МИКОЛОГИЯ И ФИТОПАТОЛОГИЯ, 2023, том 57, № 4, с. 231–246

БИОРАЗНООБРАЗИЕ, СИСТЕМАТИКА, ЭКОЛОГИЯ

УДК 582.28: 614.7

ЧИСЛЕННОСТЬ И ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КУЛЬТИВИРУЕМЫХ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ГРИБОВ ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

© 2023 г. Е. А. Исакова[1,*], М. В. Корнейкова[2,3,], В. А. Мязин[2,***]**

[1]*Кольский научный центр РАН, 184209 Апатиты, Россия*

[2]*Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского НЦ РАН, 184209 Апатиты, Россия*

[3]*Российский университет дружбы народов, 117198 Москва, Россия*

**e-mail: ya.kristina-i2014@yandex.ru*

***e-mail: korneykova.maria@mail.ru*

****e-mail: myazinv@mail.ru*

Поступила в редакцию 28.03.2023 г.
После доработки 29.04.2023 г.
Принята к публикации 20.05.2023 г.

Исследованы численность и видовое разнообразие культивируемых микроскопических грибов, выделенных из морской воды, грунта литорали и почвы супралиторали на побережье Баренцева моря. Сообщества микромицетов представлены преимущественно факультативными морскими грибами терригенного происхождения. Выделенные изоляты в основном относились к анаморфным грибам отдела *Ascomycota*, в состав которых вошли характерные для холодных северных морей роды *Penicillium*, *Aspergillus*, *Talaromyces*, *Trichoderma*, *Acremonium* и др. Часто встречаемыми на исследуемой территории были виды: *Aspergillus brasiliensis*, *Penicillium hirsutum*, *P. glabrum*, *P. spinulosum*, *P. janczewskii*, *Trichoderma koningii*, *T. viride*, *Talaromyces purpureogenus*. Количество грибов в прибрежной почве на два-три порядка выше, чем в грунтах литорали и в среднем составляло от 4 до 13 тыс. КОЕ/г. В морской воде численность грибов насчитывала всего несколько единиц на мл. Максимальное количество сахаролитических грибов отмечено в почвах супралиторали. В грунтах литорали и морской воде численность углеводородокисляющих грибов изменялась от 52.5 до 143.3 КОЕ/г и от 0 до 4 КОЕ/мл соответственно. Численность сахаролитиков варьировала от 0 до 113 КОЕ/г – в грунте литорали и от 0 до 3 КОЕ/мл – в морской воде на всех исследованных участках, за исключением наиболее загрязненных, где достигала значений 200 КОЕ/г. Увеличение доли сахаролитических грибов в морской воде и грунте литорали может свидетельствовать об антропогенном загрязнении данной территории, в том числе углеводородами и другими соединениями органической природы. Урбанизированные р-ны Кольского залива с высокой антропогенной нагрузкой характеризовались более богатым видовым разнообразием и увеличением доли патогенных и условно-патогенных форм микроскопических грибов. Высокий уровень загрязнения углеводородами негативно отразился на численности сахаролитических грибов, в то время как более низкие значения содержания углеводородов не влияли на количество сахаролитиков. Численность грибов, выращенных на минеральной среде Чапека с добавлением нефти, снижалась по мере увеличения количества углеводородов как в морской воде, так и в грунте литорали, что может свидетельствовать о высокой уязвимости микромицетов к данному типу загрязнения.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, Арктика, Кольский полуостров, микобиота морских экосистем, обилие микромицетов, углеводороды нефти

DOI: 10.31857/S0026364823040037, **EDN:** VURGUI

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день микроскопические грибы в морской среде остаются недостаточно исследованной группой микроорганизмов (Khudyakova, 2004; Kirtsideli et al., 2012; Richards et al., 2012; Li et al., 2014; Raghukumar, 2017; Khusnulina et al., 2018; Jones et al., 2019), их изучение в основном проводилось в р-нах южных и умеренных широт (Rheinheimer, 1977; Kohlmeyer, Kohlmeyer, 1979; Hyde, Pointing, 2000). С начала 2000-х гг. заметно возрастает интерес к изучению микобиоты северных морских экосистем (Bubnova, 2005; Kirtsideli, 2009; Kirtsideli et al., 2012, 2016; Rämä et al. 2014; Bubnova, Nikitin, 2017; Bubnova, Konovalova, 2018; Khusnulina et al., 2018), но сведений о грибах арктических морей крайне мало (Kirtsideli et al., 2012; Bubnova, Nikitin, 2017).

Актуальность исследования микобиоты в Арктике связана главным образом с изучением биоразнообразия малоосвоенной и труднодоступной арктической зоны, с поиском психротрофных видов, обладающих полезными для человека биоло-

гическими свойствами, и с постоянным привносом сюда чужеродных видов микроскопических грибов в результате их распространения воздушными потоками, морской водой, антропогенными путями, на дрейфующей древесине, с животными и растительными субстратами (Zaytsev, Kopytina, 2009; Kirtsideli et al., 2016, 2018; Raghukumar, 2017).

Большой интерес среди микологов вызывает изучение микобиоты на морском побережье/морских пляжах в условиях загрязнения (Li et al., 2014; Bovio et al., 2017; Park et al., 2019; Maamar et al., 2020), урбанизации и антропогенного пресса (Marfenina, 2002; Khudyakova, 2004; Kirtsideli et al., 2009; Slinkina, 2009; Gonçalves et al., 2019). Р-ны с высокой антропогенной нагрузкой имеются и на побережье Баренцева моря (Кольский п-ов), где располагаются населенные пункты, объекты промышленной инфраструктуры, осуществляется интенсивное судоходство. Весь морской транспорт и портовые сооружения могут являться источником нефтяного загрязнения. Нефтезагрязнение морской среды совместно с хозяйственной деятельностью человека может влиять на разнообразие прибрежной микобиоты, где микроскопические грибы наряду с бактериями являются первичными деструкторами высокомолекулярных нефтяных углеводородов (Amend, 2019). В то же время, “эвтрофикация и загрязнение морской среды создают условия для массового развития и накопления патогенных и оппортунистических видов грибов” (Zaytsev, Kopytina, 2009).

Выделенные из морских экосистем мицелиальные грибы не обязательно представляют собой истинно морские виды, особенно на границе раздела море/суша. Большинство из них являются факультативными морскими грибами, имеющими терригенное происхождение (Kohlmeyer, Kohlmeyer, 1979; Raghukumar, 2017; Jones et al., 2019), что свидетельствует об их эффективных адаптивных способностях (Amend, 2019). Подобные грибы легко изолируются культуральными методами, способны поддерживаться на синтетических питательных средах, однако представляют собой лишь небольшую часть микробного разнообразия морских экосистем (Richards et al., 2012; Park et al., 2019).

Цель данной работы – изучить численность и видовое разнообразие культивируемых микроскопических грибов прибрежных морских экосистем Баренцевоморского побережья Кольского полуострова в условиях антропогенной нагрузки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Географическая характеристика районов исследования. Отбор образцов морской воды, прибрежной почвы и грунта литорали проводили в летне-осенний период на побережье Баренцева моря в р-не Кольского залива (г. Кола, пос. Белокаменка и Росляково), Печенского залива (пос. Печенга) и губы Зеленецкая (пос. Дальние Зеленцы) (рис. 1).

Кольский залив – самый большой фьорд Баренцева моря на северном берегу Кольского п-ова (Malavenda, Malavenda, 2012), считается р-ном с высокой антропогенной нагрузкой из-за наличия по берегам залива крупных промышленных предприятий, морского порта, терминалов хранения и перегрузки нефтепродуктов и крупных населенных пунктов (Мурманск, Североморск, Кола). Печенгский залив Баренцева моря, расположенный на северо-западе Мурманской обл., испытывает меньший антропогенный стресс, который определяется в основном деятельностью предприятий цветной металлургии (г. Заполярный, пос. Никель) и рыбоводческих хозяйств в р-не выхода залива в море (Gorin, Leman, 2017). Зеленецкая губа является мелководной бухтой в восточной части Кольского п-ова (Восточный Мурман) и относится к наименее нарушенным территориям, где присутствует туристическая и рекреационная нагрузка (Ilyin et al., 2016).

Все р-ны исследования находятся в пределах Мурманской обл. Общая их характеристика представлена в табл. 1.

Отбор проб. Образцы прибрежной почвы и грунта литорали для микологического анализа стерильно отбирали в zip-пакеты, водные образцы – в пластиковые стерильные флаконы, в трех–пятикратной повторности по стандартным методикам (Zvyagintsev, 1991; GOST 31861-2012). Глубина отбора почвенных образцов составляла 0–7 см. Водные пробы отбирали в толще воды, погружая флакон на глубину 10–15 см. Всего отобрано 96 образцов, из них 64 – почвенные и 32 – водные пробы. Образцы воды для определения содержания нефтяных углеводородов отбирали в стеклянные бутыли объемом 1 л и фиксировали четыреххлористым углеродом.

