

УДК 631.46

ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СООБЩЕСТВ МИКРООРГАНИЗМОВ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ

© 2021 г. Д. А. Никитин^а *, Л. В. Лысак^б, О. В. Кутовая^а, Т. А. Грачева^б^аПочвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Москва, 119017 Россия^бМГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

*e-mail: dimnik90@mail.ru

Поступила в редакцию 17.02.2021 г.

После доработки 15.04.2021 г.

Принята к публикации 27.04.2021 г.

С помощью метода посева на селективные среды оценены численность и таксономическое разнообразие микроорганизмов в почвах северной части архипелага Новая Земля. Содержание аэробных и анаэробных азотфиксаторов, а также денитрификаторов низкое (десятки и сотни КОЕ/г почвы). Численность сапротрофных бактерий варьировала от 3.3×10^4 до 1.2×10^6 КОЕ/г почвы; актиномицетов – от 1.3×10^3 до 4.0×10^5 КОЕ/г почвы; микромицетов – от 2.5×10^2 до 1.5×10^4 КОЕ/г почвы. Численность всех изученных групп микроорганизмов (кроме аэробных азотфиксаторов) исследованных почв резко уменьшается вниз по профилю, что положительно коррелирует с содержанием органического углерода и общего азота. В сообществе почвенных микроорганизмов доминируют бактерии родов *Arthrobacter* и *Bacillus*, актиномицеты родов *Streptomyces* и *Micromonospora*, а также микроскопические грибы родов *Goffeauzyma*, *Phoma*, *Pseudogymnoascus* и *Thelebolus*. В целом численность и таксономическое разнообразие микроорганизмов исследованных почв меньше по сравнению с почвами Земли Франца-Иосифа. Этот феномен связан с иссушающим и охлаждающим влиянием самого крупного ледника в России на Новой Земле.

Ключевые слова: Арктика, экстремальные экосистемы, численность КОЕ, азотфиксаторы, денитрификаторы, бактерии, актиномицеты, микроскопические грибы

DOI: 10.31857/S0032180X21110101

ВВЕДЕНИЕ

Информация о природе Новой Земли (НЗ) скудна, поскольку с 1954 г. до 90-х гг. XX в. здесь находился испытательный полигон ядерного оружия [31]. Только с 2009 г., после появления национального парка “Русская Арктика”, появилась возможность продолжить изучение природы архипелага [32]. С 2012 г. получению новых знаний о НЗ во многом способствует научно-образовательный проект “Арктический Плавающий Университет”.

Несмотря на то, что НЗ является крупнейшим архипелагом Европейской Арктики, о его физико-географических характеристиках имеется лишь общая информация [30]. Климат НЗ арктический с продолжительной холодной (до -40°C) зимой, сильными ветрами (до 40–50 м/с) и существенными осадками (300–400 мм/год). Средняя температура августа не превышает $+2.5^\circ\text{C}$ на севере и $+6.5^\circ\text{C}$ на юге. Характерная особенность НЗ – высокая влажность воздуха (90–100%) и частые

туманы [32]. Спецификой о. Северный является расположение на нем самого большого (около 20 тыс. км²) покровного ледника России.

Территория НЗ относится к Урало-Пайхойской складчатости с палеозойскими и мезозойскими глинистыми сланцами, известняками, доломитами и алевролитами, перекрытыми четвертичными ледниковыми и морскими отложениями [18], а также элювием, коллювием, пролювием и делювием [1, 32].

Рельеф НЗ представлен горными массивами до 1500 м и морскими террасами до 1000 м разделенными денудационно-абразионными равнинами до 300 м [1]. На побережье НЗ образуются такие аккумуляционные формы, как пляжи и косы, а также полигоны, пятна, полосы.

С геоботанической точки зрения север архипелага относится к высокоарктическим пустошам [58]. В фитоценозах доминируют мохообразные и лишайники. Характерными цветковыми растениями являются ивки *Salix polaris* и камнеломки

Saxifraga oppositifolia. По числу видов лидируют семейства мятликовых (*Poaceae*) и камнеломковых (*Saxifragaceae*) [24, 32].

