

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 574.589

МИЦЕЛИАЛЬНЫЕ ГРИБЫ В ГРУНТАХ МОРЕЙ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО И ЛАПТЕВЫХ

© 2024 г. М. Л. Георгиева^{a, b, *}, Е. Н. Биланенко^a, А. А. Георгиев^a, Е. Н. Бубнова^a

^aБиологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,
Москва, 119234, Россия

^bНаучно-исследовательский институт по изысканию новых антибиотиков имени Г.Ф. Гаузе,
Москва, 119021, Россия

*e-mail: i-marina@yandex.ru

Поступила в редакцию 16.10.2023 г.

После доработки 19.11.2023 г.

Принята к публикации 22.11.2023 г.

Впервые представлены сведения о численности и разнообразии культивируемых мицелиальных грибов, а также численности дрожжей в донных грунтах морей Лаптевых и Восточно-Сибирском. Из 35 проб грунта двух морей было выделено всего 63 изолята мицелиальных грибов, относящихся к 32 морфотипам. Большинство морфотипов отмечены единичными колониями в отдельных образцах, чаще других выделялись *Pseudeurotium zonatum*, *Pseudogymnoascus pannorum* и *Cordyceps farinosa*. Численность мицелиальных грибов была ниже (до 12 колоний на 1 г), чем у дрожжей (до 68 колоний на 1 г) в обоих морях. В море Лаптевых численность грибов была равномерно низкой на всех станциях, в Восточно-Сибирском море более высокие значения отмечены на приэстуарных участках.

Ключевые слова: морские грибы, дрожжи, морские донные осадки, арктические моря, Восточно-Сибирское море, море Лаптевых

DOI: 10.31857/S0026365624030121

Микобиота в различных областях мирового океана исследована крайне неравномерно. Хотя в арктических морях есть районы, где проводились неоднократные и разноплановые исследования грибов (например, в Баренцевом и Белом морях), в целом, арктическая морская микобиота до сих пор остается одной из наименее изученных (Rama et al., 2017). По большинству морей российского сектора Арктики сведения содержатся в единичных работах. Так, например, для Карского моря имеются сведения о разнообразии культивируемых грибов в донных осадках (Bubnova, 2010; Bubnova, Nikitin, 2017) и в воде (Кирцидели и соавт., 2012); для моря Лаптевых — в воде (Кирцидели и соавт., 2012); для Чукотского — в донных осадках (Bubnova, Kopovalova, 2019; Luo et al., 2020). Для Восточно-Сибирского моря до сих пор отсутствовали сведения о разнообразии мицелиальных грибов. Поэтому основной целью нашей работы было изучение численности и разнообразия культивируемых мицелиальных грибов и численности дрожжей в донных грунтах неисследованных ранее районов в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском.

Образцы грунтов отбирали в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском в 69 рейсе НИС “Академик

Мстислав Келдыш” (АМК69) в августе–октябре 2017 года (Flint et al., 2018). Часть работ по материалам, собранным в этом рейсе, уже опубликованы: например, результаты изучения бактериопланктона (Bezzubova et al., 2020) и мейобентоса (Portnova et al., 2021). В этих же работах приводятся подробные характеристики станций, включенных и в наше исследование. Материалом для нашей работы послужили образцы грунтов, отобранные на 15 станциях в море Лаптевых (номера станций: 5590, 5591, 5591–2, 5592, 5596, 5623–1, 5623–2, 5624–1, 5624–2, 5625, 5627, 5630, 5632, 5635, 5636) и на 12 станциях в Восточно-Сибирском море (номера станций: 5598, 5600, 5602, 5604, 5605, 5606, 5607, 5612, 5613, 5615, 5617, 5619) (рис. 1).