Микологический анализ. Выявление и количественный учет численности микромицетов проводили методом предельных разведений почвенной суспензии (гравий, песок – 10^{-2}, почва – 10^{-3}) и морской воды (без разведения) по 0.5 мл с последующим глубинным посевом на сусло-агар (сахаролитические грибы), минеральную среду Чапека с добавлением нефти (1% по объему) в качестве единственного источника углерода (углеводородокисляющие, УО-грибы), и на агаризованную минеральную среду на основе морской воды согласно прописи (Andersen, 2005) следующего состава (г/л): NaCl – 24.54; Na_2SO_4 – 4.09; KCl – 0.7; $NaHCO_3$ – 0.2; KBr – 0.1; H_3BO_3 – 0.003; NaF – 0.003; $MgCl_2 \times 6H_2O$ – 11.1; $CaCl_2 \times 2H_2O$ – 1.54; $SrCl_2 \times 6H_2O$ – 0.017. Подсчет числа колоний проводили через 7–10 дней культивирования при 27°C и через 21 сут – при 5–6°C. Данные по общей численности микроорганизмов выражали в

Рис. 1. Географическое расположение р-нов исследования: *1* – г. Кола; *2* – пос. Белокаменка; *3* – мкр-н Росляково (г. Мурманск); *4* – пос. Печенга; *5* – пос. Дальние Зеленцы.

КОЕ/мл или КОЕ/г. Видовую идентификацию чистых культур микромицетов проводили на сусло-агаре и агаризованной среде Чапека с использованием светового микроскопа Olympus CX41 (Япония) по культурально-морфологическим признакам. Измерения и микрофотографии микологических структур, фиксируемых в 5%-м р-ре этанола, делали с помощью камеры ProgRes CT3 (Jenoptik AG, Германия) и программы ProgRes CapturePro 2.8.8 (Jenoptik AG, Германия). Для определения таксономической принадлежности грибов использовали определители и статьи российских и зарубежных авторов (Gams, 1971; Egorova, 1986; Satton et al., 2001; Klich, 2002; Domsch et al., 2007; Koval et al., 2016; de Hoog et al., 2020), названия таксонов унифицировали с использованием базы данных Index Fungorum (www.indexfungorum.org/Names/Names.asp).

Химический анализ. Величину pH (соотношение почва : вода = 1 : 5) определяли ионометрическим методом (pH/ION Analyzer Radelkis OP-300, Венгрия) по стандартной методике (GOST 26423-85). Содержание общего органического углерода определяли озолением почвы хромовой смесью при нагревании до 150°C по методу Никитина с колориметрическим окончанием по Орлову–Гриндель (Mineev, 2001). Количество углерода органических соединений рассчитывали по количеству образующихся в результате реакции ионов Cr^{3+}, которые определяли колориметрически (λ = = 590 нм). Анализ проб на содержание нефтяных углеводородов проводили методом ИК-спектрометрии, основанным на измерении интегральной интенсивности поглощения C–H-связей различных классов органических соединений с использованием анализатора АН-2 (“Нефтехимавтоматика”, Россия) согласно принятым методикам (PND F 14.1:2:4.5-95; PND F 16.1:2.2.22-98).

Статистический анализ. Статистическую обработку полученных данных проводили в программе Microsoft Office Excel, 2010 и с использованием программного пакета R 4.0.3. Для характеристики структуры сообществ микроскопических грибов Баренцевоморского побережья использовали индекс обилия видов, показывающий их значимость в данных сообществах и равный отношению колоний конкретного вида к общему числу колоний, выросших при посеве образцов данного объекта, а также пространственную частоту встречаемости, которая отражает степень однородности распространения видов в изучаемых субстратах, и равна отношению числа образцов, в которых обнаружен

Таблица 1. Общая характеристика исследуемых р-нов баренцевоморского побережья Мурманской обл.

Характеризуемые параметры		Р-ны исследования				
Название залива/губы		Кольский залив			Печенгская губа	Зеленецкая губа
Населенный пункт		г. Кола	пос. Белокаменка	мкр-н Росляково (г. Мурманск)	пос. Печенга	пос. Дальние Зеленцы
Координаты (место отбора образцов)		68°53′07.1″ с.ш. 33°02′22.2″ в.д.	69°04′35.6″ с.ш. 33°10′12.2″ в.д.	69°03′22.3″ с.ш. 33°13′39.0″ в.д.	69°34′38.3″ с.ш., 31°13′59.1″ в.д.	69°07′01.0″ с.ш. 36°05′03.6″ в.д.
Население, тыс. чел.		9.5	~0.1 (+4.0 временное)	9.0	3.5	~0.05
Площадь акватории, км^2		180			21	2.2
Максимальная глубина, м		300			160	18
Приливно-отливные явления		значительные, полусуточные до 4 м			значительные до 4 м	слабые
Соленость, ‰		33.8–34.5			33.0–34.8	32.2–34.3
Впадающие реки/ручьи		Кола	Белокаменка	–	Печенга	два ручья
Характеристика прибрежного участка	Супралитораль	подножие берегового уступа; почва: 0–3 см – органогенная, глубже 3 см – песчано-гравийная	почва: 0–7 см – органогенная, глубже 7 см – песок; *Leymus arenarius*, *Lathyrus aleuticus*, *Mertensia maritima*, *Festuca arenararia*, *Ligusticum scoticum*, *Achillea apiculata*, *Atriplex glabriuscula*, *Chamaenerion angustifolium*	подножие берегового уступа; почва: 0–5 см – органогенная, глубже 5 см – песчано-гравийная; *Achillea apiculata*, *Chamaenerion angustifolium*, *Salix* sp., *Taraxacum officinale*, *Festuca* sp.	почва: 0–5 см – органогенная, глубже 5 см – песок; *Solidago lapponica*, *Chamaenerion angustifolium*, *Salix* sp., *Festuca arenaria*	0–2 см – органогенная, глубже 2 см – песок
	Литораль	каменистая, местами отложения песка с илом	песчано-галечная, с наличием больших камней	каменистая, местами отложения песка и гравия	песчаная	каменистая, местами отложения гравия и песка
Объекты инфраструктуры, потенциальные источники техногенного загрязнения		железнодорожная станция; пивоваренный завод; промышленные предприятия; автотранспортные предприятия	нефтяной танкер-накопитель (2004–2015 гг.); Центр строительства крупнотоннажных морских сооружений (в стадии строительства); вахтовый поселок строителей	судоремонтный завод	воинские части Министерства обороны РФ; причал для маломерных и среднетоннажных судов; рыбоводческие и рыбоперерабатывающие предприятия	спортивно-туристический дайвинговый центр; причал для маломерных и среднетоннажных судов

Примечание. Данные по: Matishov, Dzhenyuk (1997); Bogdanova (2015); Massabyu et al. (2015); Gorin, Leman (2017); Korneykova et al. (2021); Wikipedia (2023).

Таблица 2. Значение pH среды, содержание органического углерода и нефтяных углеводородов в р-нах исследования

Среды	Кола	Белокаменка	Росляково	Печенга	Дальние Зеленцы
pH среды					
Почва супралиторали	5.73 ± 0.29	5.64 ± 0.22	5.94 ± 0.18	4.81 ± 0.19	6.02 ± 0.17
Грунт литорали	6.33 ± 0.25	6.88 ± 0.34	8.21 ± 0.33	7.23 ± 0.22	6.99 ± 0.32
Содержание органического углерода, %					
Почва супралиторали	14.47 ± 1.32	13.25 ± 1.46	17.44 ± 2.62	13.50 ± 1.22	7.15 ± 1.01
Грунт литорали	0.81 ± 0.07	0.24 ± 0.03	1.32 ± 0.21	0.67 ± 0.07	0.41 ± 0.05
Содержание нефтяных углеводородов, мг/кг					
Почва супралиторали	22730 ± 5683	839 ± 210	203 ± 51	130 ± 33	46 ± 12
Грунт литорали	711 ± 281	285 ± 71	252 ± 63	59 ± 15	44 ± 11
Морская вода	0.32 ± 0.14	0.038 ± 0.016	0.039 ± 0.020	0.027 ± 0.019	0.047 ± 0.011

данный вид, к общему числу образцов (Magurran, 1988; Mirchink, 1988; Kurakov, 2001). Экологические характеристики выражали в процентах. Анализ сходства видового состава проводили с помощью кластерного анализа, реализованного в пакете “vegan”, на основе критерия сходства Сёренсена (Magurran, 1988; Mirchink, 1988; Kurakov, 2001). Для построения дендрограммы использовали метод “ближайшего соседа” (Mastitskiy, Shitikov, 2014).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значение pH среды, содержание органического углерода и нефтяных углеводородов

Анализ образцов почвы, грунта литорали и морской воды показал, что участки в р-не Кольского залива испытывают антропогенную нагрузку (табл. 2). Прибрежный участок в г. Кола загрязнен нефтепродуктами в результате сброса неочищенных сточных вод в прибрежную зону. Участки близ населенных пунктов Росляково, Белокаменка, Печенга относятся к территориям с возможным нефтяным загрязнением. На участке в районе Зеленецкой губы не было обнаружено загрязнения углеводородами, что позволяет отнести его к условно фоновой территории. Содержание углеводородов в воде в районе г. Кола в 6 раз превышало установленный норматив.

