

УДК 582.28:581.522.6(987)

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОМИКОТЫ АРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ

© 2018 г. ¹И. Ю. Кирцидели, ^{1,2}Д. Ю. Власов, ²В. А. Крыленков, ³Н. Н. Ролле, ⁴Е. П. Баранцевич, ⁵В. Т. Соколов

¹ФГБУН «Ботанический институт им. В. Л. Комарова Российской академии наук», г. Санкт-Петербург; ²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург; ³ФГАУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», г. Санкт-Петербург; ⁴ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Санкт-Петербург; ⁵ФГБУ «Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург

Цель работы – изучение состава микроскопических грибов, обитающих в воздушной среде арктических станций, расположенных по маршруту Северного морского пути. *Методы.* Состояние воздушной среды арктических территорий оценивали на 30 арктических полярных станциях в соответствии с методикой, утвержденной Министерством природных ресурсов Российской Федерации. Отбирались микробиологические пробы воздушной среды в жилых и рабочих помещениях при помощи аспиратора ПУ-1Б, через который прокачивали воздух в объеме 250–1 000 л, осажая микроорганизмы на агаризованные питательные среды. Идентифицировали микромицеты на основе культурально-морфологических признаков, а также с использованием молекулярных методов. Изоляты доминирующих видов проверяли на способность к росту при температуре 37 °С (признак потенциальной вирулентности в отношении человека). *Результаты.* Всего в воздушной среде помещений обследованных станций было выявлено 40 видов микромицетов, большинство из которых принадлежало к анаморфным грибам аскомицетного аффинитета. Значительную часть (65 %) выявленных грибов составляли условные патогены человека (IV группа патогенности по СП 1.3.2322-08). Самое высокое разнообразие грибов (20 видов) было отмечено в аэромикоте пос. Тикси. Численность микроскопических грибов в воздухе всех обследованных арктических станций была умеренной и колебалась от нескольких колониеобразующих единиц (КОЕ) до 254 КОЕ в 1 м³ воздуха. Наибольшая численность микромицетов в воздухе жилых помещений (более 200 КОЕ на 1 м³ воздуха) была отмечена на островах Визе и Тройной (архипелаг Известий ЦИК). Минимальная численность их зафиксирована в воздушной среде небольших (как островных, так и континентальных) полярных станций независимо от их расположения. *Выводы.* Состав аэромикоты арктических полярных станций характеризовался доминированием грибов, связанных с антропогенными местообитаниями. Полученные данные указывают на необходимость контроля численности условно патогенных и аллергенных грибов, встречающихся в районах расположения арктических поселений.

Ключевые слова: Арктика, полярные экосистемы, антропогенное воздействие, микроскопические грибы в воздухе, аллергены, условные патогены человека

COMPARATIVE STUDY OF AIRBORNE FUNGI AT ARCTIC STATIONS NEAR WATER AREA OF THE NORTHERN SEA ROUTE

¹I. Yu. Kirtsideli, ^{1,2}D. Yu. Vlasov, ²V. A. Krylenkov, ³N. N. Rolle, ⁴E. P. Barantsevich, ⁵V. T. Sokolov

¹Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences (BIN RAS), Saint Petersburg, Russia; ²Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia; ³Peter the Great State Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia; ⁴Almazov National Medical Research Centre, Russian Federation Ministry of Health, Saint Petersburg; Russia; ⁵Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

Aim. Main goal is the study of the microscopic fungi composition in the air of Arctic stations located along the Northern Sea Route. *Methods.* The study of aeromycota was carried out at 30 Arctic polar stations. The state of the Arctic territories was assessed in accordance with the methodology approved by the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation. Air sampling in living and working zones was carried out with a PU-1B aspirator. Microorganisms were precipitated from air (volume of 250-1 000 l) on agar medium. The identification of micromycetes was carried out on the basis of cultural and morphological features as well as using molecular methods. The isolates of the dominant species were tested for their ability to grow at a temperature of 37 °C (potential virulence). *Results.* In total, 40 species of micromycetes were found in the air environment of the Arctic stations. Most of them belonged to anamorphic fungi of ascomycete affinity. A significant part of the identified fungi (65%) are the human pathogens (group IV pathogenicity in SP 1.3.2322-08). The highest diversity of fungi (20 species) was noted in the aeromycota of Tiksi. The number of microscopic fungi in the air of all the investigated Arctic stations was moderate and varied from several colony forming units (CFU) to 254 CFU per 1 m³ of air. The largest number of micromycetes in the air of living spaces (more than 200 CFU per 1 m³ of air) was recorded on the islands of Vize and Troynoy (the archipelago of Izvestia CIK). The minimum number of micromycetes was in the air of small (both island and continental) polar stations, regardless of their location. *Conclusion.* The composition of the aeromycota of Arctic polar stations was characterized by the dominance of fungi associated with anthropogenic habitats. The obtained data indicate the need to control the number of potential human pathogens and allergenic fungi found in the areas of Arctic settlements.