Для исследования микобиоты отбирали по одному образцу с каждой станции. Все исследованные 27 станций относительно мелководные, расположены в шельфовой зоне, на глубинах до 60 м. Также были проанализированы 8 образцов, полученных из ЦМИ МГУ, отобранных в сентябре 2017 года в Восточно-Сибирском море на двух станциях, по 4 образца с каждой: “станция 1” (71°26′12″ с.ш. 167°49′18″ в.д.) на глубине 24 м и “станция 2” (71°23′26″ с.ш. 169°5′2″ в.д.) на глубине 42 м (рис. 1).

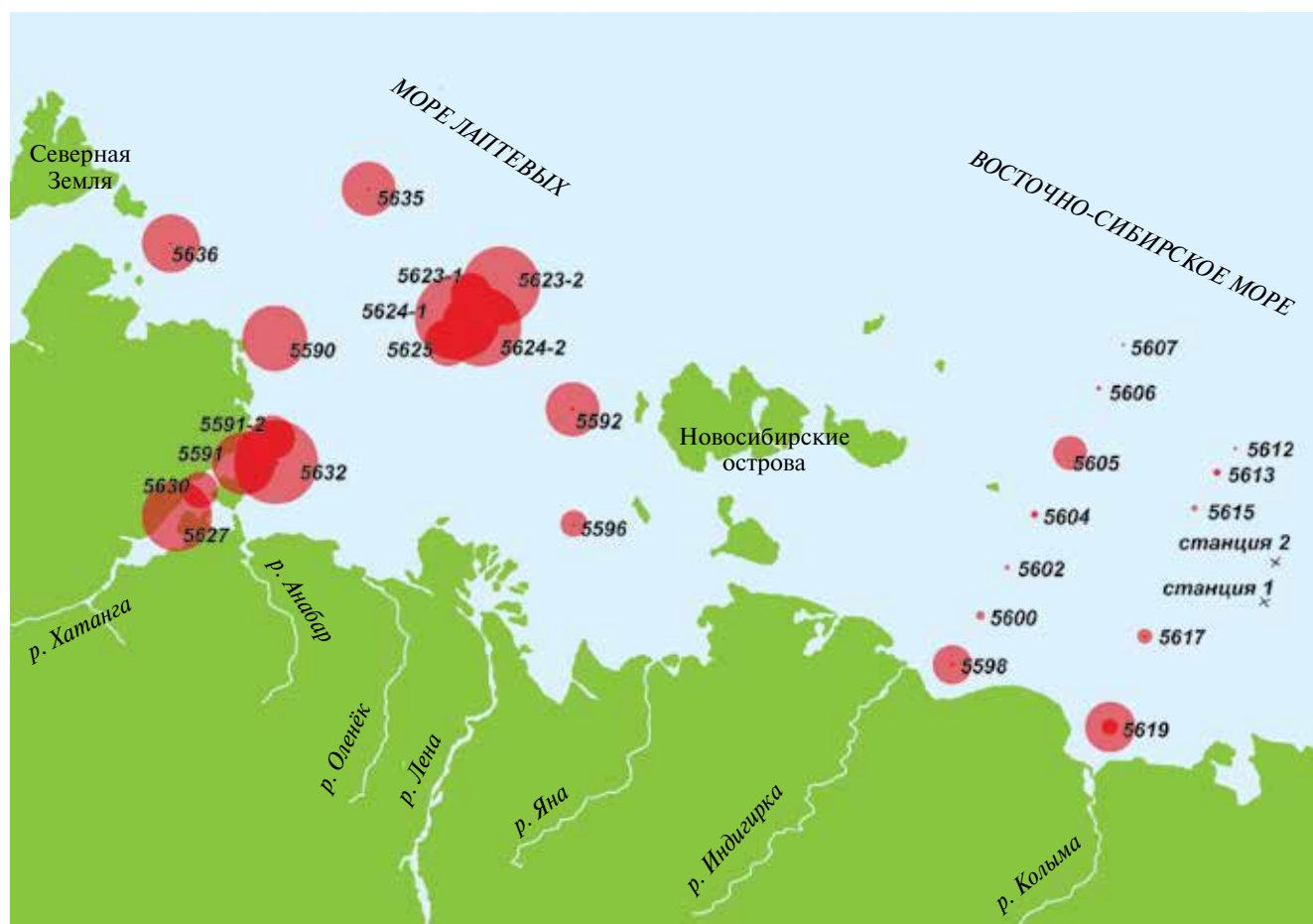


Рис. 1. Схема расположения станций 69 рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш”. Диаметр меток пропорционален численности грибов в 1 г грунта на каждой из станций: более светлый круг – численности дрожжей, более темный – мицелиальных грибов. Отмечены также станции рейса ЦМИ МГУ – “станция 1” и “станция 2”.

Образцы (35 штук) отбирали из верхних 2 см грунта, поднятого дночерпателем, в стерильные бумажные конверты, подсушивали и хранили в холодильнике при 6°C до обработки.

Для выделения грибов использовали метод комочков. Посевы проводили на агаризованные питательные среды: сусло-агар с морской солью (материалы АМК69 и ЦМИ МГУ; на 1 л – ячменно-солодовой концентрат ТУ 9185-020-93454900-12 из расчета 2 г общего содержания сахаров, 20 г соли морской для аквариумов Red Sea Salt, RS, Israel, 15 г агара); сусло-агар (материалы ЦМИ МГУ; солодовый экстракт 15°Б – 200 мл; дрожжевой экстракт – 1 г; дистиллированная вода – 800 мл) и на среду ВУ с морской солью (материалы АМК69; на 1 л: пептон – 1 г; дрожжевой экстракт – 1 г; глюкоза – 5 г, 20 г соли морской для аквариумов Red Sea Salt, RS, Israel, 15 г агара). Во все среды добавляли антибиотик Цефтаксим, 0.8 г/л. На каждую из сред в чашках Петри распределяли по 0.5 г образца. Выросшие колонии подсчитывали и выделяли чистые культуры через 5–6 недель инкубации посевов при температуре 6°C. Идентифицировали