Значение pH прибрежных почв находилось в слабокислом диапазоне, грунтов литорали – в нейтральном и слабощелочном, что определяется влиянием морской воды в приливно-отливной зоне. Максимальное содержание органического углерода отмечено в прибрежных почвах и грунтах литорали в районе пп. Росляково и Кола, минимальное – в Дальних Зеленцах и Печенге.

Видовое разнообразие и таксономическая структура микобиоты

В исследованных местообитаниях отмечена низкая численность и небогатое видовое разнообразие культивируемых микроскопических грибов (табл. 3). Всего из образцов воды и грунта выделено 60 видов микромицетов, три морфотипа белого и один темного стерильного мицелия. Согласно таксономической принадлежности, грибы относились к 17 родам, 11 семействам, 7 порядкам, 5 классам и 2 отделам. Все выделенные изоляты относились к анаморфным грибам отдела *Ascomycota*, за исключением одного вида дрожжей *Rhodotorula* sp. из отдела *Basidiomycota*.

Согласно списку морских грибов (Jones et al., 2019), зарегистрированных на сайте www.marinefungi.org, 70% выявленных видов можно отнести к факультативным морским грибам (табл. 3), имеющим терригенное происхождение. Остальные 30% микромицетов являются типичными почвенными грибами. Истинно облигатных морских грибов нами не выделено.

Наиболее многовидовой род *Penicillium*, представленный 30 видами (50% видового разнообразия выявленной микобиоты), был самым многочисленным для всех исследуемых участков (табл. 3). Значительно меньшим разнообразием характеризовались другие роды грибов. Так, род *Aspergillus* представлен семью видами, роды *Talaromyces* и *Trichoderma* включали по четыре вида, *Acremonium* – три вида. Остальные грибы представлены одним видом. Большинство выделенных родов микромицетов являются типичными представителями холодных полярных областей (Cantrell et al., 2011; Hassan et al., 2016; Bubnova, Konovalova, 2018).

Хотя виды рода *Penicillium* обычно считаются почвенными грибами, нередки случаи, когда они встречаются на морском побережье (Gonçalves et al., 2019; Park et al., 2019) и даже в гиперсалинных местообитаниях (Butinar, 2011), что свидетельствует об их широком адаптационном потенциале. Характерные для более южных широт грибы рода *Aspergillus*, аналогично роду *Penicillium*, часто встречаются в почвах на морских берегах, причем большинство из них являются патогенными и условно патогенными видами (Marfenina, 2002).

Таблица 3. Видовое разнообразие и таксономическая структура микобиоты баренцевоморского побережья Мурманской обл.

Р-ны исследования	Кола			Белокаменка			Росляково			Печенга			Дальние Зеленцы		
Название видов	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Ascomycota															
Eurotiomycetes															
Eurotiales															
Aspergillaceae															
#***Aspergillus brasiliensis*** Varga, Frisvad et Samson			+		+	+			+		+	+	+		+
		+			+	+								+	
°#***A. flavus*** Link															
°#***A. fumigatus*** Fresen.		+	+	+									+		
A. sydowii (Bainier et Sartory) Thom et Church			+			+									
#***A. terreus*** Thom					+										
A. ustus (Bainier) Thom et Church								+							
A. wentii Wehmer							+								
#***Paecilomyces variotii*** Bainier						+		+		+	+		+	+	+
Penicillium albidum Sopp								+							
P. atramentosum Thom								+							
°#***P. aurantiogriseum*** Dierckx		+	+		+	+		+							
#***P. brevicompactum*** Dierckx											+			+	+
°***P. camemberti*** Thom				+											
°#***P. canescens*** Sopp					+				+					+	
°#***P. chrysogenum*** Thom	+	+			+	+					+				+
°***P. corylophilum*** Dierckx				+	+	+									
°#***P. decumbens*** Thom	+	+	+		+										
P. dierckxii Biourge					+			+							
#***P. glabrum*** (Wehmer) Westling		+			+			+	+	+					+
P. granulatum Bainier	+														
P. herquei BainieretSartory					+	+									
°***P. hirsutum*** Dierckx		+		+	+	+		+			+	+		+	+
°***P. implicatum*** Biourge	+														
°***P. janczewskii*** K.W. Zaleski	+	+		+	+	+	+		+		+	+		+	+
P. jensenii K.W. Zaleski				+	+	+									
P. miczynskii K.W. Zaleski		+													
°***P. nalgiovense*** Laxa		+						+							
P. paradoxum (Fennell et Raper) Samson, Houbraken, Visagie et Frisvad												+			
°***P. raistrickii*** G. Sm.			+			+									+
P. restrictum J.C. Gilman et E.V. Abbott										+					
#***P. simplicissimum*** (Oudem.) Thom	+		+	+	+	+	+								
P. solitum Westling						+						+			
°#***P. spinulosum*** Thom		+		+			+		+			+		+	+
P. thomii Maire		+			+										
P. velutinum J.F.H. Beyma						+									
P. waksmanii K.W. Zaleski														+	

Таблица 3. Продолжение

Р-ны исследования	Кола			Белокаменка			Росляково			Печенга			Дальние Зеленцы		
Название видов	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
P. westlingii K.W. Zaleski										+	+		+	+	+
Penicillium sp.			+			+									
Talaromyces duclauxii (Delacr.) Samson, N. Yilmaz, Frisvad et Seifert						+									
#***T. purpureogenus*** Samson, N. Yilmaz, Houbraken, Spierenb., Seifert, Peterson, Varga et Frisvad		+	+		+	+	+				+	+	+	+	
T. ruber (Stoll) N. Yilmaz, Houbraken, Frisvad et Samson						+								+	
#***T. rugulosus*** (Thom) Samson, N. Yilmaz, Frisvad et Seifert									+	+			+		
Trichocomaceae															
Ascospirella lutea (Zukal) Houbraken, Frisvad et Samson				+	+	+					+				
Leotiomycetes															
Thelebolales															
Pseudeurotiaceae															
#*Geomyces pannorum* (Link) Sigler et J.W. Carmich.							+								
Helotiales															
Incertae sedis															
#*Scytalidium* sp.														+	
Sordariomycetes															
Hypocreales															
Incertae sedis															
Acremonium charticola (Lindau) W. Gams			+												
°*Acremonium* sp. st. 1 Link						+									
Acremonium sp. st. 2 Link					+										
°*Cephalosporium coremioides* Raillo			+												
#*Sarocladium terricola* (J.H. Mill., Giddens et A.A. Foster) A. Giraldo, Gené et Guarro		+													
Nectriaceae															
#***Fusarium oxysporum*** Schltdl.	+														
Cordycipitaceae															
Cordyceps farinosa (Holmsk.) Kepler, B. Shrestha et Spatafora		+	+		+	+			+						
Ophiocordycipitaceae															
°#***Purpureocillium lilacinum*** (Thom) Luangsa-ard, Houbraken, Hywel-Jones et Samson		+	+		+		+								
Tolypocladium inflatum W. Gams															+

Таблица 3. Продолжение

Р-ны исследования	Кола			Белокаменка			Росляково			Печенга			Дальние Зеленцы		
Название видов	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Hypocreaceae															
Trichoderma ghanense Yoshim. Doi, Y. Abe et Sugiy.							+								
#***T. koningii*** Oudem.		+	+		+	+			+					+	
°***T. polysporum*** (Link) Rifai			+		+										
°#***T. viride*** Pers.		+	+		+	+		+	+			+			+
Cephalothecales															
Cephalothecaceae															
Phialemonium inflatum (Burnside) Dania García, Perdomo, Gené, Cano et Guarro					+										
Basidiomycota															
Microbotryomycetes															
Incertae sedis															
***Rhodotorula* sp.** F.C. Harrison				+											
Agonomycetales															
Темноокрашенный стерильный мицелий		+													
Белый стерильный мицелий		+			+			+	+			+			+
Общее число видов	7	20	16	10	26	23	8	11	10	5	9	9	6	13	13
	31			39			24			16			22		

Примечание. Полужирным шрифтом отмечены виды, зарегистрированные на веб-сайте морских грибов www.marinefungi.org. 1 – морская вода; 2 – грунт литорали; 3 – почва супралиторали; психротрофные виды, выделенные при 5–6°C; #патогенные и потенциально патогенные грибы.