Key words: Arctic, polar ecosystems, anthropogenic impact, airborne microscopic fungi, allergens, potential human pathogens

Библиографическая ссылка:

Кирцидели И. Ю., Власов Д. Ю., Крыленков В. А., Ролле Н. Н., Баранцевич Е. П., Соколов В. Т. Сравнительное исследование аэромикоты арктических станций по Северному морскому пути // Экология человека. 2018. № 4. С. 16–21.

Kirtsideli I. Yu., Vlasov D. Yu., Krylenkov V. A., Rolle N. N., Barantsevich E. P., Sokolov V. T. Comparative Study of Airborne Fungi at Arctic Stations Near Water Area of the Northern Sea Route. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 4, pp. 16-21.

Активное освоение человеком высоких широт планеты неизбежно приводит к изменениям полярных экосистем. Влияние хозяйственной деятельности на арктические экосистемы проявляется в загрязнении почв и грунтов углеводородами и продуктами их горения, механическом нарушении поверхности почв, модификации биоты полярных биогеоценозов. Антропогенная нагрузка на природу отражается и на безопасной жизнедеятельности людей, живущих и работающих в арктических поселениях [6]. Одним из показателей происходящих экосистемных изменений может служить микобиота в районах полярных станций и баз. Использование микроорганизмов как объектов биоиндикации может осуществляться на разных уровнях (эколого-ценотический, организменный, молекулярно-генетический). Состав и структура микробных сообществ служат отражением экологического состояния ключевых участков полярных ландшафтов [2, 12, 18]. Особое значение в последние годы приобретают исследования влияния микробных сообществ на здоровье и работоспособность людей в полярных поселениях, а также анализ рисков увеличения инфекционных заболеваний. Растущая заболеваемость людей, работающих в арктических поселениях, требует решения проблемы оказания им медицинской помощи в экстремальных природных условиях, в т. ч. в удаленных и труднодоступных местах [5]. Исследование микробиоты в осваиваемых человеком районах Арктики может способствовать оптимизации санитарно-эпидемиологического и гигиенического контроля, особенно в местах постоянного или временного проживания людей. Выявление там патогенных микроорганизмов позволяет оценивать возможные последствия их влияния на здоровье людей, а также вести целенаправленную разработку профилактических мероприятий. Кроме того, сравнительное изучение полярных биогеоценозов представляет интерес для оценки адаптивных возможностей микроорганизмов в экстремальных условиях, возможных путей их расселения, а также для комплексной оценки антропогенного воздействия на природную среду Арктики. При этом ключевыми путями расселения микробов являются антропогенный перенос (инвазия) и распространение микроорганизмов через воздушную среду. Например, споры (клетки) микроскопических грибов, среди которых немало условно патогенных видов, являются основными контаминантами воздушной среды в различных экологических условиях. При значительной концентрации спор грибов в воздухе и продолжительном воздействии на человека этот фактор может стать причиной развития аллергических и астматических реакций, микозов, вызвать заметное ухудшение состояния людей, особенно с ослабленным иммунитетом. В литературе для обозначения микобиоты воздуха используется термин «аэромикота». Исследованию аэромикоты полярных регионов посвящено сравнительно небольшое число работ, выполненных преимущественно в Антарктике, тогда как арктические территории изучались в этом отношении совсем мало [1, 10, 11, 15, 19].

Целью настоящей работы явилось изучение состава микроскопических грибов, обитающих в воздушной среде арктических станций, расположенных по маршруту Северного морского пути.

