. Растут при температуре +5...+40 °С.

Грибы рода *Aspergillus* относятся к высшим плесневым грибам. Колонии преимущественно белые, пушистые, в течение трех суток наблюдается образование спор темного цвета. Мицелий состоит из переплетающихся между собой бесцветных гиф диаметром 3–6 мкм. При поверхностном росте возвышаются органы плодоношения – конидиеносцы, представляющие собой утолщенные не септированные гифы длиной до 2000 мкм. Растут при температуре +5...+40 °С.

Penicillium – род сапрофитных плесневых грибов, толерантных к засолению, обладающих способностью разлагать органические вещества с образованием простых соединений углерода, которые поглощаются гифами и используются самими же грибами в качестве продуктов для своего питания. Имеют конидиеносцы с многочислен-

Таблица 1

Основные дифференциально-диагностические свойства доминантных микроорганизмов, выделенных из смывов с поверхности образцов из БМ

Table 1

Main differential diagnostic properties of dominant microorganisms isolated from mammoth tusk samples

Свойства / Properties	<i>Bacillus</i>	<i>Mucor</i>	<i>Acremonium</i>	<i>Aspergillus</i>
Окраска по Граму / Gram stain	+	+	+	+
Подвижность / Mobility	+	–	–	–
Наличие спор / Spores	+	+	+	+
Наличие капсул / Capsules	–	–	–	–
Рост аэробно / Growth aerobically	+	+	+	+
Рост анаэробно / Growth anaerobically	+	(+)	–	–
Продукция каталазы / Catalase production	+	–	–	–
Разжижение желатиназы / Liquefaction of gelatinase	+	–	–	–
Образование лецитиназы / Lecithinase formation	+	–	–	+
Редукция NO ₃ до NO ₂ / Reduction of NO ₃ to NO ₂	+	+	+	+
Гидролиз крахмала / Starch hydrolysis	+	–	–	–
Кислота из: / Acid from:				
глюкозы / glucose	+	–	+	+
лактозы / lactose	+	–	+	–
мальтозы / maltose	+	–	+	+
маннита / mannitol	–	–	+	–
ксилозы / xylose	–	–	+	–
глицерина / glycerin	+	–	+	–
арабинозы / arabinose	–	–	+	–
сорбита / sorbitol	–	+	+	–
сахарозы / sucrose	+	–	+	+
Реакция Фогеса–Проскауэра / Voges-Proskauer reaction	–	–	–	–
Утилизация цитрата натрия / Disposal of sodium citrate	+	–	+	–
Утилизация малоната натрия / Disposal of sodium malonate	+	–	+	–
β-галактозидаза / β-galactosidase	–	–	–	–
Образование уреазы / Urease formation	–	–	+	–
Образование индола / Indole formation	–	–	–	–
Сероводород / Hydrogen sulfide	–	–	–	–
Лизин / Lysine	–	–	–	–
Орнитин / Ornithine	–	–	–	–

Примечание: «+» тест положительный; «–» – тест отрицательный; (+) – тест слабоположительный.

Note: «+» test is positive; «–» test is negative; (+) – test is weakly positive.

ными разветвлениями размером 250–500 мкм. Конидии имеют эллиптическую форму, диаметром 2,5–3,5 мкм. Колонии выпуклые, складчатые от серого до кремового цвета. Растут при температуре +5...+37 °С. Обладают ксерофильностью, что позволяет им развиваться в сухих условиях.

Acremonium – широко распространенный в окружающей среде вид сапротрофов, обнаруживаемый в почве, растительных остатках и гниющих грибах. Колонии плоские с бархатистой текстурой розовато-кремового цвета, по морфологии клеток – гифы разделены на перегородки,