Почвы НЗ изучены лишь на западном побережье архипелага [6, 7, 18, 30], где они преимущественно представлены полосчатыми комплексами каменистых россыпей и почво-пленками [7, 18]. Профиль большинства почв редуцирован и от окружающих пород отличается повышенным содержанием иллита, каолинита и смектита [18]. В северной части архипелага, где проведены данные исследования, почвенный покров состоит из чередования пелоземов сильноскелетных остаточно-карбонатных (Skeletal Leptosols (Loamic)), карбопетроземов (Calcaric Leptosols (Protic)), петроземов (Skeletal Leptosols (Protic)) и криоземов (Oxyaquic Cryosols (Loamic)) [27].

Информация о микроорганизмах НЗ отрывочна, касается лишь культивируемых простейших и бактерий озер, а также поверхности растений [48]. Ранее получены сведения о биологической активности почв отдельных районов северной части о. Северный НЗ [27]. Однако таксономическое разнообразие бактерий, актиномицетов и микромицетов почв – крупнейшего депозитария микроорганизмов в природе [34, 46] – архипелага до сих пор не известно.

Цель работы – оценка численности и разнообразия основных эколого-трофических групп микробного сообщества в почвах северной части НЗ.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Почва. Объекты исследования расположены на о. Северный НЗ в районе заливов Русская Гавань, Ледяная Гавань и Бухта Благополучия, а также мыса Желания. Условия отбора и хранения образцов, а также детальное описание растительности, почвенных разрезов и их фото приведено в нашей статье [27]. Координаты ключевых точек, классификационный статус почв и некоторые физико-химические свойства исследованных образцов представлены в табл. 1.

Микробиологический посев. Аэробных азотфиксаторов (род *Azotobacter*) выявляли на среде Эшби с маннитом методом почвенных комочков, анаэробных азотфиксаторов (род *Clostridium*) – на среде Виноградского методом предельных разведений [10]. О развитии бактерий рода *Clostridium* судили по образованию газа, характерной микроморфологии и таблицам Мак-Креди [49]. Денитрификаторов изучали на жидкой среде для микроорганизмов группы нитратного дыхания [14] методом предельных разведений [9].

Определение численности и таксономической структуры сапротрофных бактерий проводили на агаризованной глюкозо-пептонно-дрожжевой среде с нистатином [21]. Численность и таксономиче-

ский состав актиномицетов выявляли на агаризованном казеин-глицериновом агаре с нистатином [12]. Посев для учета численности бактерии и актиномицеты проводили из разведений 1 : 100, 1 : 1000 в трехкратной повторности после обработки почвенной суспензии на приборе УЗДН1 (22 кГц, 0.44А, 2 мин) для десорбции клеток с поверхности почвенных частиц [10]. Посевы для учета численности бактерии и актиномицетов инкубировали при комнатной температуре. Учет бактерий осуществляли на 10–14 сутки, а для актиномицетов – на 14–21 сутки. Представителей основных морфотипов изолировали на скошенный агар и идентифицировали по общепринятым определителям [4, 21, 33]. Выделяли следующие группы по относительному обилию родов: доминанты (>30%), субдоминанты (20–30%), группа среднего обилия (10–20%) и минорные компоненты (<10%).

Анализ видового состава микромицетов осуществляли глубинным посевом [43]. Почвенную суспензию перед посевом обрабатывали с помощью встряхивателя Vortex 5 мин при 3500 об./мин. Аликвоту 100 мкл суспензии почвы с разведением 1 : 100 помещали на дно стерильных чашек Петри, в которые заливали расплавленную и охлажденную до +50°C среду Чапека с добавлением стрептомицина (100 мг/л). Инкубацию посевов проводили при +25°C в течение 2–3 нед. и при +5°C в течение 4–6 нед. После чего производили учет общего числа колоний мицелиальных грибов и их первичную идентификацию по определителям [37, 38]. Таксономическую принадлежность отдельных штаммов дополнительно проверяли по анализу участков ITS рДНК [5]. Секвенирование участков ITS рДНК проводили с помощью набора реактивов BigDye Terminator V3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, USA) с последующим анализом продуктов реакции на секвенаторе Applied Biosystems 3130xl Genetic Analyzer в Научно-производственной компании “Синтол” (Москва).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Аэробные азотфиксаторы рода *Azotobacter* выявлены только в минеральном ВСР и надмерзлотном СRg горизонтах криозема глееватого скелетного Русской Гавани (профиль RG-1-3), а также по всему профилю RG-5-6 карбопетрозема гумусового мерзлотного сильноскелетного того же района архипелага, органогенном горизонте АОса криозема грубогумусового остаточно-карбонатного Бухты Благополучия (профиль ВВ-9-10), а также поверхностного горизонта О + W пелозема гумусового перегнойного остаточно-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (LG-15). Значительное содержание (76% обрастания почвенных комочков) *Azotobacter* отмечено в минеральном горизонте СRg криозема глееватого скелетного Русской Гавани (образец RG-3); меньше