Методы

В соответствии с программой работ Высокоширотной арктической экспедиции (ВАЭ) Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ФГБУ «АНИИ») и группы мониторинга полярных регионов проводилось исследование микробиологических сообществ в районах расположения ряда арктических станций. Научно-исследовательские работы выполнялись во время плавания научно-экспедиционного судна (НЭС) «Михаил Сомов» в акватории Северного морского пути в июле – ноябре 2010, 2011 и 2014 годов. Длительность рейсов составляла 2–4 месяца и была обусловлена логистикой ВАЭ. Материал для исследований был собран в районах расположения полярных станций в акваториях Баренцева, Карского, Восточно-Сибирского и Чукотского морей, моря Лаптевых и на островах Северного Ледовитого океана. Данные о местах отбора проб и их расположении приведены в табл. 1.

Отбор микробиологических проб воздушной среды в жилых и рабочих помещениях осуществлялся при помощи аспиратора ПУ-1Б (сертифицированное в России пробоотборное устройство для взятия проб воздуха), через который прокачивали воздух в объеме 250–1 000 л, осаждая микроорганизмы в чашки Петри. При взятии пробы прибор располагали на уровне около 1 м от пола. Каждая проба отбиралась в трехкратной повторности на агаризованные питательные среды Чапека, Сабуро и мясо-пептонный агар. Общее число проб для каждой станции зависело от количества и объема обследованных помещений. Одна проба отбиралась в среднем на 10 м² площади помещений. Все образцы хранили в судовой ледовой камере, в которой постоянно поддерживалась температура –15 °С, что давало возможность сохранять биологический материал до окончания рейса в жизнеспособном состоянии. В лабораторных условиях чашки инкубировали при температуре +15 °С и +25 °С. Выбор данных температур инкубации был обусловлен наличием в аэромикоте полярных станций микроскопических грибов, относящихся к мезофиллам и психротрофам. В дальнейшем подсчитывали количество выросших колоний и производили пересчет колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 м³ воздуха (в соответствии с руководством по эксплуатации прибора ПУ-1Б). После этого осуществляли отсев микромицетов для последующего определения. При этом изоляты инкубировали в течение 7–15 дней до появления спороношения. В случае отсутствия спороношения продолжали инкубировать культуры в течение 1–3 месяцев. Идентификацию микромицетов осуществляли на основе культурально-морфологических признаков по определителям российских и зарубежных авторов. Изоляты, не образующие спороношения в

Таблица 1

Характеристика районов исследований, мест отбора образцов и видового разнообразия аэромикоты