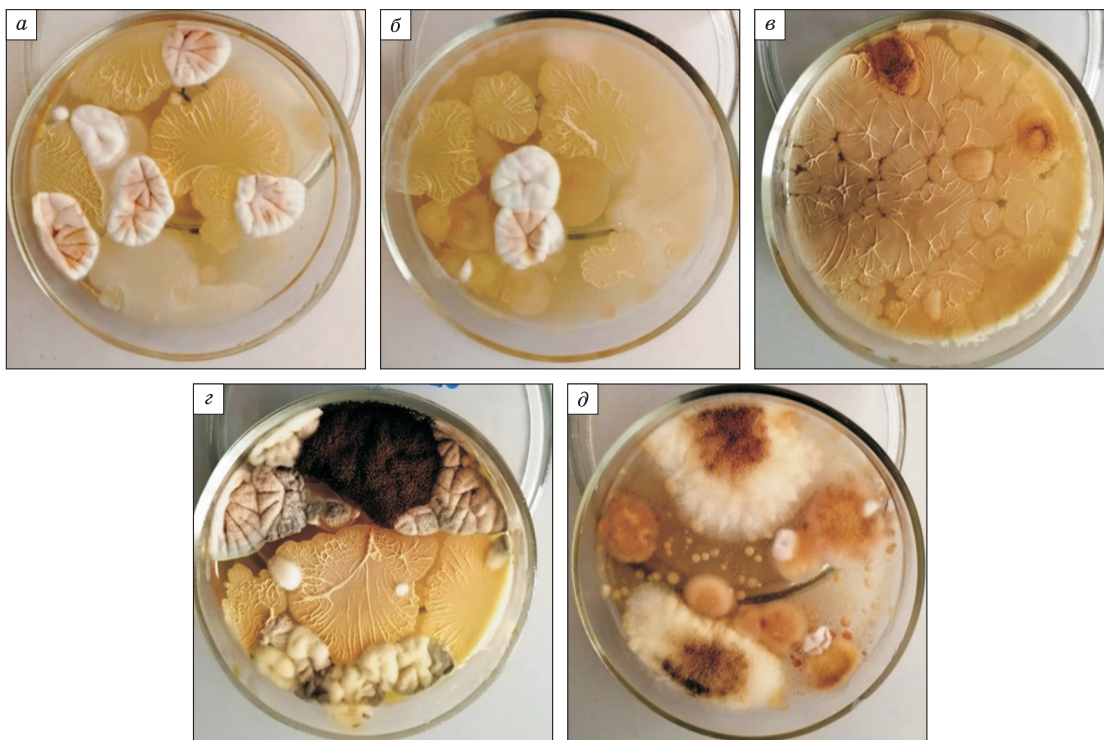


Рис. 5. Формирование колоний плесневых грибов родов *Ascremonium* (а, б), *Aspergillus* (в–д), *Penicillium* (г) и бактерий рода *Bacillus* (рис. а–д), выделенных из образцов бивня мамонта, экспонированных:

а – при комнатной температуре; б – при температуре -10°C ; в – в условиях неотапливаемого помещения; г – в пленке, на открытом воздухе; д – на открытом воздухе.

Fig. 5. Formation of colonies of mold fungi of the genus *Aspergillus* and *Penicillium* and bacteria of the genus *Bacillus* isolated from mammoth ivory specimens exposed:

а – at room temperature; б – at a temperature of -10°C ; в – in an unheated room; г – in a film, in the open air; д – in the open air.

конидии в виде скоплений. Ферментирует большинство изученных сахаров до кислоты и газа, утилизирует малонат и цитрат натрия, редуцирует нитраты, не гидролизует крахмал, не разжижает желатиназу, не обладают орнитиндекарбоксилазной и лизиндекарбоксилазной активностью. Растут при температуре $+5...+37^{\circ}\text{C}$.

Mucor – род низших плесневых грибов класса зигомицетов. Колонии белые пушистые, спорангии темные, со временем белые колонии плесени становятся темными. Гифы не разделены перегородками с множеством ядер. Редуцируют нитраты. Из других изученных биохимических тестов положительную реакцию культура дала только с сорбитом. Растет при температуре $+5...+37^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, в результате проведенных микробиологических исследований установлены особенности биозаражения образцов, полученных из БМ при экспонировании в различных условиях, имитирующих как условия окружающей среды (при извлечении из вмещающих по-

род), так и наиболее распространенные способы хранения – упакованные в пленку (данный способ хранения распространен непосредственно после добычи, при транспортировке и до продажи), в отапливаемом и неотапливаемом помещениях, в холодильной камере. Установлена связь выделенной микрофлоры с контаминацией объектов внешней среды (почва, атмосферный воздух, воздух закрытых помещений, холодильные установки) микроорганизмами, что может привести к биозаражению и повреждению образцов БМ при длительном хранении. Ассимилируя на образцах бивней, микроорганизмы выделяют экстраполимерные вещества, что позволяет им прочно укрепиться на поверхности образцов. При благоприятных условиях (температура, влажность, рН) грибной мицелий способен проникать в микротрещины или кракелюрные трещины, накапливать там свою биомассу, в результате чего может произойти расширение и разветвление трещин. Это важнейший этап биоповреждения