Оппортунистические грибы на Баренцевоморском побережье встречаются достаточно часто, поскольку для их развития оптимальны нейтральная и слабощелочная среда, присущие грунтам прибрежной зоны (Marfenina, 2002). С другой стороны, накопление патогенных и условно-патогенных форм микроскопических грибов может происходить под влиянием нефтяного загрязнения (Kireeva et al., 2006; Korneykova et al., 2011; Doneryan et al., 2016), а также на урбанизированных территориях (Marfenina, 2005; Evdokimova et al., 2007; Kirtsideli et al., 2016) и в морских прибрежных р-нах, испытывающих антропогенное воздействие (Marfenina, 2002; Khudyakova, 2004; Slinkina, 2009). В нашем исследовании также отмечена тенденция к накоплению грибов этой группы (табл. 3).

Выделенные нами представители рода *Trichoderma* имеют широкое географическое распространение, присутствуют в самых разных средах обитания, включая почву и морские грунты (Song et al., 2010). Представители рода *Acremonium* и другие *Cephalosporium*-подобные грибы также характерны для холодных северных морских экосистем (Bubnova, Konovalova, 2018).

Часто выделяемыми в разных субстратах и местах отбора образцов оказались следующие виды: *Aspergillus brasiliensis*, *Penicillium hirsutum*, *P. glabrum*, *P. spinulosum*, *P. janczewskii*, *Trichoderma koningii*, *T. viride*, *Talaromyces purpureogenus*. Все перечисленные микромицеты являются широко распространенными видами (Domsch et al., 2007).

Среди выявленных микромицетов 35% видов выделено при температуре 5–6°C (табл. 3), что позволяет считать полученные изоляты психротрофами, способными развиваться и расти при достаточно низких температурах в условиях северных морских экосистем. В эту группу вошли такие виды, как *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *Acremonium* sp., *Cephalosporium coremioides*, *Purpureocillium lilacinum*, *Trichoderma polysporum*, *T. viride*, многие виды рода *Penicillium*, а также темноокрашенный стерильный мицелий.

На рис. 2 представлена дендрограмма сходства видового состава микроскопических грибов районов исследования, согласно которой наиболее

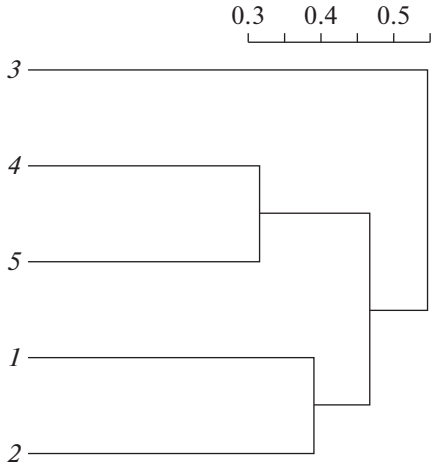

Рис. 2. Дендрограмма сходства видового состава микроскопических грибов в р-нах исследования. По оси абсцисс – расстояние между вариантами на основе коэффициента Сёренсена. По оси ординат – р-ны исследования: *1* – Кола; *2* – Белокаменка; *3* – Росляково; *4* – Печенга; *5* – Дальние Зеленцы.

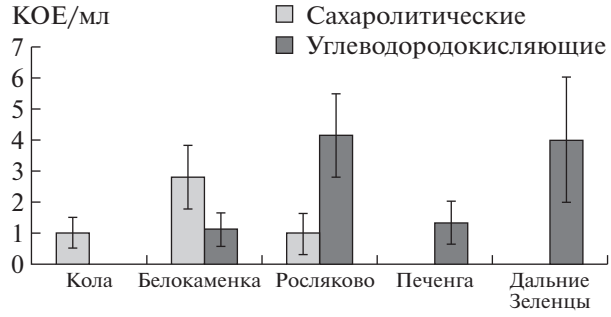

Рис. 3. Численность грибов в морской воде Баренцеворского побережья Мурманской обл.

близкими оказались комплексы микромицетов Печенгского залива и Зеленецкой губы, территориально удаленные от Кольского залива и менее подверженные антропогенному воздействию. Выделенные на этих территориях грибы, вероятно, являются видами с широкой экологической амплитудой. На участках Кольского залива сообщества микроскопических грибов менее сходны, по-видимому, за счет числа привнесенных человеком новых видов и высокой антропогенной нагрузки.

Численность и видовое разнообразие грибов в морской воде

В морской воде во всех исследуемых р-нах средняя численность микроскопических грибов была низкой и находилась в пределах от 0 до 6 КОЕ/мл (рис. 3).

Грибы из морской воды на среде Чапека с нефтью выделялись лучше, чем на сусло-агаре, что, скорее, связано с компонентным составом питательной среды, схожей по минеральному составу с морской водой.

Максимальная численность УО-грибов наблюдалась в воде Зеленецкой губы. Средняя численность УО-грибов в пос. Росляково была равна 4 КОЕ/мл, в пп. Белокаменка и Печенга эти значения не превышали 1 КОЕ/мл, а в морской воде в р-не г. Кола УО-грибов не обнаружено. Сахаролитические грибы были выделены только из морской воды в р-нах с максимальным антропогенным воздействием, что может косвенно свидетельствовать о наличии в воде легкоразлагаемых органических веществ, доступных для микромицетов. Наличие в воде УО-микромицетов не дает основания полагать, что в данном местообитании присутствуют углеводороды, т.к. максимальная их численность отмечена в условно фоновом р-не пос. Дальние Зеленцы, в то время как в воде с максимальной концентрацией углеводородов (г. Кола) грибы этой группы не выявлены.

Низкая численность микромицетов в морской воде вполне ожидаема, поскольку большинство морских культивируемых грибов, особенно на границе вода/суша, имеют терригенное происхождение (Kirtsideli et al., 2012; Jones et al., 2019). Являясь эпибионтами, т.е. колонизаторами поверхности какого-либо субстрата, такие микромицеты в водную среду попадают путем смыва с прибрежных территорий. В толще морской воды, в отличие от почвенных субстратов, для микобиоты практически отсутствуют ниши, способствующие осмотрофному питанию сапротрофных грибов. Однако в прибрежной зоне имеются альгоценозы, способные обеспечивать такие ниши (Richards et al., 2012), но скорее для облигатных симбиотических морских микромицетов, не культивируемых на синтетических питательных средах (Li et al., 2014). С другой стороны, обнаружение в морской воде грибов может быть свидетельством их адаптации к повышенным условиям солености.

Согласно литературным данным (Kirtsideli et al., 2012), в водах арктических морей разнообразие микромицетов не превышает 5–10 видов, что оказалось вполне сопоставимым с нашими результатами (табл. 3). Согласно микологическому анализу в морской воде встречались следующие виды: в воде Зеленецкой губы – потенциально патогенный вид (de Hoog et al., 2020) *Talaromyces purpurogenus*, в пос. Белокаменка – *Penicillium janczewskii* и *P. spinulosum*, в пос. Росляково – *Trichoderma ghanense* (выделен только в данном местообитании). Несколько изолятов были выделены однократно, такими грибами были: в пос. Росляково – характерный для северных почв вид *Geomyces pannorum* и космополит *Aspergillus wentii*, а в г. Кола – потенциально патогенный (de Hoog et al., 2020) и фитопатогенный (Fravel et al., 2003) микромицет *Fusarium oxysporum*. В Печенгском заливе отмечено са-

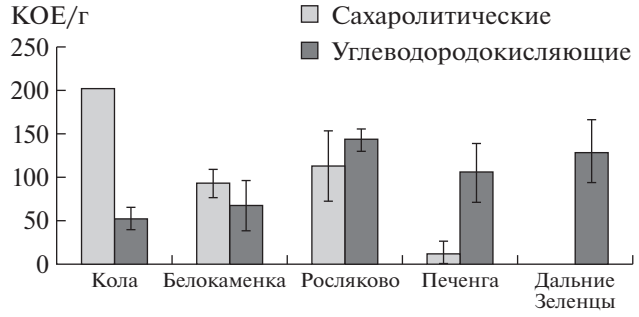

Рис. 4. Численность грибов в грунтах литорали Баренцевоморского побережья Мурманской обл.

мое низкое разнообразие, здесь обнаружено всего три вида микромицетов: *Penicillium janczewskii*, *P. glabrum* и потенциально патогенный вид *Paecilomyces variotii*.

В целом численность и видовой состав культивируемых грибов в морской воде побережья Баренцева моря характеризуются низкими значениями. Однако нужно помнить, что разнообразие водных микромицетов в реальности всегда будет значительно выше, поскольку в воде обязательно присутствуют не культивируемые на синтетических средах облигатно морские грибы.

Численность и видовое разнообразие грибов в грунтах литорали

В грунтах литорали исследуемых районов численность микромицетов отличалась в разы (рис. 4).