Таблица 1. Свойства почв севера Новой Земли [27]

Название почвы	Индекс образца	Горизонт	Глубина, см	Влажность почвы, % массы	pH _{водн}	C _{орг}	CaCO ₃	N _{общ}	C _{орг} /N _{общ}
						%			
Мыс Желания, 76.95° с.ш., 68.52° в.д.									
Криозем остаточно-карбонатный сильноскелетный	CJ-22	O	0–3	80.3	7.3	–	–	–	–
	CJ-23	CRca	3–28	13.1	8.1	0.76	3.42	0.11	6.9
Петрозем криотурбированный остаточно-карбонатный сильноскелетный	CJ-24	W + C	0–23	9.0	8.0	0.33	–	0.02	16.5
	CJ-25	Cca,sk	23–33	8.2	8.1	0.23	4.41	0.03	7.7
Ледяная Гавань, 76.29° с.ш., 68.15° в.д.									
Карбопетрозем очень сильноскелетный	LG-11	W + Cca,sk	0–17	8.2	8.1	2.06	40.15	0.13	15.8
Пелозем гумусовый криотурбированный остаточно-карбонатный сильноскелетный	LG-12	Wca	0–4	6.2	7.6	0.82	9.91	0.14	2.6
	LG-13	Cca	4–19	9.1	7.9	1.16	12.50	0.14	8.9
	LG-14	Cca	19–32	38.6	8.0	1.52	–	0.17	10.1
Пелозем гумусовый перегнойный остаточно-карбонатный сильноскелетный	LG-15	O + W	0–5	52.8	7.4	18.69	–	1.23	15.2
	LG-16	Cca	4–17	14.8	8.0	1.37	33.15	0.14	9.8
	LG-17	Cca	17–30	13.7	8.2	0.21	2.67	0.03	7.0
Русская Гавань, 76.19° с.ш., 62.72° в.д.									
Русская Гавань									
Криозем глееватый скелетный	RG-1	O	0–4	65.2	7.1	9.80	–	0.63	15.6
	RG-2	CR	4–11	47.8	7.5	3.85	–	0.32	12.0
	RG-3	CRg	11–22	38.0	7.9	2.76	–	0.19	14.5
Петрозем	RG-4	O + C	0–21	15.4	8.0	0.83	–	0.1	8.3
Карбопетрозем гумусовый мерзлотный сильноскелетный	RG-5	Wca	0–9	11.3	8.2	2.59	28.90	0.1	25.9
	RG-6	Cca,sk	9–16	9.3	8.2	2.13	30.57	0.1	21.3
Пелозем остаточно-карбонатный сильноскелетный	RG-7	O + Cca	0–14	14.8	8.0	6.32	18.83	0.1	158.0
Бухта Благополучия, 75.62° с.ш.; 63.80° в.д.									
Пелозем гумусовый остаточно-карбонатный среднескелетный	BB-8	W + Cca	0–31	11.4 (19.5)	8.0	0.94	8.16	0.11	8.5
Криозем грубогумусовый остаточно-карбонатный	BB-9	AOca	0–10	49.9	7.8	1.38	5.91	0.11	12.5
	BB-10	CR	10–19	11.4	7.5	3.84	–	0.29	13.2

аэробных азотфиксаторов (30% обрастания) выявлено в горизонте BCR (образец RG-2) того же профиля. В остальных изученных образцах количество аэробных азотфиксаторов низкое (менее 14% обрастания) или они не были обнаружены.