№	Место отбора образцов	Координаты	Регион	Состояние прилегающих территорий	Количество видов грибов в аэромикоте
1	о. Сосновец	65° 26' с. ш., 39° 31' в. д.	Белое море	Удовлетворительное	5
2	о. Колгуев	69° 27' с. ш., 49° 27' в. д.	Баренцево море	Удовлетворительное	7
3	о. Вайгач	70° 26' с. ш., 59° 05' в. д.	Карское море	Близкое к кризисному	12
4	пос. Андерма	69° 45' с. ш., 61° 39' в. д.	Карское море	Близкое к кризисному	6
5	ст. Марре-Сале	69° 42' с. ш., 66° 48' в. д.	Карское море	Удовлетворительное	5
6	пос. Усть-Кара	69° 14' с. ш., 64° 57' в. д.	Карское море	Близкое к кризисному	6
7	ст. Белый Нос	69° 36' с. ш., 60° 13' в. д.	Баренцево море	Близкое к кризисному	14
8	ст. Малые Кармакулы, арх. Новая Земля	71° 22' с. ш., 52° 42' в. д.	Баренцево море	Удовлетворительное	6
9	о. Белый	73° 19' с. ш., 70° 04' в. д.	Карское море	Кризисное	14
10	о. Хейса, арх. Земля Франца Иосифа	80° 37' с. ш., 58° 03' в. д.	Северный Ледовитый океан	Близкое к кризисному	4
11	о. Визе	79° 29' с. ш., 76° 58' в. д.	Карское море	Близкое к кризисному	11
12	ст. Колба	73° 31' с. ш., 80° 41' в. д.	Карское море	Удовлетворительное	5
13	пос. Диксон	73° 30' с. ш., 80° 24' в. д.	Карское море	Кризисное	11
14	пос. Варандей	68° 48' с. ш., 57° 59' в. д.	Баренцево море	Кризисное	4
15	пос. Шойна	67° 57' с. ш., 44° 09' в. д.	Баренцево море	Кризисное	6
16	о. Тройной, арх. Известий ЦИК	75° 57' с. ш., 82° 57' в. д.	Карское море	Напряженное	8
17	мыс Стерлегова, п-ов Таймыр	75° 25' с. ш., 88° 54' в. д.	Карское море	Близкое к кризисному	2
18	о. Голомянный, арх. Северная Земля	79° 33' с. ш., 90° 34' в. д.	Карское море	Кризисное	3
19	о. Большевик, арх. Северная Земля	79° 16' с. ш., 101° 45' в. д.	Карское море / море Лаптевых	Удовлетворительное	2
20	мыс Челюскин, п-ов Таймыр	77° 43' с. ш., 104° 18' в. д.	Карское море / море Лаптевых	Удовлетворительное	2
21	пос. Тикси	71° 63' с. ш., 128° 86' в. д.	море Лаптевых	Удовлетворительное	20
22	мыс Киглях, о. Б. Ляховский, Новосибирский арх.	73° 20' с. ш., 139° 53' в. д.	море Лаптевых	Близкое к конфликтному	6
23	о. Котельный, ст. Санникова, Новосибирский арх.	75° 59' с. ш., 137° 54' в. д.	море Лаптевых	Удовлетворительное	4
24	г. Певек	69° 42' с. ш., 170° 19' в. д.	Восточно-Сибирское море	Критическое	1
25	ст. Валькаркай	70° 05' с. ш., 170° 54' в. д.	Восточно-Сибирское море	Удовлетворительное	2
26	о. Врангеля	70° 58' с.ш., 178° 28' в.д.	Чукотское море	Удовлетворительное	2
27	о. Айон	69° 56' с.ш., 167° 59' в.д.	Восточно-Сибирское море	Критическое	2
28	ст. Рауча	69° 30' с. ш., 166° 35' в. д.	Восточно-Сибирское море	Конфликтное	2
29	ст. Амбарчик	69° 34' с.ш., 162° 18' в. д.	Восточно-Сибирское море	Напряженное	2
30	о. Котельный	76° 00' с. ш., 137° 52' в. д.	Восточно-Сибирское море	Удовлетворительное	1

период до трех месяцев на всех питательных средах, определялись молекулярными методами.

Для идентификации некоторых видов микромицетов, не имевших четких диагностических признаков, использовали молекулярные методы. Образцы ДНК исследуемых грибов секвенировали по регионам D2 и D1/D2 гена 26S РНК, а также по региону ДНК, содержащему внутренние транскрибируемые спейсеры ITS1 и ITS2. ДНК выделяли из 5-дневных культур грибов с использованием PrepMan Ultra Sample Preparation Reagent protocol. Для секвенирования по региону D2 использовали наборы и протоколы MicroSeq D2 LSU rDNA Fungal Identification kit. Полученные последовательности ДНК анализировали с помощью программы MicroSEQ ID v2.0 и базы данных MicroSEQ ID Fungal Gene Library V1.0, а также программы BLAST и открытой базы данных на сайте NCBI.

Полноразмерный регион D1/D2 26S рибосомальной ДНК амплифицировали с использованием праймеров NL-1 (5'-GCATATCAATAAGCGGAGGAA AAG-3') и NL-4 (5'-GGTCCGTGTTTCAAGACGG-3') [16].

Регион ДНК, содержащий внутренние транскрибируемые спейсеры ITS1 и ITS2, амплифицировали с помощью праймеров ITS-1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3') и ITS-4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') [14, 17]. Амплифицированные фрагменты ДНК очищали на колонках CentriSep Column, а затем секвенировали на генетическом анализаторе ABI 3130 с использованием набора BigDye Terminator v1.1 cycle sequencing kit. Полученные нуклеотидные последовательности сравнивали при помощи программы BLAST с нуклеотидными последовательностями, имеющимися в открытой базе данных на сайте NCBI. Названия и

положение таксонов микроскопических грибов унифицировали с использованием 9-го издания Словаря грибов Айнсворта и Бисби [9] и базы данных www.indexfungorum.org/Names/fungic.asp.

Часть изолятов доминирующих видов проверяли на способность к росту при температуре 37 °С (признак потенциальной вирулентности в отношении человека). Для этого культуры первоначально выращивали при комнатной температуре в течение нескольких дней (для контроля жизнеспособности культуры). После появления визуально различимой зоны роста колонии фиксировали ее диаметр и помещали культуру в термостат, где инкубировали в течение 7–15 дней при температуре 37 °С. При отсутствии роста в течение 15 дней продолжали инкубировать культуру при комнатной температуре и определяли ее жизнеспособность. Часть культур теряла жизнеспособность в период инкубации при температуре 37 °С.