Так, средняя численность сахаролитических грибов изменялась от 0 (пос. Дальние Зеленцы) до 200 КОЕ/г абсолютно сухой почвы (г. Кола). Средняя численность сахаролитиков в грунтах литорали в р-не населенных пунктов Белокаменка и Росляково составляла около 100 КОЕ/г, а в р-не Печенгской губы была ниже в 10 раз. Низкая численность (или полное отсутствие) сахаролитиков на морском побережье может объясняться низким содержанием доступных питательных веществ в субстрате, хотя достоверной связи между численностью сахаролитических грибов и содержанием органического углерода в грунте нами выявлено не было. По-видимому, хорошо промываемые во время приливов и отливов песчаный берег Печенгской губы и каменистое побережье Зеленецкой губы (табл. 1) являются мало подходящими субстратами для роста и развития сахаролитических грибов.

Численность УО-грибов находилась в пределах от 40 до 150 КОЕ/г. Максимальные средние значения численности УО-грибов отмечались в грунте литорали в населенных пунктах Росляково, Дальние Зеленцы и Печенга, а в грунте в р-не г. Кола и пос. Белокаменка численность УО-грибов была в два раза ниже. Несмотря на широкий разброс значений, полученные нами результаты превышали данные других исследователей. Так, в работе Е.Н. Бубновой и О.П. Коноваловой (Bubnova, Konovalova, 2018) среднее максимальное значение численности микромицетов в зоне литорали Зеленецкой губы составляло 73 КОЕ/г.

Видовое разнообразие микроскопических грибов в грунтах литорали исследуемых р-нов оказалось значительно выше, чем в морской воде, а в некоторых случаях (р-ны Кольского залива) даже превышало значения для почв супралиторали. Многие выявленные грибы были незначительны по обилию, но при этом характеризовались 100%-й встречаемостью. Доминантными видами (встречаемость не менее 60% по Mirchink, 1988) в р-не Кольского залива были следующие виды: в г. Кола – *Penicillium aurantiogriseum*, *P. glabrum*, *Trichoderma koningii*; в пос. Белокаменка – *P. aurantiogriseum*, *P. hirsutum*, *Cordyceps farinosa*, *Trichoderma koningii*; в Росляково – *P. atramentosum*, *Paecilomyces varioti*, *Trichoderma viride* и с/о mycelia sterilia. Последние доминировали по обилию и частоте встречаемости как в грунтах литорали, так и в прибрежной почве. Доминантными видами в Печенгской губе оказались *Penicillium janczewskii*, *Talaromyces purpureogenus*, в Зеленецкой губе – *Penicillium brevicompactum* и *P. spinulosum*.

Известно, что микроорганизмы в приливных зонах играют важную роль в сохранении биоразнообразия, минерализации органических соединений, деградации поллютантов, в круговороте питательных веществ (Park et al., 2019). Грунты литорали характеризуются мозаичным распределением доступного, необходимого для питания грибов, органического вещества, имеющегося в толще воды и в грунтах (Bubnova, Konovalova, 2018). В то же время в зоне литорали морские микроорганизмы, в том числе и микроскопические грибы, постоянно испытывают водный стресс (высушивание), влияние ветра и волны, влияние прибрежных стоков, температурные перепады и инсоляцию (Mishustina et al., 1985). Так или иначе, все эти факторы могут влиять на распределение, численность и видовое разнообразие грибов зоны литорали.

Численность и видовое разнообразие грибов в почвах супралиторали

В почвах Баренцевоморского побережья численность грибов также варьировала. На всех участках прибрежных почв были выделены как сахаролитические, так и УО-грибы.

В отличие от морской воды и грунта литорали численность сахаролитиков в почвах супралиторали была выше численности УО-грибов на всех участках (рис. 5). Более активное развитие группы сахаролитических грибов связано с тем, что в почвах значительно выше содержание органического

вещества за счет сформированного органогенного горизонта и наличия растительности. Доступные питательные элементы аккумулируются в прибрежных почвах и вымываются с меньшей скоростью, чем в грунтах литорали.

Средняя численность сахаролитических грибов в почвах пос. Белокаменка, Росляково и Печенгской губы оказалась примерно равной и находилась на уровне ~13 тыс. КОЕ/г. В Зеленецкой губе численность грибов была в два раза ниже, а самые низкие значения отмечены в почве в р-не г. Кола.

Максимальное среднее значение численности УО-грибов в прибрежных почвах наблюдалось в пос. Росляково и составляло 7.77 тыс. КОЕ/г (рис. 5). В Зеленецкой губе и Печенгском заливе средняя численность была примерно одинаковой и составляла 5 тыс. КОЕ/г, в пос. Белокаменка – около 4 тыс. КОЕ/г, а в р-не г. Кола оказалась в 5 раз ниже.

В целом численность микроскопических грибов в почвах супралиторали мурманского побережья Баренцева моря согласуется со значениями, полученными в других районах Баренцева моря. Согласно результатам И.Ю. Кирцидели (Kirtsideli, 2009), численность микромицетов в почвах в окрестностях пос. Варандей колебалась в интервале от 2.3 тыс. до 16.2 тыс. КОЕ/г.

Установлена сильная положительная корреляция между численностью УО-грибов в различных средах обитания (морской воде, грунте литорали и прибрежной почве) на всех исследованных участках ($r = 0.86–0.92$). Это может указывать на схожие механизмы распространения и адаптации УО-микромицетов на прибрежных территориях вне зависимости от типа субстрата. В то же время такой связи для сахаролитических грибов отмечено не было, а их максимальная численность приурочена к прибрежной почве, более богатой органическим веществом. В грунтах литорали и морской воде численность УО-грибов превышала численность сахаралитиков на всех исследованных участках, за исключением наиболее загрязненных. Увеличение доли сахаролитических грибов в морской воде и грунте литорали может свидетельствовать об антропогенном загрязнении данной территории, в том числе углеводородами и другими соединениями органической природы.

Как в прибрежной почве, так и в грунте литорали, численность грибов, выращенных на среде Чапека с добавлением нефти, снижалась по мере увеличения количества углеводородов в субстрате ($r = -0.72–0.83$), что может свидетельствовать о высокой уязвимости микромицетов к данному типу загрязнения. Высокий уровень загрязнения, выявленный в прибрежной почве в районе г. Колы, также негативно отразился и на численности сахаролитических грибов, в то время как более низкие значения содержания углеводородов не влияли на количество сахаролитиков.

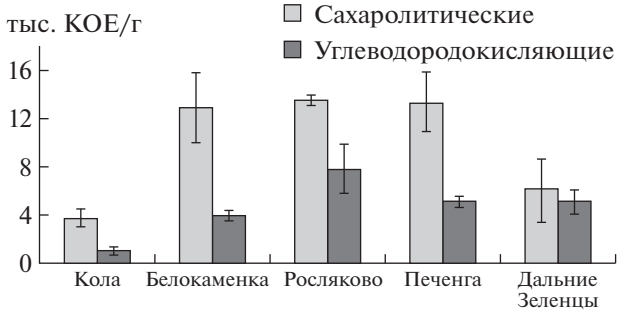

Рис. 5. Численность грибов в почвах супралиторали Баренцевоморского побережья Мурманской обл.

Разнообразие грибов в прибрежных почвах и грунтах литорали было схожим. Наибольшее видовое разнообразие грибов отмечено в почвах супралиторали Кольского залива (пос. Белокаменка), что, обусловлено мощностью и сформированностью органогенного слоя почвы, а также разнообразием растительного покрова. Важным фактором увеличения грибного разнообразия в пос. Белокаменка может служить резкая урбанизация, обусловленная массовым потоком сюда людей в процессе строительства (с 2017 г.) Кольской верфи.

В прибрежных почвах исследуемых р-нов высокое разнообразие отмечено среди представителей порядка *Eurotiales*, меньшее – среди представителей порядка *Hypocreales*. Остальные выявленные грибы других порядков представлены одним-двумя видами.

Доминирующими в почвах супралиторали побережья Баренцева моря были следующие виды: в г. Кола – *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium jensenii*, *P. simplicissimum*, *Trichoderma* sp., в пос. Белокаменка – *Penicillium herquei*, *Talaromyces purpureogenus*, в пос. Росляково – *Penicillium glabrum*, c/o mycelia sterilia. *Penicillium solitum* оказался доминирующим в прибрежных почвах населенных пунктов Белокаменка и Росляково, а также в почвах Печенгского залива. Необходимо отметить, что общим доминантом для обследуемых участков Кольского залива оказался энтомопатогенный (Weng et al., 2019) микромицет *Cordyceps farinosa* с пространственной частотой встречаемости от 60 до 100%. Известно, что данный вид часто встречается на территории Финляндии (Vänninen, 1996), которая граничит с р-ном исследований. Почва – основное место обитания вида *C. farinosa*, однако он может выделяться из воздуха, воды и растений, а также из перьев и помета свободноживущих птиц. Доминирование *C. farinosa*, скорее всего, связано с тем, что он может заражать водных насекомых (таких как комары) (Zimmermann, 2008; Weng et al., 2019), обитающих в прибрежных морских экосистемах.