Анаэробные азотфиксаторы рода *Clostridium* обнаружены во всех образцах, кроме горизонта O + W и надмерзлотного горизонта Cca пелозема гумусового перегнойного остаточного-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (профиль LG-15-17). Численность *Clostridium* варьировала от 0.3×10^1 до 2.4×10^3 КОЕ/г почвы (рис. 1), однако большая часть образцов характеризовалась 10^1 – 10^2 КОЕ/г почвы. Минимальные показатели

(десятки КОЕ/г почвы) выявлены для горизонта Cca,sk петрозема криотурбированного остаточного-карбонатного сильноскелетного района мыса Желания (профиль CJ-24-25) и по всему профилю RG-5-6 карбопетрозема гумусового мерзлотного сильноскелетного района Русской Гавани. В поверхностном органогенном горизонте O + W и минеральном надмерзлотном слое Cca пелозема гумусового перегнойного остаточного-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (профиль LG-15-17) анаэробных азотфиксаторов не обнаружено. Максимальная численность *Clostridium* отмечена в горизонте CR криозема грубогумусового остаточного-карбонатного Бухты Благополу-

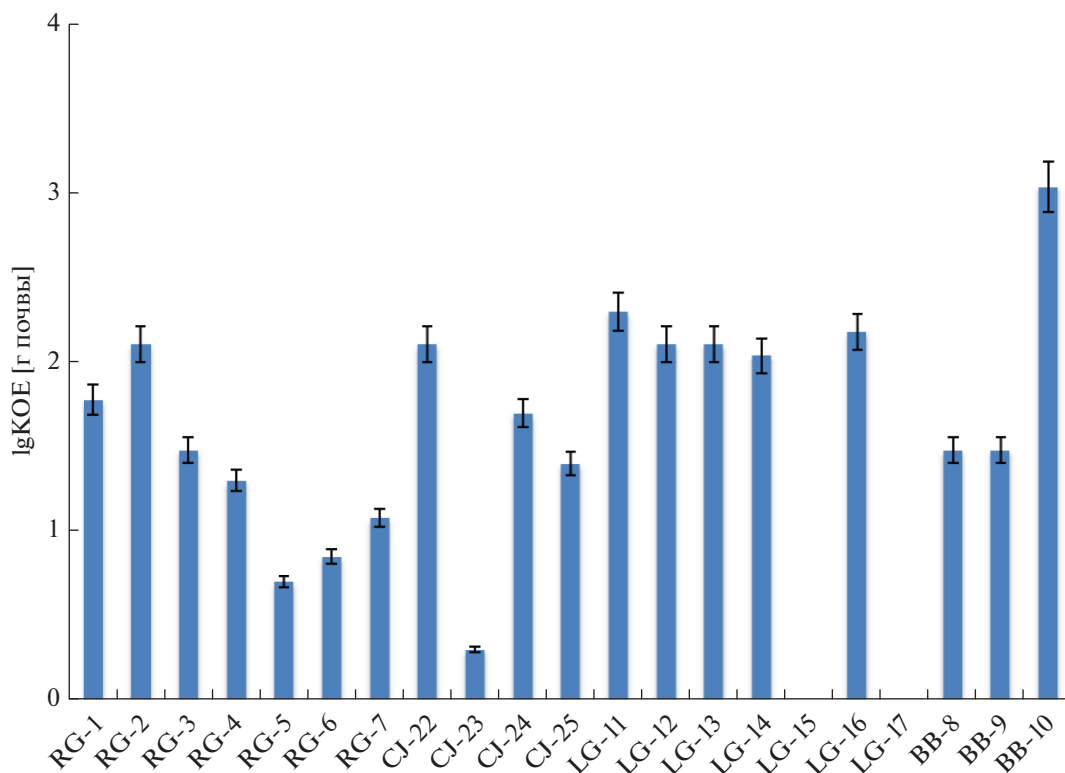


Рис. 1. Численность анаэробных азотфиксаторов рода *Clostridium*.

чия (профиль ВВ-9-10). Выявлена тенденция к увеличению количества анаэробных азотфиксаторов вниз по профилю почв. Для криозема глееватого скелетного Русской Гавани (профиль RG-1-3), пелозема гумусового перегнойного остаточно-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (профиль LG-15-17) и криозема грубогумусового остаточно-карбонатного Бухты Благополучия (профиль ВВ-9-10) максимум анаэробных азотфиксаторов обнаружен в подповерхностном горизонте.