культуры по морфолого-культуральным признакам, таксономическое положение уточняли по базе Mucobank Database (mucobank.org).

Мицелиальные грибы были выделены из всех образцов грунтов, кроме станций 5623–1 и 5623–2 из моря Лаптевых и 5600, 5607 и 5615 из Восточно-Сибирского моря рейса АМК69, и всех образцов со “станции 2” из ЦМИ МГУ. Численность мицелиальных микромицетов была крайне низкой: среднее значение в грунтах моря Лаптевых менее 2 на 1 г (табл. 1), при этом с большинства станций выделилось всего по 1 колонии, а максимум (по 4 колонии) со станций 5624–2 и 5632 (рис. 1).

Среднее значение численности мицелиальных грибов в грунтах Восточно-Сибирского моря немного выше, из большинства образцов выделялось 1–3 колонии, и только из одного образца (станция 5619 в эстуарии Колымы) выделилось 12 колоний (рис. 1). Дрожжи выделялись со всех станций, кроме 5612 АМК69 и обеих станций ЦМИ МГУ. Численность дрожжей почти во всех случаях была на порядок выше численности мицелиальных грибов (рис. 1). В море Лаптевых численность дрожжей

варьировала от 21 до 68 колоний на 1 г, в среднем составляя около 47 на 1 г. В Восточно-Сибирском море численность дрожжей варьировала от 0 до 40 колоний на 1 г, в среднем составляя около 12 на 1 г (табл. 1; рис. 1). Распределение численности мицелиальных грибов и дрожжей было относительно равномерным в грунтах моря Лаптевых. В Восточно-Сибирском море наибольшие значения численности грибов показаны для приэстуарных станций рек Колыма и Индигирка, и в основном резко уменьшаются при удалении от берега (рис. 1).