Состояние прилегающих территорий оценивали в соответствии с утвержденной Министерством природных ресурсов Российской Федерации методикой «Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» [4]. Согласно этой методике экологическая обстановка по возрастанию степени экологического неблагополучия классифицируется следующим образом: относительно удовлетворительная, напряженная, критическая, кризисная (или зона чрезвычайной экологической ситуации), катастрофическая (или зона экологического бедствия).

Результаты

Всего в воздушной среде помещений обследованных арктических станций было выявлено 40 видов микромикетов, причем 11 из них были идентифицированы с использованием молекулярных методов (табл. 2). Большинство видов принадлежало к анаморфным грибам, которые имели аскомицетный аффинитет. Кроме мицелиальных микромикетов были зарегистрированы дрожжевые грибы базидиомицетного аффинитета (виды рода *Rhodotorula*). Доминирующим по числу видов (10) оказался род *Penicillium*, представители которого встречались в большинстве изученных проб. Роды *Alternaria*, *Aspergillus* и *Cladosporium* включали по 3 вида, а роды *Mucor*, *Ulocladium* и *Rhodotorula* – по 2 вида. Самое высокое разнообразие грибов (20 видов) было отмечено в аэромикоте пос. Тикси (см. табл. 1). В аэромикоте 6 арктических станций отмечалось более 10 видов, 13 станций – от 4 до 10 видов, остальных 11 станций – от 1 до 3 видов микромикетов. Состав аэромикоты характеризовался доминированием грибов, связанных преимущественно с антропогенными местообитаниями. Чаше других встречались виды *Aspergillus niger*, *Aureobasidium pullulans*, *Cladosporium cladosporioides*, *Penicillium aurantiogriseum* и *Penicillium canescens*. Они были отмечены более чем на 10 обследованных арктических станциях. Часть выделенных микромикетов, например

Таблица 2
Микроскопические грибы, выделенные из воздуха помещений арктических станций

№	Вид микромикетов	Число станций, где встречен данный вид	Группа патогенности по СП 1.3.2322-08
1	<i>Acremonium fusidioides</i> (Nicot) W. Gams*	1	–
2	<i>Acremonium</i> sp.	4	–
3	<i>Alternaria alternata</i> (Fr.) Keissl.	4	IV
4	<i>Alternaria embellisia</i> Woudenberg & Crous*	1	IV
5	<i>A. tenuissima</i> (Kunze) Wiltshire*	1	IV
6	<i>Aspergillus niger</i> Tiegh.	12	IV
7	<i>Aspergillus terreus</i> Thom*	1	III
8	<i>A. sydowii</i> (Bainier et Sartory) Thom et Church	3	IV
9	<i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) G. Arnaud*	16	IV
10	<i>Botrytis cinerea</i> Pers.	1	–
11	<i>Chaetomium globosum</i> Kunze	4	IV
12	<i>Cladosporium cladosporioides</i> (Fresen.) G. A. de Vries	18	–
13	<i>C. herbarum</i> (Pers.) Link	6	–
14	<i>C. sphaerospermum</i> Penz.	1	–
15	<i>Debaryomyces hansenii</i> (Zopf) Lodder & Kreger-van Rij*	3	–
16	<i>Doratomyces asperulus</i> J. E. Wright et S. Marchand*	2	–
17	<i>Exophiala jeanselmei</i> (Langeron) McGinnis et A. A. Padhye	3	IV
18	<i>Geomyces pannorum</i> (Link) Sigler et J. W. Carmich (<i>Pseudogymnoascus roseus</i> Raitlo)	5	–
19	<i>Humicola grisea</i> Traaen*	3	–
20	<i>Mucor hiemalis</i> Wehmer	1	IV
21	<i>Mucor</i> sp.	7	IV
22	<i>Paecilomyces farinosus</i> (Holmsk.) A. H. S. Br. Et G. Sm.*	1	IV
23	<i>Penicillium aurantiogriseum</i> Dierckx	12	IV
24	<i>P. canescens</i> Sopp	12	IV
25	<i>P. chrysogenum</i> Thom	7	IV
26	<i>P. glabrum</i> (Wehmer) Westling	9	IV
27	<i>P. lanosum</i> Westling	9	IV
28	<i>P. roqueforti</i> Thom	3	IV
29	<i>P. simplicissimum</i> (Oudem.) Thom	2	IV
30	<i>P. spinulosum</i> Thom	2	IV
31	<i>P. vulpinum</i> (Cooke et Masee) Seifert et Samson	1	IV
32	<i>Penicillium</i> sp.	6	IV
33	<i>Phoma glomerata</i> (Corda) Wollenw. et Hochapfel	1	IV
34	<i>Pringsheimia smilacis</i> E. Müll*	1	–
35	<i>Rhodotorula mucilaginosa</i> (A. Jörg) F. C. Harrison*	5	–
36	<i>Rhodotorula</i> sp.	2	–
37	<i>Sarocladium strictum</i> (W. Gams) Summerb.	1	–
38	<i>Trichoderma viride</i> Pers.	1	IV
39	<i>Ulocladium consortiale</i> (Thüm.) E. G. Simmons	3	IV
40	<i>Ulocladium</i> sp.	1	IV