Численность денитрификаторов минимальна (менее $5.0 \Sigma \lg$ КОЕ/г почвы) для надмерзлотных горизонтов криозема глееватого скелетного Русской Гавани (RG-1-3) и криозема остаточно-карбонатного сильноскелетного мыса Желания (CJ-22-23) (рис. 2). Количество представителей данной эколого-трофической группы максимально (более $9.0 \Sigma \lg$ КОЕ/г почвы) в поверхностных слоях пелозема гумусового перегнойного остаточно-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (LG-15-17) и криозема грубогумусового остаточно-карбонатного Бухты Благополучия (ВВ-9-10). Для одних профилей (CJ-22-23, RG-1-3, LG-15-17, ВВ-9-10) выявлено снижение, а для других (RG-5-6, LG-12-14) – повышение количества денитрификаторов от поверхностных слоев к глубинным. В целом почвы

мыса Желания показали наименьшие значения КОЕ по сравнению с другими исследованными районами архипелага.

Численность комплекса культивируемых сапротрофных бактерий (СБК) в почвах НЗ варьировала от 3.3×10^4 до 1.2×10^6 КОЕ/г почвы (табл. 2). Минимальные показатели численности зафиксированы в минеральных горизонтах криозема остаточно-карбонатного сильноскелетного (4.0×10^3 КОЕ/г почвы) и петрозема криотурбированного остаточно-карбонатного сильноскелетного (3.3×10^4 КОЕ/г почвы) мыса Желания. Максимальное содержание бактерий (около 1.0×10^6 КОЕ/г почвы) выявлено в моховом очесе АОса криозема грубогумусового остаточно-карбонатного Бухты Благополучия (профиль ВВ-9-10), единственном горизонте W + Сса,sk карбопетрозема очень сильно скелетного Ледяной Гавани (профиль LG-11), подповерхностном Сса пелозема гумусового перегнойного остаточно-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (профиль LG-15-17) и криозема глееватого скелетного Русской Гавани (профиль RG-1-3). В большинстве почв происходило уменьшение численности бактерий вниз по профилю. Только в RG-5-6, LG-12-14 и LG-15-17 обнаружено увеличение численности бактерий в надмерзлотном горизонте. В большинстве почвенных горизонтов чис-