ископаемых костных тканей. Протекающие во время развития микроорганизмов процессы ранее не учитывались в результатах исследований. Информация о подобных исследованиях в настоящее время отсутствует в открытых литературных источниках. Можно предполагать, что данное исследование проведено впервые. Встает вопрос: имеем ли мы дело с древними ископаемыми формами или это биозаражение палеонтологических образцов современными бактериями и грибами, адсорбированными на бивнях с частицами пыли из атмосферного воздуха или из почвы, или вообще – это антропогенное загрязнение. Тем не менее, между существующими на поверхности бивней микроорганизмами уже возникают новые связи, в результате которых формируются взаимно функционирующие ассоциации (грибы–бактерии; бактерии–грибы), обеспечивающие выживание и адаптацию отдельных видов микроорганизмов. Функциональные взаимосвязи между микроорганизмами могут существенно влиять на процесс повреждения ценных образцов при их длительном хранении или при их экспозиции в музеях.

Считаем целесообразным проведение дальнейших микробиологических исследований, что позволит сформировать базу по микробиологическим агентам биоповреждений БМ при их длительном хранении в различных условиях окружающей среды. Результаты полученных микробиологических исследований будут в дальнейшем служить основой для разработки составов для профилактики биоповреждений БМ и других костных палеонтологических остатков при их длительном хранении и для инактивации патогенной микрофлоры, которая может храниться сотни лет в недрах земли, вызывая биозаражение костных тканей, которые длительное время находятся в погребенном состоянии. Кроме того, палеонтологическая микрофлора может быть потенциально опасной для добытчиков и переработчиков БМ, а также исследователей фауны позднего плейстоцена (мамонтовой фауны).

Заключение

Таким образом, в результате проведенных микробиологических исследований установлено, что наиболее вероятным способом биозаражения БМ является адсорбция микроорганизмов из окружающего воздуха. Однако проведение дальнейших микробиологических исследований све-

жедобытых БМ и на местах их залегания позволит сформировать базу по микробиологическим агентам биоповреждений ИМК ископаемыми формами микроорганизмов и выявить возможно новые, ранее не изученные виды.

Полученные результаты микробиологических исследований будут служить основой для разработки составов для профилактики биоповреждений БМ при их длительном хранении и для инактивации патогенной микрофлоры, что будет способствовать более длительному хранению ценного биогенного сырья.

Литература

1. Хлопачев Г.А., Гуля Е.Ю. Секреты древних косторезов Восточной Европы и Сибири: приемы обработки бивня мамонта и рога северного оленя в каменном веке (по археологическим и экспериментальным данным). СПб.: Наука, 2010. 144 с.
2. Керемясов Н.В. Методы и технологии поиска ископаемой мамонтовой кости // Прикладные исследования. Вестник СВФУ. Сер. Науки о Земле. 2018. № 2. С. 5–18.
3. Тарабукина Н.П., Неустроев М.П., Скрыбина М.П., Степанова А.М., Парникова С.И., Былгаева А.А., Неустроев М.М. Роль бактерий рода *Bacillus* в сохранении останков мамонтовой фауны в многолетних мерзлых грунтах // Проблемы региональной экологии. 2018. № 6. С. 21–23. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-16021
4. Albéric M., Gourrier A., Müller K., Zizake I., Wagermaier W., Fratzl P., Reiche I. Early diagenesis of elephant tusk in marine environment // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2014. Vol. 416. P. 120–132. DOI: 10.1016/j.palaeo.2014.09.006
5. Child A.M. Towards an understanding of the microbial decomposition of archaeological bone in the burial environment // *Journal of Archaeological Science*. 1995. Vol. 22. P. 165–174. DOI: 10.1006/jasc.1995.0018
6. Doménech-Carbó M.T., Buendía-Ortuño M., Pases-Oviedo T., Osete-Cortina L. Analytical study of waterlogged ivory from the Bajo de la campana site (Murcia, Spain) // *Microchemical Journal*. 2016. Vol. 126. P. 381–405. DOI: 10.1016/j.microc.2015.12.022
7. Jackes M., Sherburne R., Lubell D., Barker C., Wayman M. Destruction of the microstructure in archaeological bone: a case study from Portugal // *International Journal of Osteoarchaeology*. 2001. Vol. 11, No. 6. P. 387–399. DOI: 10.1002/oa.583
8. Marchiafava V., Bonucci E., Ascenzi A. Fungal osteoclasia: a model of dead bone resorption // *Calcified Tissue Research*. 1974. Vol. 14. P. 195–210. DOI: 10.1007/BF02060295