Примечание. * – молекулярная идентификация видов.

Alternaria alternata, *Aspergillus niger* и *Mucor sp.*, проявили способность к росту при температуре 37 °С, что свидетельствует об их потенциальной опасности для человека. Среди микромицетов, выявленных в аэромикоте полярных станций (см. табл. 2), значительную часть (65 %) составляют условные патогены человека по СП 1.3.2322-08 [7]. При этом почти все они отнесены к организмам IV группы патогенности (за исключением *Aspergillus terreus*). Ряд видов, не вошедших в число условных патогенов по СП 1.3.2322-08, отнесены к этой группе другими авторами [8, 13, 20]. Например, *Aspergillus niger* может стать причиной опасного заболевания — аспергиллеза, при котором чаще всего поражаются дыхательные пути, могут страдать сердечно-сосудистая и центральная нервная системы. Кроме того, этот вид известен аллергенными свойствами [21].

В целом численность микроскопических грибов в воздухе всех исследованных арктических станций была умеренной и колебалась от нескольких до 254 КОЕ в 1 м³ воздуха. Численность бактерий, которые постоянно присутствовали в пробах, колебалась от нескольких до 320 КОЕ в 1 м³ воздуха (идентификация бактерий не входила в задачу данного исследования). Наибольшая численность микромицетов в воздухе жилых помещений (более 200 КОЕ на 1 м³ воздуха) была отмечена на островах Визе и Тройной (архипелаг Известий ЦИК). Экологическое состояние прилегающих к постройкам территорий характеризуется на этих островах как удовлетворительное и напряженное соответственно. Из континентальных станций высокая численность микромицетов была обнаружена в пос. Певек и на станции Белый Нос, где экологическое состояние прилегающих территорий оценивается как близкое к кризисному. Минимальная же численность микромицетов зафиксирована в воздушной среде небольших (как островных, так и континентальных) полярных станций, независимо от их расположения (о. Большевик, о. Валькаркай, мыс Стерлегова). Экологическое состояние территорий на островах Большевик и Валькаркай оценивалось как удовлетворительное, а в районе мыса Стерлегова как неудовлетворительное.

Обсуждение результатов

Известно, что численность микромицетов в воздухе природных экосистем обычно снижается с увеличением географической широты [3]. Однако в замкнутых пространствах жилых и рабочих помещений на полярных станциях картина может быть совсем другой. Значительное разнообразие и более высокое содержание микромицетов в воздушной среде помещений полярных станций, по-видимому, связано с санитарным состоянием этих помещений, нарушением работы вентиляции и значительным повышением влажности. Микромицеты, выявленные в помещениях полярных станций, скорее всего, были привнесены туда вместе со строительными материалами, оборудованием, продуктами питания и личными

вещами вне зависимости от широтного расположения станций и экологического состояния прилегающей территории. Состав аэромикоты характеризовался доминированием грибов, связанных преимущественно с антропогенными местообитаниями. Многие из них ранее отмечались на антропогенных субстратах в Антарктике [2], а также описаны как биодеструкторы различных материалов [5].