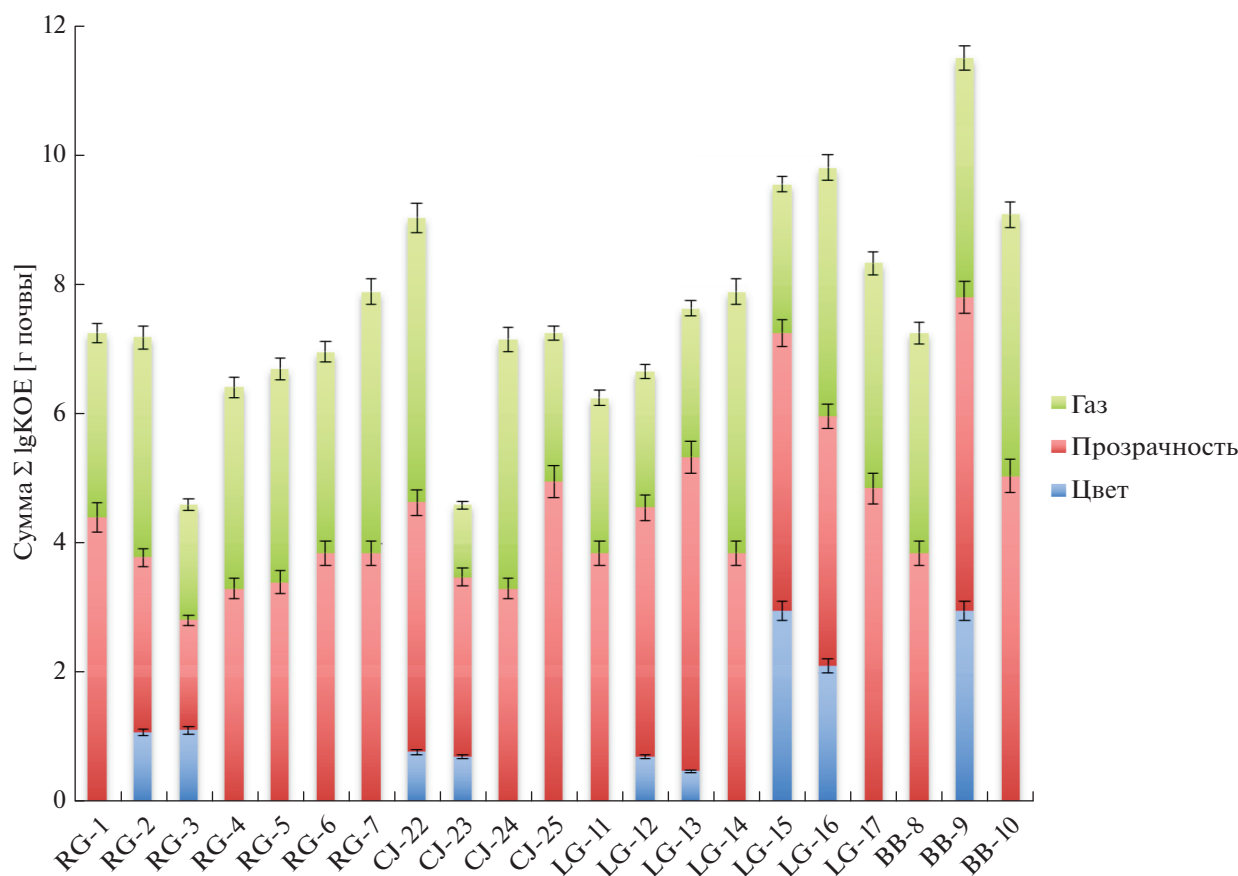


Рис. 2. Численность денитрификаторов.

ленность бактерий составляла от 3.0×10^5 до 8.0×10^5 КОЕ/г почвы.

Из почв НЗ выделено 105 штаммов сапротрофных прокариот, отнесенных с 19 родам бактерий (табл. 2). Грамположительные бактерии представлены шестью родами: *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Promicromonospora*, *Rhodococcus*, *Streptomyces*. Грамотрицательные бактерии представлены 13-ю родами: *Alcaligenes*, *Aquaspirillum*, *Azotobacter*, *Caulobacter*, *Comamonas*, *Cytophaga*, *Mухococcus*, *Polyangium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Sporocytophaga*, *Xanthomonas*, *Xanthobacter*.

В большинстве образцов доминировали бактерии рода *Arthrobacter*. Только в пелоземе гумусовом криотурбированном остаточно-карбонатном сильноносkeletalном Ледяной Гавани (профиль LG-12-14) наблюдалось преобладание рода *Bacillus*, а в пелоземе перегнойно-гумусовом криотурбированном остаточно-карбонатном сильноносkeletalном Ледяной Гавани (профиль LG-15-17) — рода *Streptomyces*. В качестве субдоминантов выступали бактерии родов *Bacillus*, *Cytophaga*, *Mухococcus* и *Polyangium*. Группа среднего обилия и минорные компоненты представлены в основном грамтри-

цательными бактериями родов *Alcaligenes*, *Aquaspirillum*, *Azotobacter*, *Caulobacter*, *Comamonas*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Sporocytophaga*, *Xanthobacter* и *Xanthomonas*.

В горизонтах, богатых органическим веществом (моховой очес, альго-бактериальные пленки), зафиксировано высокое родовое богатство бактерий и присутствие активных гидролитиков *Cytophaga*, *Mухococcus*, *Polyangium* и *Sporocytophaga*, а также копиотрофов родов *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Comamonas*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Xanthobacter* и *Xanthomonas*. В надмерзлотных горизонтах обнаружены олиготрофы рода *Caulobacter*.

Актиномицеты имели численность — от 10^3 до 10^5 КОЕ/г почвы. Данная группа микроорганизмов выявлена во всех образцах, кроме оглеенного горизонта CRg криозема глееватого скелетного Русской Гавани (профиль RG-1-3). Минимум актиномицетов (1.3×10^3 КОЕ/г почвы) выявлен в пелоземе остаточно-карбонатном сильноносkeletalном Русской Гавани (профиль RG-7). Максимум мицелиальных прокариот (4.0×10^5 КОЕ/г почвы) отмечен в органогенном горизонте АОса криозема грубогумусового остаточно-карбонат-

Таблица 2. Структура сообществ культивируемых почвенных гетеротрофных бактерий и актиномицетов