Полученные значения численности мицелиальных грибов являются низкими даже для арктических морей. В прибрежных районах, особенно

в приэстуарных, численность грибов может достигать десятков и даже сотен на грамм, как, например, в Обской губе Карского моря (Bubnova, 2010). Более низкие значения приурочены, в основном, к удаленным от побережья районам исследованных ранее морей (Bubnova, 2010; Bubnova, Nikitin, 2017; Bubnova, Kononova, 2019; Luo et al., 2020) и обычно связаны с экстремально неблагоприятными условиями обитания для грибов – низкими температурами и очень небольшим количеством органики. Моря Лаптевых и Восточно-Сибирское различаются по гидрологии и климату (Marchenko, 2012). С одной стороны, море Лаптевых – одно из наиболее суровых морей, одинаково удаленное от более

Таблица 1. Таксономический состав мицелиальных грибов в донных грунтах морей Лаптевых и Восточно-Сибирском

Названия таксонов	АМК69 Лапт	АМК69 В-С	ЦМИ В-С
ASCOMYCOTA			
Dothideomycetes:			
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G.A. de Vries		1 / 1	
<i>Cladosporium sphaerospermum</i> Penz.		1 / 1	
Eurotiomycetes:			
<i>Aspergillus glaucus</i> (L.) Link			1 / 1
<i>Penicillium chrysogenum</i> Thom	3 / 3	1 / 1	
<i>Penicillium frequentans</i> Westling	1 / 1		
<i>Penicillium lanosum</i> Westling		2 / 2	
<i>Talaromyces</i> sp.			1 / 1
Leotiomycetes:			
<i>Cadophora luteo-olivaceae</i> (J.F.H. Beyma) T. C. Harr. & McNew	1 / 1	1 / 1	
<i>Oidiodendron tenuissimum</i> (Peck) S. Hughes			1 / 1
<i>Pseudeurotium zonatum</i> J.F.H. Beyma	5 / 4	2 / 2	
<i>Pseudogymnoascus pannorum</i> (Link) Minnis & D. L. Lindner	3 / 2	4 / 3	
<i>Pseudogymnoascus</i> sp.			1 / 1
Sordariomycetes:			
<i>Acremonium charticola</i> (Lindau) W. Gams	1 / 1		
<i>Chaetomium globosum</i> Kunze ex Fr.	2 / 1	3 / 1	
<i>Chaetomium</i> sp. 1		3 / 2	
<i>Chaetomium</i> sp. 2	1 / 1		
<i>Cordyceps farinosa</i> (Holmsk.) Kepler, B. Shrestha & Spatafora	3 / 2	4 / 3	
<i>Gliomastix murorum</i> (Corda) S. Hughes		2 / 1	
<i>Tolyposcladium inflatum</i> W. Gams			1 / 1
Неидентифицированные морфотипы:			
Темноокрашенные стерильные морфотипы		1 / 1	2 / 2
Светлоокрашенные стерильные морфотипы	4 / 4	5 / 4	2 / 1
Всего морфотипов мицелиальных грибов	13	17	8
Всего изолятов мицелиальных грибов	24	30	9
Численность дрожжей	702	143	0
Всего образцов	15	12	8

Примечание. АМК69 Лапт – в образцах, отобранных в 69 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” в море Лаптевых; АМК69 В-С – в образцах, отобранных в 69 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Восточно-Сибирском море; ЦМИ В-С – в образцах, предоставленных ЦМИ МГУ из Восточно-Сибирского моря. Для каждого морфотипа указаны: общее число выросших колоний / число образцов, из которых данный морфотип выделился.