В Печенгской губе доминантами по пространственной частоте встречаемости оказались виды *Talaromyces purpureogenus* и *Penicillium hirsutum*. В Зеленецкой губе доминировали *P. chrysogenum* и *P. hirsutum*. Со 100%-й встречаемостью в почвах обоих участков встречался белый стерильный мицелий, что отмечали и другие авторы для прибрежных территорий арктических и субарктических морей (Bubnova, 2010; Bubnova, Nikitin, 2017). Формирование стерильного мицелия у грибов является физиологической адаптацией для преодоления отрицательных температур в суровых арктических условиях (Singh, 2006).

В почвах супралиторали часто выделялись близкие к *Penicillium* виды рода *Talaromyces*. Так, *Talaromyces duclauxii* встречался в прибрежных почвах пос. Белокаменка, вид *T. rugulosus* – в прибрежных почвах пос. Росляково. Часто встречаемый (от 30 до 60% по Mirchink, 1988) *T. purpureogenus* отмечен во всех исследуемых р-нах, однако в пос. Росляково он выделен не из почвы, а из морской воды. Микромицеты *T. purpureogenus* и *T. rugulosus* относятся к группе потенциально патогенных грибов (de Hoog et al., 2020). Родственный к *Talaromyces* вид *Ascospirella lutea* встречался в пос. Белокаменка и в Печенгской губе.

Среди представителей рода *Trichoderma* доминирующей по частоте встречаемости (со 100%-й встречаемостью), но с низким обилием, во всех пяти исследуемых р-нах оказалась *T. viride*. Часто выделялась *T. koningii*, она была отмечена на всех участках, кроме Печенгской губы. Микромицет *T. polysporum* был редким видом в прибрежных почвах г. Кола и в грунтах литорали пос. Белокаменка.

Численность и разнообразие прибрежной микобиоты определяется множеством факторов, таких как наличие доступных питательных веществ, механический состав грунта, наличие растительного покрова, гидротермические условия и уровень антропогенного воздействия. В р-нах с выраженной антропогенной нагрузкой наблюдается более высокое грибное разнообразие в почве и песчаном грунте прибрежной зоны и увеличение доли условно-патогенных микромицетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленная микобиота прибрежных морских экосистем Баренцева моря представлена преимущественно факультативными морскими грибами терригенного происхождения. Количество микромицетов в почвах супралиторали на два-три порядка выше их численности в грунтах литорали. В морской воде численность грибов насчитывала всего несколько единиц на мл. В грунтах литорали и морской воде численность УО-грибов превышала численность сахаралитиков на всех исследованных участках, за исключением наиболее загрязненных. Увеличение доли сахаролитических грибов в морской воде и грунте литорали может свидетельствовать об антропогенном загрязнении данной территории, в том числе углеводородами и другими соединениями органической природы.

Видовое разнообразие микромицетов в урбанизированных и антропогенно загрязненных р-нах Кольского залива превышает данный показатель в условно фоновом (Зеленецкая губа) и мало нарушенном (Печенгский залив) р-нах. С увеличением антропогенной нагрузки (в том числе в условиях загрязнения углеводородами) в прибрежных р-нах отмечено увеличение доли патогенных и потенциально патогенных грибов.

Высокий уровень загрязнения углеводородами негативно отразился на численности сахаролитических грибов в прибрежной почве, в то время как более низкие значения содержания углеводородов не влияли на количество сахаролитиков. Численность грибов, выращенных на среде Чапека с добавлением нефти, снижалась по мере увеличения количества углеводородов как в прибрежной почве, так и в грунте литорали, что может свидетельствовать о высокой уязвимости микромицетов к данному типу загрязнения.

Морские грибы, выделенные в арктических местообитаниях, представляют промышленный и экологический интерес, поскольку могут обладать полезными для человека биохимическими свойствами, например, быть потенциальным источником ценных ферментов, а также применяться для создания биопрепаратов в ремедиационных мероприятиях по очистке прибрежных территорий от нефтепродуктов.

Штаммы микроскопических грибов включены в зарегистрированную в международном каталоге гербариев мира коллекцию лаборатории наземных экосистем ИППЭС (с акронимом INEP Herbarium of Institute of the Industrial Ecology Problems of the North of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences).

Авторы выражают благодарность инженеру Лаборатории геоэкологии и рационального природопользования Арктики ИППЭС КНЦ РАН А.С. Сошиной за помощь в проведении статистического анализа. Экспедиционные работы и отбор образцов выполнены в рамках темы НИР по госзаданию 122022400109-7. Микологические исследования проведены при поддержке темы по проекту FMEZ-2023-0012. Анализ данных и подготовка публикации выполнены при поддержке гранта РНФ № 19-77-300-12.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Amend A., Burgaud G., Cunliffe M. et al. Fungi in the marine environment: Open questions and unsolved problems. MBio. 2019. V. 10 (2e01189-18). https://doi.org/10.1128/mBio.01189-18

Andersen R. A. (ed.). Algal culturing techniques. Elsevier Academic Press, Oxford, 2005.

Bogdanova O.Yu. (ed.). Microbiology of aquatic ecosystems. MGTU, Murmansk, 2015 (in Russ.).

Bovio E., Gnavia G., Prigionea V. et al. The culturable mycobiota of a Mediterranean marine site after an oil spill: isolation, identification and potential application in bioremediation. Sci. Total Environm. 2017. V. 576. P. 310–318. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10

Bubnova E.N. Changes in the complexes of soil fungi during the transition from zonal soils to marine ecotopes (on the example of the coast of the Kandalaksha Gulf of the White Sea). PhD Biol. Sci. Thesis. Moscow, 2005 (in Russ.).

Bubnova E.N., Konovalova O.P. Diversity of the mycelial fungi on the littoral and sublittoral sediments of the Barents Sea (near the Dalnie Zelentsy settlement). Mikologiya i fitopatologiya. 2018. V. 52 (5). P. 319–327. https://doi.org/ (in Russ.). https://doi.org/10.1134/S0026364818050021

Bubnova E.N., Nikitin D.A. Fungi in bottom sediments of the Barents and Kara Seas. Biologiya morya. 2017. V. 43 (5). P. 366–371 (in Russ.).

Bubnova E.N. Fungal diversity in bottom sediments of the Kara Sea. Botanica Marina. 2010. V. 53. P. 595–600. https://doi.org/10.1515/BOT.2010.063

Butinar L., Frisvad J. C., Gunde-Cimerman N. Hypersaline waters – a potential source of foodborne toxigenic aspergilli and penicillia. FEMS Microbiol Ecol. 2011. V. 77. P. 186–199. https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2011.01108.x

Cantrell S.A., Dianese J.C., Fell J. et al. Unusual fungal niches. Mycologia. 2011. V. 103 (6). P. 1161–1174. https://doi.org/10.3852/11-108

De Hoog G.S., Guarro J., Gené J. et al. Atlas of clinical fungi, 4th ed. Hilversum, 2020.

Domsch K.H., Gams W., Anderson T.-H. Compendium of soil fungi. IHW-Verlag, Eching, 2007.

Doneryan L.G., Vodyanova M.A., Tarasova Zh.E. Microscopic soil fungi – organisms-bioindicators of oil-contaminated soils. Gigiena i sanitariya. 2016. V. 95 (9). P. 891–894. http://dx.doi.org/ (in Russ.). https://doi.org/10.1882/0016-9900-2016-9-891-894

Egorova L.N. Soil fungi of the Far East. *Hyphomycetes*. Nauka, Leningrad, 1986 (in Russ.).

Evdokimova G.A., Korneykova M.V., Lebedeva E.V. Micromycetes communities from soils in the impact zone of aluminium plant. Mikologiya i fitopatologiya. 2007. V. 41 (1). P. 20–28 (in Russ.).

Fravel D., Olivain C., Alabouvette C. Fusarium oxysporum and its biocontrol. New Phytol. 2003. V. 157 (3). P. 493–502.

Gams W. Tolypocladium, eine Hyphomycetengattung mit geschwollenen Phialiden. Persoonia. 1971. V. 6 (2). P. 185–191.

Gonçalves M.F.M., Santos L., Silva B.M.V. et al. Biodiversity of *Penicillium* species from marine environments in Portugal and description of *Penicillium lusitanum* sp. nov., a novel species isolated from sea water. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2019. V. 69. P. 3014–3021. https://doi.org/10.1099/ijsem.0.003535

Gorin S.L., Leman V.N. Hydrological regime and pollution in the basin and in the water area of Pechenga Bay (Varanger Fjord of the Barents Sea) according to long-term observations of the hydrometeorological service. Trudy VNIRO. 2017. V. 165. P. 66–82 (in Russ.).

GOST 26423-85. Methods for determining the electrical conductivity, pH and dense residue of aqueous extract. Moscow, Standartinform. 2011 (in Russ.).

GOST 31861-2012. Interstate standard. Water. General sampling requirements. 2012 (in Russ.).

Hassan N., Rafiq M., Hayat M. et al. Psychrophilic and psychrotrophic fungi: a comprehensive review. Rev. Environm. Sci. Bio/Technol. 2016. V. 15 (2). P. 147–172. https://doi.org/10.1007/s11157-016-9395-9

Hyde K.D., Pointing S.B. (eds). Marine mycology: A practical approach. Fungal Diversity Press, 2000.