9. Godfrey I.M., Ghisalberti E.L., Beng E.W., Byrne L.T., Richardson G.W. The Analysis of Ivory from a Marine Environment // *Studies in Conservation*. 2002. Vol. 47, No. 1. P. 29–45. DOI: 10.1179/sic.2002.47.1.29
10. МУК 4.2.2942-11 Методы санитарно-бактериологических исследований объектов окружающей среды, воздуха и контроля стерильности в лечебных организациях.
11. ГОСТ 17.4.3.01-2017 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
12. ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализов.
13. ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков.
14. ГОСТ ИСО 14698-1-2005 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Контроль биозагрязнений. Часть 1. Общие принципы и методы.
15. Билай В.И., Курбацкая З.А. Определитель токсинообразующих микромицетов. Киев: Наукова думка, 1990. 236 с.
16. Благовещенская Е.Ю. Фитопатогенные микромицеты. Учебный определитель. М.: URSS, 2015. 240 с.
17. Виноградов Н.Н. Микромицеты почв. М.: Медиа, 1984. 265 с.
18. Лугаускас Л.Ю., Микутьскене Л.И., Шляужене Д.Ю. Каталог микромицетов – биодеструкторов полимерных материалов. М.: Наука, 1987. 344 с.
19. Хоулт Дж., Крига Н., Снита П., Стейли Дж., Уильямс С. Определитель бактерий Берджи в 2-х томах. Пер. с англ. М.: Мир, 1997. 368 с.
20. Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М.: Мир, 2001. 469 с.
21. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
22. Кычкин А.А., Ерофеевская Л.А., Кычкин А.К. Исследование выделенных микроорганизмов на полимерных композиционных материалах в условиях холодного климата // *Естественные и технические науки*. 2019. № 5 (131). С. 24–31. DOI: 10.25633/ETN.2019.05.11
23. Чернявский В.Ф., Ерофеевская Л.А., Антонов Н.А., Софронова О.Н., Никифоров О.И. О бактериях, выделенных из останков мамонтовой фауны и мерзлых толщ в Якутии // *Наука и техника в Якутии*. 2013. № 2 (25). С. 28–37.
24. Кычкин А.К., Ерофеевская Л.А., Кычкин А.А. Микробиологическая диагностика биоинвазий текстильных изделий, экспонируемых в природно-климатических условиях Якутии // *Инновации и инвестиции*. 2020. № 9. С. 144–148.

Поступила в редакцию 03.06.2021

Принята к публикации 23.07.2021

Об авторах

ИСАКОВА Татьяна Александровна, научный сотрудник, ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», 677000, Якутск, ул. Петровского, 2, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-3961-087X>, Researcher ID: A-9005-2019, tatyana_issakova@mail.ru;

ПЕТУХОВА Евгения Спартаковна, кандидат технических наук, и.о. зав. лаб., ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», 677000, Якутск, ул. Петровского, 2, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-2091-725X>, Researcher ID: A-5453-2014, evgspar@rambler.ru;

ПАВЛОВА Валерия Валериевна, младший научный сотрудник, ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», 677000, Якутск, ул. Петровского, 2, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5390-5186>, Researcher ID: G-1242-2017, pavvaleriya-55@mail.ru;

ЕРОФЕЕВСКАЯ Лариса Анатольевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория геохимии каустобиолитов, Институт проблем нефти и газа СО РАН, 677007, Якутск, ул. Автодорожная, 20, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-6864-7984>, Researcher ID: H-2086-2017, lora-07.65@mail.ru.