теплых вод как Атлантики, так и Тихого океана. С другой стороны, пресный сток в это море — один из самых значительных в Арктике, и речные воды, вместе с несомыми ими осадками, распространяются очень широко по шельфу в этом районе. Восточно-Сибирское море может быть несколько мягче по климату за счет близости к водам Тихого океана, но пресный сток в него в три раза ниже стока в море Лаптевых, и не наблюдается такого широкого распространения речных вод и осадков по бассейну этого моря. Учитывая, что большинство выделенных нами видов, видимо, имеют почвенное происхождение, можно предположить их поступление в моря с речными водами. Таким образом, выраженность эстуарного эффекта на сообщества грибов в Восточно-Сибирском и невыраженность его в море Лаптевых может быть связана с различиями в особенностях гидрологии этих морей.

Разнообразие микобиоты относительно высокое для такой низкой численности. Всего было выделено 32 морфотипа, из которых 15 идентифицировали до вида и 4 — до уровня рода, а также стерильные светло- (10 морфотипов) и темноокрашенные (3 морфотипа) морфотипы (табл. 1). Идентифицированные виды и роды относились к четырем классам аскомицетов: *Dothideomycetes* (2 вида), *Eurotiomycetes* (5), *Leotiomycetes* (5) и *Sordariomycetes* (7). Большинство морфотипов было выделено единичными колониями из отдельных образцов. Среди выявленных видов, шесть были обнаружены в обоих морях: *Penicillium chrysogenum*, *Cadophora luteo-olivaceae*, *Pseudeurotium zonatum*, *Pseudogymnoascus pannorum*, *Chaetomium globosum* и *Cordyceps farinosa*. Наибольшая встречаемость отмечена для *P. zonatum*, *P. pannorum* и *C. farinosa*.

Высокое разнообразие при незначительной численности, видимо, является обычной картиной для арктических морских экосистем (Bubnova, Nikitin, 2017; Bubnova, Konovalova, 2019; Hagestad et al., 2019; Luo et al., 2020). Среди идентифицированных культур большая часть принадлежит к леоциевым и сордариевым, что согласуется с полученными ранее данными для некоторых арктических морей, как по результатам культуральных (Bubnova, Konovalova, 2019), так и метагеномных (Rama et al., 2017) работ. Наиболее часто выделившиеся в нашем исследовании виды — *Pseudeurotium zonatum*, *Pseudogymnoascus pannorum*, *Penicillium chrysogenum* — широко распространены в различных почвах умеренных и холодных регионов, также отмечались и в арктических морях, в основном в прибрежных районах (Domsh et al., 2007; Bubnova, 2010; Кирцидели и др., 2012; Luo et al., 2020). Интересными являются находки на пяти станциях *Cordyceps farinosa* (в виде анаморфы), ранее известного ассоциациями с беспозвоночными животными (Domsh et al., 2007). Однако мы не обнаружили связи его находок с богатством

мейофауны (Portnova et al., 2021) на тех же станциях. Относительно высокая численность и разнообразие представителей рода *Chaetomium* в наших образцах необычны для морских экосистем и отмечаются только в работе по грунтам Чукотского моря (Bubnova, Konovalova, 2019).

Итак, впервые было исследовано разнообразие биоты культивируемых мицелиальных грибов в грунтах одних из наиболее суровых морей Арктики — Лаптевых и Восточно-Сибирском. Была обнаружена чрезвычайно низкая численность микобиоты при ее довольно высоком разнообразии. Наиболее часто встречаемые виды *Pseudeurotium zonatum* и *Pseudogymnoascus pannorum*, виды родов *Penicillium*, *Chaetomium* обычны для микобиоты холодных регионов, в том числе и для морских экосистем. Высокая численность дрожжей практически во всех исследованных образцах этих морей указывает на их значимую роль в донных сообществах, которую еще только предстоит изучить.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность Дарье Андреевне Портновой (Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН) за отбор материала для исследования в 69 рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” и сотрудникам ЦМИ МГУ за предоставленные образцы грунта Восточно-Сибирского моря.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Подготовка публикации выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (соглашение 075-15-2021-1396). Идентификация грибов выполнена в рамках тем государственных заданий № 121032300079-4 “Экофизиология, цитология и генетика грибов как основа рационального природопользования и биотехнологий” и № 121032500077-8 “Разнообразие, структура и функционирование морских и прибрежных экосистем”.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Кирцидели И. Ю., Власов Д. Ю., Баранцевич Е. П., Крыленков В. А., Соколов В. Т. Распространение терригенных микромицетов в водах арктических морей // Микология и фитопатология. 2012. Т. 46. С. 306–310.
- Bezzubova E. M., Seliverstova A. M., Zamyatin I. A., Romanova N. D. Heterotrophic bacterioplankton of the