Микроскопические грибы относятся к наиболее распространенным в окружающей среде источникам аллергенов (свыше 300 видов обладают аллергенными свойствами) [8, 20]. Они могут вызывать аллергический насморк, конъюнктивит, атопический дерматит или экзему, способствовать развитию тяжелой бронхиальной астмы. Индуцировать микогенную аллергию могут микромицеты родов: *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Phoma*, *Penicillium* и другие [8], которые были отмечены нами и на обследованных объектах в Арктике. Кроме того, микроскопические грибы могут быть причиной системных микозов. Особенно опасны они для людей с ослабленным иммунитетом. Почти все эти грибы имеют мелкие споры, которые легко переносятся воздушными потоками как во внешней среде, так и внутри помещений полярных станций.

В целом полученные данные указывают на необходимость контроля численности условно патогенных и аллергенных грибов, встречающихся в районах расположения арктических поселений. Такой контроль позволит значительно снизить риск микогенной сенсибилизации работающих там людей, а в ряде случаев и опасность возникновения грибковых инфекций, что даст возможность повысить качество жизни и работы человека в арктическом регионе.

Благодарим ВАЭ ААНИИ за организацию и финансирование экспедиционных работ, а также капитана НЭС «Михаил Сомов», начальника экспедиции и всех сотрудников экспедиции за помощь в работе.

Работа частично выполнялась в рамках гос. задания согласно тематическому плану БИН РАН по теме № 01201255604, программе фундаментальных исследований Президиума РАН и гранта РФФИ 16-04-01649.

Список литературы / References

1. Власов Д. Ю., Горбунов Г. А., Крыленков В. А., Лукин В. В., Сафронова Е. В., Сенкевич Ю. И. Микромицеты из районов расположения антарктических полярных станций (Западная Антарктика) // Микология и фитопатология. 2006. Т. 40, № 3. С. 202–211.
2. Vlasov D. Yu., Gorbunov G. A., Krylenkov V. A., Lukin V. V., Safronova E. V., Senkevich Yu. I. Micromycetes from the Polar Stations area in Western Antarctica. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and phytopathology]. 2006, 40 (3), pp. 202-211. [In Russian]
3. Власов Д. Ю., Зеленская М. С., Кирицели И. Ю., Абакумов Е. В., Крыленков В. А., Лукин В. В. Грибы на природных и антропогенных субстратах в Западной Антарктике // Микология и фитопатология. 2012. Т. 46, № 1. С. 20–26.
4. Vlasov D. Yu., Zelenskaya M. S., Kiritsideli I. Yu., Abakumov E. V., Krylenkov V. A., Lukin V. V. Fungi on the

natural and anthropogenic substrates in west Antarctica. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and phytopathology]. 2012, 46 (1), pp. 20-26. [In Russian]

3. *Кирцидели И. Ю., Власов Д. Ю., Крыленков В. А., Соколов В. Т.* Аэромикота в районах расположения Арктических станций России в акваториях Белого, Баренцева и Карского морей // *Микология и фитопатология*. 2011. Т. 45, № 3. С. 228–239.

Kirtsideli I. Yu., Vlasov D. Yu., Krylenkov V. A., Sokolov V. T. Airborne fungal in the areas of Russian arctic station near White, Barents and Kara sea. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and phytopathology]. 2011, 46 (3), pp. 228-239. [In Russian]

4. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: МПР РФ, 1992. 64 с.

Kriterii otsenki ekologicheskoi obstanovki territorii dlya vyavleniya zon chrezvychainoi ekologicheskoi situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya [Criteria for assessing the ecological situation in the territories for identifying zones of emergency ecological situation and zones of ecological disaster]. Moscow, 1992, 64 p.

5. *Крыленков В. А.* Комплексные мониторинговые исследования среды обитания человека в полярных регионах. Характеристика и роль процессов биоповреждения материалов, изделий и сооружений в среде обитания людей. СПб.: Изд-во ВВМ, 2014. 125 с.

Krylenkov V. A. *Kompleksnyye monitoringovyye issledovaniya sredy obitaniya cheloveka v polyarnykh regionakh. Kharakteristika i rol' protsessov biopovrezhdeniya materialov, izdelii i sooruzhenii v srede obitaniya lyudei* [Integrated monitoring studies of the human environment in the polar regions. Characteristics and role of the processes of biodeterioration of materials, products and structures in the environment of people]. Saint Petersburg, 2014, 125 p.