Информация для цитирования

Исакова Т.А., Петухова Е.С., Павлова В.В., Ерофеевская Л.А. Особенности биоинвазий бивней мамонта при длительном хранении в различных условиях // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2021, Т. 26, № 3. С. 75–85. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-3-75-85>

Features of biological contamination of mammoth tusks during long-term storage in various conditions

T.A. Isakova^{1,*}, E.S. Petukhova¹, V.V. Pavlova¹, L.A. Erofeevskaya²

¹FRC Yakut Scientific Centre SB RAS, Yakutsk, Russia

²Institute of Oil and Gas Problems, SB RAS, Yakutsk, Russia

*tatyana_issakova@mail.ru

Abstract. The storage conditions have a significant effect on the preservation of the properties and quality of mammoth tusk (MT) after extraction prior to artistic processing. One of the most significant factors in preserving the quality of the raw material is prevention of its biocontamination by environmental microorganisms. They use the organic components of the tusks as a source of nutrition and energy, leading to its early destruction. This paper describes the results of the primary screening of microorganisms-pathogens causing biocontamination of MT samples after long-term storage under various conditions. The spore-forming and mycelium-forming groups of microorganisms were identified. The connection of the detected microflora with the external environment (soil, atmospheric air, indoor air, refrigeration unit) was established. The results will serve as a basis for formulation development to prevent biological damage to mammoth tusk during long-term storage.

Keywords: mammoth tusk, biocontamination, fungi, bacteria, preservation of fossil mammoth tusk.

Acknowledgements. The research was carried out under the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (№ AAAA-A20-120011490003-9).

References

1. Hlopachev G.A., Giryа E.Yu. Sekrety drevnih kostorezov Vostochnoj Evropy i Sibiri: priyomy obrabotki bivnya mamonta i roga severnogo olenya v kamennom veke (po arheologicheskim i eksperimental'nym dannym). SPb.: Nauka, 2010. 144 p.
2. Keremyasov N.V. Metody i tekhnologii poiska iskopajemyj mamontovoj kosti // Prikladnye issledovaniya. Vestnik SVFU. Ser. Nauki o Zemle. 2018. No. 2. P. 5–18.
3. Tarabukina N.P., Neustroev M.P., Skryabina M.P., Stepanova A.M., Parnikova S.I., Bylgaeva A.A., Neustroev M.M. Rol' bakterij roda *Bacillus* v sohranении ostankov mamontovoj fauny v mnogoletnih merzlyh grunтах // Problemy regional'noj ekologii. 2018. No. 6. P. 21–23. DOI: 10.24411/1728-323X-2019-16021
4. Albéric M., Gourrier A., Müller K., Zizake I., Wagermaier W., Fratzl P., Reiche I. Early diagenesis of elephant tusk in marine environment // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2014. Vol. 416. P. 120–132. DOI: 10.1016/j.palaeo.2014.09.006
5. Child A.M. Towards an understanding of the microbial decomposition of archaeological bone in the burial environment // Journal of Archaeological Science. 1995. Vol. 22. P. 165–174. DOI: 10.1006/jasc.1995.0018
6. Doménech-Carbó M.T., Buendía-Ortuño M., Pasiés-Oviedo T., Osete-Cortina L. Analytical study of waterlogged ivory from the Bajo de la campana site (Murcia, Spain) // Microchemical Journal. 2016. Vol. 126. P. 381–405. DOI: 10.1016/j.microc.2015.12.022
7. Jackes M., Sherburne R., Lubell D., Barker C., Wayman M. Destruction of the microstructure in archaeological bone: a case study from Portugal // International Journal of Osteoarchaeology. 2001. Vol. 11, No. 6. P. 387–399. DOI: 10.1002/oa.583
8. Marchiafava V., Bonucci E., Ascenzi A. Fungal osteoclasia: a model of dead bone resorption // Calcified Tissue Research. 1974. Vol. 14. P. 195–210. DOI: 10.1007/BF02060295
9. Godfrey I.M., Ghisalberti E.L., Beng E.W., Byrne L.T., Richardson G.W. The Analysis of Ivory from a Marine Environment // Studies in Conservation. 2002. Vol. 47, No. 1. P. 29–45. DOI: 10.1179/sic.2002.47.1.29
10. MUK 4.2.2942-11 Metody sanitarno-bakteriologicheskikh issledovanij ob'ektov okruzhayushchej sredy, vozduha i kontrolya steril'nosti v lechebnyh organizacijah.
11. GOST 17.4.3.01-2017 Ohrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob.
12. GOST 17.4.4.02-2017 Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analizov.
13. GOST 17.1.5.05-85 Ohrana prirody. Gidrosfera. Obshchie trebovaniya k otboru prob poverhnostnyh i morskikh vod, l'da i atmosferynyh osadkov.