- Laptev and East Siberian Sea shelf affected by freshwater inflow areas // *Oceanology*. 2020. V. 60. P. 62–73.
- Bubnova E. N. Fungal diversity in bottom sediments of the Kara Sea // *Botanica Marina*. 2010. V. 53. P. 595–600.
- Bubnova E. N., Konovalova O. P. Fungi in bottom sediments of the Chukchi Sea // *Russ. J. Mar. Biol.* 2019. V. 45. P. 86–95.
- Bubnova E. N., Nikitin D. A. Fungi in bottom sediments of the Barents and Kara seas // *Russ. J. Mar. Biol.* 2017. V. 43. P. 400–406.
- Domsh K. H., Gams W., Anderson T.-H. Compendium of soil fungi. Eching: IHW-Verlag, 2007. 859 p.
- Flint M. V., Poyarkov S. G., Rymsky-Korsakov N. A. Ecosystems of the Siberian Arctic Seas-2017 (Cruise 69 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh) // *Oceanology*. 2018. V. 58. P. 315–318.
- Hagestad O. C., Andersen J. H., Altermark B., Hansen E., Rama T. Cultivable marine fungi from the Arctic Archipelago of Svalbard and their antibacterial activity // *Mycology*. 2019. V. 11. P. 230–242.
- Luo E., Xu W., Luo Z.-H., Pang K.-L. Diversity and temperature adaptability of cultivable fungi in marine sediments from the Chukchi Sea // *Botanica Marina*. 2020. V. 63. P. 197–207.
- Marchenko N. Russian arctic seas: navigation conditions and accidents. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. 251 p.
- Portnova D. A., Garlitska L. A., Polukhin A. A. The effect of estuarine system on the meiofauna and nematodes in the East Siberian Sea // *Sci. Rep.* 2021. V. 11. Art. 19306.
- Rama T., Hassett B. T., Bubnova E. Arctic marine fungi: from filaments and flagella to operational taxonomic units and beyond // *Botanica Marina*. 2017. V. 60. P. 433–452.

SHORT COMMUNICATIONS

Filamentous Fungi in the Sediments of the East Siberian and Laptev Seas

M. L. Georgieva^{1, 2, *}, E. N. Bilanenko¹, A. A. Georgiev¹, and E. N. Bubnova¹

¹*Faculty of Biology, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia*

²*Gauze Institute for New Antibiotics, Moscow, 119021 Russia*

**e-mail: i-marina@yandex.ru*

Received October 16, 2023; revised November 19, 2023; accepted November 22, 2023

Abstract—This is the first report on abundance and diversity of cultured yeasts and filamentous fungi in the sediments of the Laptev and East Siberian seas. A total of 63 isolates of mycelial fungi belonging to 32 morphotypes were obtained from 35 sediment samples. Most morphotypes were represented by single colonies in individual samples; the most often occurring species were *Pseudeurotium zonatum*, *Pseudogymnoascus pannorum*, and *Cordyceps farinosa*. In both seas, abundance of filamentous fungi (up to 12 colonies per 1 g wet sediment) was lower than that of yeasts (up to 68 colonies per 1 g wet sediment). In the Laptev Sea, yeast abundance was low at all stations, while in the East Siberian Sea higher values were found at near-estuarine stations.

Keywords: marine fungi, yeasts, marine sediments, Arctic seas, East Siberian Sea, Laptev Sea