6. *Крыленков В. А., Горбунов Г. А., Лукин В. В., Соколов В. Т.* Горизонты высоких широт. Формирование системы экологического контроля и технологического надзора за полярными регионами // *Берг-Коллегия*. 2010. Т. 11, № 74. С. 9–11.

Krylenkov V. A., Gorbunov G. A., Lukin V. V., Sokolov V. T. Horizons at high latitudes. Formation of environmental control systems and technological supervision of the polar regions. *Berg-Kollegia* [Berg Collegium]. 2010, 11 (74), pp. 9-11. [In Russian]

7. Санитарные правила СП 1.3.2322-08 Безопасность работы с микроорганизмами III–IV групп патогенности (опасности) и возбудителями паразитарных инфекций. 2008. 72 с.

Sanitary rules SP 1.3.2322-08 Safeness work with microorganisms of III-IV pathogenicity groups (hazard) and agents of parasitic infections. 2008, 72 p. [In Russian]

8. *Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М.* Определитель патогенных и условно патогенных грибов. М.: Мир, 2001. 469 с.

Satton D., Fotergill A., Rinaldi M. *Opredelitel' patogennykh*

i uslovno patogennykh gribov [The determinant of pathogenic and opportunistic fungi]. 2001. Moscow, Mir Publ., 469 p.

9. Ainsworth and Bisby's Dictionary of the Fungi. 9th ed. Eds.: P.M. Kirk et al., Surrey, CABI, 2001, 655 p.

10. Bilasiewicz D., Czarnecki B. Microfungi in the aerosphere of the Arctowski Polar Station. *Polish polar res.* 1999, 20 (4), pp. 319-324.

11. Duncan S. M., Farrell R. L., Jordan N., Jurgens J. A., Blanchette R. A. Monitoring and identification of airborne fungi at historic locations on Ross Island, Antarctica. *Polar Sci.* 2010, 4, pp. 275-283.

12. Gilichinsky D. Permafrost as a microbial habitat. In: *Encyclopaedia of Environmental Microbiology*. 2002, pp. 932-956.

13. Hoog G. S., Guarro J., Gene J., Figueras M. J. Atlas of clinical fungi: the ultimate benchtool for diagnostics. A pilot version of the 3rd ed, CD-ROM. Centraalbureau voor Schimmelcultures, KNAW Fungal Biodiversity Centre/ Universitat Rovira i Virgili, Utrecht, Netherlands, 2009, 1126 p.

14. Hsiao C. R., Huang L., Bouchara J. P., Barton R., Li H. C., Chang T. C. Identification of medically important molds by an oligonucleotide array. *J. Clin. Microbiol.* 2005, 43 (8), pp. 3760-3768.

15. Johansen S., Hafsten U. Airborne pollen and spore registrations at Ny-Alesund, Svalbard, summer 1986. *Polar Res.* 1988, 6, pp. 11-17.

16. Kurtzman C. P., Robnett C. J. Identification and phylogeny of ascomycetous yeasts from analysis of nuclear large subunit (26S) ribosomal DNA partial sequences. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 1998, 73 (4), pp. 331-371.

17. Li H. C., Bouchara J. P., Hsu M. M., Barton R., Chang T. C. Identification of dermatophytes by an oligonucleotide array. *J. Clin. Microbiol.* 2007, 45 (10), pp. 3160-3166.

18. Lopatina A., Krylenkov V., Severinov K. Activity and bacterial diversity of snow around Russian Antarctic stations. *Res. Microbiol.* 2013, 164 (9), pp. 949-958.

19. Marshall W. A. Seasonality in Antarctic airborne fungal spores. *Appl. Environm. Microbiol.* 1997, 63 (6), pp. 2240-2245.

20. Simon-Nobbe B., Denk U., Poll V., Rid R., Breitenbach M. The spectrum of fungal allergy. *Allergy and Immunology.* 2008, 145, pp. 58-86.

21. Vermani M., Vijayan V. K., Agarwal M. K. Identification of *Aspergillus* (*A. flavus* and *A. niger*) Allergens and Heterogeneity of Allergic Patients' IgE Response. *Iranian Journal of Allergy, Asthma and Immunology.* 2015, 14 (4), pp. 361-373.

Контактная информация:

Власов Дмитрий Юрьевич — доктор биологических наук, доцент по специальности «Микология», ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии грибов ФГБУН «Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН»

Адрес: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2.

E-mail: dmitry.vlasov@mail.ru