Ilyin G.V., Moiseev D.V., Shirokolobov D.V. et al. Hydrological regime of Zelenetskaya Bay, eastern Murman. Vestnik MGTU. 2016. V. 19 (1–2). P. 268–277 (in Russ.).

Index Fungorum. CABI Bioscience, 2023. http://www.indexfungorum.org. Accessed 13.03.2023.

Jones E.B.G., Pang K.-L., Abdel-Wahab M.A. et al. An online resource for marine fungi. Fungal Diversity. 2019. V. 96. P. 347–433. https://doi.org/10.1007/s13225-019-00426-5

Khudyakova Yu.V. Soil fungi of the Sea of Japan (Russian coast) and their biologically active metabolites. PhD. Biol. Sci. Thesis. Vladivostok, 2004 (in Russ.).

Khusnullina A.I., Bilanenko E.N., Kurakov A.V. Microscopic fungi of the White Sea soils. Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2018. V. 5. P. 584–598 (in Russ.). https://doi.org/10.1134/S1995425518050062

Kireeva N.A., Rafikova G.F., Bakaeva M.D. Effect of oil pollution on the accumulation of opportunistic fungi in soil. Problemy meditsinskoy mikologii. 2006. V. 8 (3). P. 29–32 (in Russ.).

Kirtsideli I.Yu. Soil microfungi of the Barents sea coast (near Varandey settlement). Novosti sistematiki nizshikh rasteniy. 2009. V. 43. P. 113–121 (in Russ.).

Kirtsideli I.Yu., Abakumov E.V., Teshebaev Sh.B. et al. Microbial communities in regions of arctic settlements. Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal). 2016. V. 95 (10). P. 923–929 (in Russ.). https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-10-923-929

Kirtsideli I.Yu., Vlasov D.Yu., Barantsevich E.P. et al. Distribution of terrigenous microfungi in Arctic Seas. Mikologiya i fitopatologiya. 2012. V. 46 (5). P. 306–310 (in Russ.).

Kirtsideli I.Yu., Vlasov D.Yu., Krylenkov V.A. et al. Comparative Study of Airborne Fungi at Arctic Stations Near Water Area of the Northern Sea Route. Ekologiya cheloveka. 2018. V. 4. P. 16–21 (in Russ.).

Klich M.A. Identification of common *Aspergillus* species. Utrecht, 2002.

Kohlmeyer J., Kohlmeyer E. Marine Mycology. The Higher Fungi. Academic Press, N.Y., 1979.

Korneykova M., Nikitin D., Myazin V. Qualitative and quantitative characteristics of soil microbiome of Barents Sea Coast, Kola Peninsula. Microorganisms. 2021. V. 9. P. 21–26. https://doi.org/10.3390/microorganisms9102126

Korneykova M.B., Evdokimova G.A., Lebedeva E.V. The complexes of microscopic fungi in oil products polluted cultivated soil on Kola North. 2011. V. 45 (3). P. 249–256 (in Russ.).

Koval E.Z., Rudenko A.V., Voloshchuk N.M. Penicillia. Identification manual. National research restoration centre of Ukraine, Kiev, 2016 (in Russ.).

Kurakov A.V. Methods of isolation and characteristics of microscopic fungi complexes in terrestrial ecosystems. Moscow, Maks Press, 2001 (in Russ.).

Li L., Singh P., Liu Y. et al. Diversity and biochemical features of culturable fungi from the coastal waters of Southern China. AMB Express 2014. V. 4 (60). https://doi.org/10.1186/s13568-014-0060-9

Maamar A., Lucchesi M.-E., Debaets S. et al. Highlighting the crude oil bioremediation potential of marine fungi isolated from the Port of Oran (Algeria). Diversity. 2020. V. 12 (196). https://doi.org/10.3390/d12050196

Magurran A.E. Ecological diversity and its Measurement. Springer-Science and Business Media, BV, 1988.

Malavenda S.S., Malavenda S.V. Features of degradation in phytocenoses of the southern and middle knees of the Kola Bay of the Barents Sea. Vestnik MSTU 2012. V. 15 (4). P. 794–802 (in Russ.).

Marfenina O.E. Anthropogenic ecology of soil fungi. Moskow, Meditsina dlya vsekh, 2005 (in Russ.).

Marfenina O.E. Dangerous mildew in the environment. Priroda. 2002. V. 11. P. 33–38 (in Russ.).

Mastitskiy S.E., Shitikov V.K. Statistical analysis and data visualization with R. 2014. http://r-analytics.blogspot.com (in Russ.).

Matishov G.G., Dzhenyuk S.L. (ed.) Kola Bay: oceanography, biology, ecosystems, pollutants. KSC RAS, Apatity, 1997 (in Russ.).

Mineev V.G. Handbook on agrochemistry, 2th ed. MSU, Moscow, 2001 (in Russ.).

Mirchink T.G. Soil mycology. MSU, Moscow, 1988 (in Russ.).

Mishustina I.E., Shcheglova I.K., Mitskevich I.N. Marine microbiology. Far Eastern University Press, Vladivostok, 1985 (in Russ.).

Park M.S., Oh S.-Y., Fong J.J. et al. The diversity and ecological roles of *Penicillium* in intertidal zones. Scientific reports. 2019. V. 9. https://doi.org/10.1038/s41598-019-49966-5

PND F 16.1:2.2.22-98. Quantitative chemical analysis of soils. Methodology for measuring the mass fraction of oil products in mineral, organogenic, organomineral soils and bottom sediments by IR-spectrometry. Moscow, 1998 (in Russ.).

PND F 14.1:2:4.5-95. Quantitative chemical analysis of waters. Methodology for measuring the mass concentration of oil products in drinking, surface and waste waters by IR-spectrometry. Moscow. 1995 (in Russ.).

Raghukumar S. (ed.) Fungi in coastal and oceanic marine ecosystems. Springer, Heidelberg etc., 2017.

Rämä T., Mathiassen G.H., Kauserud H. Marine fungi new to Norway, with an outlook to the overall diversity. Agarica. 2014. V. 35. P. 35–47.

Rheinheimer G. (ed.) Microbial ecology of a brackish water environment. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1977. https://doi.org/10.1 007/978-3-642-66791-6

Richards T.A., Jones M.D.M., Leonard G. et al. Marine fungi: Their ecology and molecular diversity. Ann. Rev. Mar. Sci. 2012. V. 4. P. 495–522. https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120710-100802

Satton D., Fotergill A., Rinaldi M. Determinant of pathogenic and conditionally pathogenic fungi. Mir, Moscow, 2001 (in Russ.).

Singh S.M., Puja G., Bhat D.J. Psychrophilic fungi from Schirmacher Oasis, East Antarctica. Current Sci. 2006. V. 90 (10). P. 1388–1392.

Slinkina N.N. Fungi in aquatic soils of the shelf zone of Sakhalin Island. PhD Biol. Sci. Thesis. Vladivostok, 2009 (in Russ.).

Song F., Dai H., Tong Y. et al. Trichodermaketones A-D and 7-O-Methylkoninginin D from the marine fungus *Trichoderma koningii*. J. Natural Products. 2010. V. 73. P. 806–810. https://doi.org/10.1021/np900642p

Vänninen I. Distribution and occurrence of four entomopathogenic fungi in Finland: Effect of geographical location, habitat type and soil type. Mycol. Res. 1996. V. 100. P. 93–101.

Weng Q., Zhang X., Chen W. et al. Secondary metabolites and the risks of *Isaria fumosorosea* and *Isaria farinose*. Molecules. 2019. V. 24 (664). https://doi.org/doi:10.3390/molecules24040664

Wikipedia [site]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/. Accessed 23.09.2022.

Zaytsev Yu.P., Kopytina N.I. Fungi in the marine environment. Mikrobiologiya i biotekhnologiya. 2009. V. 7. P. 6–14 (in Russ.).

Zimmermann G. The entomopathogenic fungi *Isaria farinosa* (formerly *Paecilomyces farinosus*) and the *Isaria fumosorosea* species complex (formerly *Paecilomyces fumosoroseus*): biology, ecology and use in biological control. Biocontrol Sci. Technol. 2008. V. 18 (9). P. 865–901. https://doi.org/doi: https://doi.org/10.1080/09583150802471812

Zvyagintsev D.G. Methods of soil microbiology and biochemistry. MSU, Moscow, 1991 (in Russ.).

Богданова О.Ю. (Bogdanova) Микробиология водных экосистем: учебное пособие. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. 182 с.

Бубнова Е.Н. (Bubnova) Изменения комплексов почвообитающих грибов при переходе от зональных почв к морским экотопам (на примере побережья Кандалакшского залива Белого моря). Дисс. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2005.