14. GOST ISO 14698-1-2005 Chistye pomeshcheniya i svyazannye s nimi kontroliruyemye sredy. Kontrol' biozaryaznenij. Chast' 1. Obshchie principy i metody.
15. Bilaj V.I., Kurbackaya Z.A. Opredelitel' toksinoobrazuyushchih mikromicetov. K.: Naukova dumka, 1990. 236 p.
16. Blagoveshchenskaya E.Yu. Fitopatogennye mikromicety. Uchebnyj opredelitel'. M.: URSS, 2015. 240 p.
17. Vinogradov N.N. Mikromicety pochv. M.: Media, 1984. 265 p.
18. Lugauskas L.Yu., Mikul'skene L.I., Shlyauzhene D.Yu. Katalog mikromicetov – biodestruktorov polimernyh materialov. M.: Nauka, 1987. 344 p.
19. Hoult Dzh., Kriga N., Snita P., Stejli Dzh., Uill'yamsa S. Opredelitel' bakterij Berdzhii v 2-h tomah. Per. s angl. M.: Mir, 1997. 368 p.
20. Satton D., Fotergill A., Rinal'di M. Opredelitel' patogennyh i uslovno patogennyh gribov. M.: Mir, 2001. 469 p.
21. GOST 17.4.4.02-84 Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza.
22. Kychkin A.A., Erofeevskaya L.A., Kychkin A.K. Issledovanie vydelennyh mikroorganizmov na polimernyh kompozicionnyh materialah v usloviyah holodnogo klimata // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2019. No. 5 (131). P. 24–31. DOI: 10.25633/ETN.2019.05.11
23. Chernyavskij V.F., Erofeevskaya L.A., Antonov N.A., Sofronova O.N., Nikiforov O.I. O bakteriyah, vydelennyh iz ostankov mamontovoj fauny i merzlyh tolshch v Yakutii // Nauka i tekhnika v Yakutii. 2013. No. 2 (25). P. 28–37.
24. Kychkin A.K., Erofeevskaya L.A., Kychkin A.A. Mikrobiologicheskaya diagnostika biozarazhenij tekstolitov, eksponiruemyyh v prirodno-klimaticheskikh usloviyah Yakutii // Innovacii i investicii. 2020. No. 9. P. 144–148.

About the authors

ISAKOVA, Tatyana Aleksandrovna, researcher, Federal Research Centre «The Yakut Scientific Centre SB RAS», 2 Petrovskogo st., Yakutsk 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-3961-087X>, Researcher ID: A-9005-2019, tatyana_issakova@mail.ru;

PETUKHOVA, Evgeniia Spartakovna, Cand. Sci. (Engineering), head Laboratory, Federal Research Centre «The Yakut Scientific Centre SB RAS», 2 Petrovskogo st., Yakutsk 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-2091-725X>, Researcher ID: A-5453-2014, evgspar@rambler.ru;

PAVLOVA, Valeriya Valerievna, junior researcher, Federal Research Centre «The Yakut Scientific Centre SB RAS», 2 Petrovskogo st., Yakutsk 677000, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5390-5186>, Researcher ID: G-1242-2017, pavvaleriya-55@mail.ru;

EROFEEVSKAYA, Larisa Anatolyevna, Cand. Sci. (Biology), senior researcher, Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, 20 Avtodorozhnaya st., Yakutsk 677007, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-6864-7984>, Researcher ID: H-2086-2017, lora-07.65@mail.ru.

Citation

Isakova T.A., Petukhova E.S., Pavlova V.V., Erofeevskaya L.A. Features of biological contamination of mammoth tusks during long-term storage in various conditions // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2021, Vol. 26, No. 3. pp. 75–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2021-26-3-75-85>