Бубнова Е.Н., Коновалова О.П. (Bubnova, Konovalova) Разнообразие мицелиальных грибов в грунтах литорали и сублиторали Баренцева моря (окрестности поселка Дальние Зеленцы) // Микология и фитопатология. 2018. Т. 52. № 5. С. 319–327. https://doi.org/10.1134/S0026364818050021

Бубнова Е.Н., Никитин Д.А. (Bubnova, Nikitin) Грибы в донных грунтах Баренцева и Карского морей // Биология моря. 2017. Т. 43. № 5. С. 366–371.

Википедия [Электронный ресурс]: Википедия. Свободная энциклопедия. https://ru.wikipedia.org/wiki/. Дата обращения: 01.03.2023.

Горин С.Л., Леман В.Н. (Gorin, Leman) Гидрологический режим и загрязнение в бассейне и на акватории губы Печенга (Варангер-фьорд Баренцева моря) по данным многолетних наблюдений гидрометслужбы // Труды ВНИРО. 2017. № 165. С. 66–82.

ГОСТ 26423-85. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М.: Стандартинформ, 2011. 6 с.

ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2012. 36 с.

Донерьян Л.Г., Водянова М.А., Тарасова Ж.Е. (Doneryan et al.) Микроскопические почвенные грибы-организмы-биоиндикаторы нефтезагрязненных почв // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 9. С. 891–894.

Евдокимова Г.А., Корнейкова М.В., Лебедева Е.В. (Evdokimova et al.) Сообщества микромицетов в почвах в зоне воздействия алюминиевого завода // Микология и фитопатология. 2007. Т. 41. № 1. С. 20–28.

Егорова Л.Н. (Egorova) Почвенные грибы Дальнего Востока. Гифомицеты. Ленинград: Наука, 1986. 192 с.

Зайцев Ю.П., Копытина Н.И. (Zaytsev, Kopytina) Грибы в морской среде // Мікробіологія і біотехнологія. 2009. № 7. С. 6–14.

Звягинцев Д.Г. (Zvyagintsev) Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

Ильин Г.В., Моисеев Д.В., Широколобов Д.В. и др. (Ilyin et al.) Гидрологический режим губы Зеленецкая, восточный Мурман // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. № 1–2. С. 268–277.

Киреева Н.А., Рафикова Г.Ф., Бакаева М.Д. (Kireeva et al.) Влияние загрязнения нефтью на накопление оппортунистических грибов в почве // Проблемы медицинской микологии. 2006. Т. 8. № 3. С. 29–32.

Кирцидели И.Ю. (Kirtsideli) Почвенные микроскопические грибы прибрежного района Баренцева моря (окрестности поселка Варандей) // Новости систематики низших растений. 2009. Т. 43. № 43. С. 113–121.

Кирцидели И.Ю., Абакумов Е.В., Тешебаев Ш.Б.и др. (Kirtsideli et al.) Микробные сообщества в районах арктических поселений // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 10. С. 923–929. https://doi.org/10.1882/0016-9900-2016-10-923-929

Кирцидели И.Ю., Власов Д.Ю., Баранцевич Е.П. и др. (Kirtsideli et al.) Распространение терригенных микромицетов в водах Арктических морей // Микология и фитопатология. 2012. Т. 46. № 5. С. 306–310.

Кирцидели И.Ю., Власов Д.Ю., Крыленков В.А. и др. (Kirtsideli et al.) Сравнительное исследование аэромикоты арктических станций по Северному морскому пути // Экология человека. 2018. Т. 4. С. 16–21.

Коваль Э.З., Руденко А.В., Волощук Н.М. (Koval et al.) Пенициллии. Руководство по идентификации. Киев: Национальный научно-исследовательский реставрационный центр Украины, 2016. 408 с.

Корнейкова М.В., Евдокимова Г.А., Лебедева Е.В. (Korneykova et al.) Комплексы микроскопических грибов в загрязненных нефтепродуктами агроземах Кольского полуострова // Микология и фитопатология. 2011. Т. 45. № 3. С. 249–256.

Кураков А.В. (Kurakov) Методы выделения и характеристики комплексов микроскопических грибов наземных экосистем. М.: Макс Пресс, 2001. 92 с.

Малавенда С.С., Малавенда С.В. (Malavenda, Malavenda) Черты деградации в фитоценозах южного и среднего колен Кольского залива Баренцева моря // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15. № 4. С. 794–802.

Марфенина О.Е. (Marfenina) Антропогенная экология почвенных грибов. Москва: Медицина для всех, 2005. 196 с.

Марфенина О.Е. (Marfenina) Опасные плесени в окружающей среде // Природа. 2002. № 11. С. 33–38.

Мастицкий С.Э., Шитиков В.К. (Mastitskiy, Shitikov) Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. 2014. http://r-analytics.blogspot.com

Матишов Г.Г., Дженюк С.Л. (Matishov, Dzhenyuk) Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 265 с.

Минеев В.Г. (Mineev). Практикум по агрохимии: Учеб. пособие, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

Мирчинк Т.Г. (Mirchink) Почвенная микология: учебник. Москва: Изд-во МГУ, 1988. 220 с.

Мишустина И.Е., Щеглова И.К., Мицкевич И.Н. (Mishustina et al.) Морская микробиология. Учебное пособие. Владивосток: изд-во Дальневосточного университета, 1985. 181 с.

ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 (PND F 16.1:2.2.22-98). Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. М., 1998 (издание 2005 г.). 21 с.

ПНД Ф 14.1:2:4.5-95 (PND F 14.1:2:4.5-95). Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в питьевых, поверхностных и сточных водах методом ИК-спектрометрии. М., 1995 (издание 2011 г.). 15 с.

Саттон Д., Фотергилл А., Ринальди М. (Satton et al.) Определитель патогенных и условно патогенных грибов: пер. с англ. М.: Мир, 2001. 486 с.

Слинкина Н.Н. (Slinkina) Грибы аквапочв шельфовой зоны острова Сахалин: автореф. ... дис. канд. биол. наук. Владивосток, 2009. 20 с.

Худякова Ю.В. (Khudyakova) Грибы грунтов Японского моря (Российское побережье) и их биологически активные метаболиты: автореф. ... дисс. канд. биол. наук. Владивосток, 2004. 20 с.

Хуснуллина А.И., Биланенко Е.Н., Кураков А.В. (Khusnullina et al.) Микроскопические грибы грунтов Белого моря // Сибирский экологический журнал. 2018. № 5. С. 584–598 https://doi.org/10.1134/S1995425518050062

The Number and Species Diversity of Cultured Microfungi on the Barents Sea Coast

E. A. Isakova[a,#], M. V. Korneykova[b,c,##], and V. A. Myazin[b,###]

[a] *Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

[b] *Institute of North Industrial Ecology Problems of the Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

[c] *Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russia*

[#] *e-mail: kristina-i2014@yandex.ru*

[##] *e-mail: korneykova.maria@mail.ru*

[###] *e-mail: myazinv@mail.ru*

The number and diversity of cultivated microscopic fungi isolated from seawater, littoral and supralittoral soil on the coast of the Barents Sea were studied. Communities of microfungi are mainly represented by facultative marine fungi of terrigenous origin. The isolates mainly belonged to anamorphic fungi of the department *Ascomycota* and are represented by the genera *Penicillium*, *Aspergillus*, *Talaromyces*, *Trichoderma*, *Acremonium* etc., characteristic of the cold northern seas. The frequently found species in the study area were *Aspergillus brasiliensis*, *Penicillium hirsutum*, *P. glabrum*, *P. spinulosum*, *P. janczewskii*, *Trichoderma koningii*, *T. viride*, *Talaromyces purpureogenus*. The number of fungi in the supralittoral soil is two to three orders of magnitude higher than in the soils of the littoral zone and averaged from 4 to 13 thousand CFU/g. In sea water, the number of fungi was only a few units per ml. The maximum number of saccharolytic fungi was noted in the soils of the supralittoral zone. In the soils of the littoral and sea water, the number of hydrocarbon-oxidizing fungi varied from 52.5 to 143.3 CFU/g and from 0 to 4 CFU/ml, respectively. The number of saccharolytics varied from 0 to 113 CFU/g in the littoral soil and from 0 to 3 CFU/mL in sea water in all the studied areas, except for the most polluted ones, where it reached values of 200 CFU/g. An increase in the proportion of saccharolytic fungi in sea water and littoral may indicate anthropogenic pollution of the area, including hydrocarbons and other organic compounds. The urbanized areas of the Kola Bay with a high anthropogenic load were characterized by a richer species diversity and an increase in the proportion of pathogenic and opportunistic forms of microscopic fungi. A high level of hydrocarbon pollution negatively affected the number of saccharolytic fungi, while lower values of hydrocarbon content did not affect the number of saccharolytics. The number of fungi grown on Czapek's mineral medium decreased as the amount of hydrocarbons both in sea water and in the littoral zone increased, which may indicate a high vulnerability of marine microfungi to pollution.

Keywords: Arctic, anthropogenic pressure, abundance of microfungi, Kola Peninsula, mycobiota of marine ecosystems, petroleum hydrocarbons