Почва	Индекс образца	Горизонт	Глубина, см	Численность бактерий, $10^4 \times \text{КОЕ/г}$	Численность актиномицетов, $10^3 \times \text{КОЕ/г}$	Доля актиномицетов, %	Доминантные роды	Субдоминантные роды	Группа родов среднего обилия и минорные компоненты
Мыс Желания, 76.95° с.ш., 68.52° в.д.									
Криозем остаточно-карбонатный сильноносkeletalный	CJ-22	O	0–3	9.6 ± 1.0	14 ± 0.8	2	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i> , <i>Mycrococcus</i> ,	<i>Pseudomonas</i> , <i>Xanthomonas</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Sporocytophaga</i>
	CJ-23	CRca	3–28	4.0 ± 0.4	14 ± 0.8	1	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Comamonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Caulobacter</i> , <i>Clostridium</i>
	CJ-24	W + C	0–23	8.4 ± 0.8	12 ± 1.8	1	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i> , <i>Mycrococcus</i> ,	<i>Pseudomonas</i> , <i>Xanthomonas</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Clostridium</i>
	CJ-25	Cca,sk	23–33	3.3 ± 0.3	6 ± 0.4	1	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Comamonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Caulobacter</i> , <i>Clostridium</i>
Ледяная Гавань, 76.29° с.ш., 68.15° в.д.									
Карбопетрозем очень сильно skeletalный	LG-11	W + Cca,sk	0–17	114.0 ± 11.4	300 ± 33	12	<i>Arthrobacter</i> , <i>Mycrococcus</i>	<i>Cytophaga</i>	<i>Polyangium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Comamonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Sporocytophaga</i>
	LG-12	Wca	0–4	17.8 ± 1.8	240 ± 14	57	<i>Bacillus</i>	<i>Arthrobacter</i>	<i>Streptomyces</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Promicromonospora</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Aquaspirillum</i>
Пелозем гумусовый криотурбированный остаточно-карбонатный сильноносkeletalный	LG-13	Wca	4–19	82.1 ± 8.2	293 ± 33	7	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Azotobacter</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Clostridium</i>
	LG-14	Cca	19–32	23.3 ± 2.4	4.7 ± 0.81	3	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Aquaspirillum</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Caulobacter</i> , <i>Clostridium</i>
	LG-15	Cca	0–5	53.8 ± 5.4	227 ± 21	46	<i>Streptomyces</i>	<i>Polyangium</i> , <i>Mycrococcus</i>	<i>Polyangium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Cytophaga</i> , <i>Azotobacter</i>
Пелозем гумусовый перетурбированный остаточно-карбонатный сильноносkeletalный	LG-16	O + W	4–17	108.5 ± 10.9	12 ± 2	9	<i>Arthrobacter</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>Aquaspirillum</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Clostridium</i>
	LG-17	Cca	17–30	29.6 ± 3.0	2.7 ± 0.17	3	<i>Arthrobacter</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>Aquaspirillum</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Caulobacter</i>

Таблица 2. Продолжение

Почва	Индекс образца	Горизонт	Глубина, см	Численность бактерий, $10^4 \times \text{КОЕ/г}$	Численность актиноциетов, $10^3 \times \text{КОЕ/г}$	Доля актиноциетов, %	Доминантные роды	Субдоминантные роды	Группа родов среднего обилия и минорные компоненты
Русская Гавань, 76.19° с.ш., 62.72° в.д.									
Криозем глееватый скелетный	RG-1	O	0–4	104.5 ± 10.5	45 ± 9	12	<i>Bacillus</i> , <i>Mycosoccus</i>	<i>Cytophaga</i>	<i>Polyangium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Xanthobacter</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Sporocytophaga</i>
	RG-2	CR	4–11	72.1 ± 7.2	12 ± 4.5	4	<i>Bacillus</i>	–	<i>Aquaspirillum</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Clostridium</i>
	RG-3	CRg	11–22	10.6 ± 1.3	–	–	<i>Bacillus</i>	–	<i>Aquaspirillum</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Caulobacter</i> , <i>Azotobacter</i>
	RG-4	O + C	0–21	94.5 ± 10.5	94.5 ± 10.5	11	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Polyangium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Xanthomonas</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Sporocytophaga</i>
Карболетрозем гумусовый мерзлотный сильноскелетный	RG-5	Wca	0–9	48.0 ± 4.8	48.0 ± 4.8	6	<i>Arthrobacter</i>	<i>Streptomyces</i> , <i>Cytophaga</i>	<i>Mycosoccus</i> , <i>Polyangium</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Xanthomonas</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Clostridium</i>
	RG-6	Cca,sk	9–16	56.3 ± 5.6	11.3 ± 1.1	2	<i>Arthrobacter</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>Pseudomonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Xanthomonas</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Clostridium</i>
Пелозем остаточно-карбонатный сильноскелетный	RG-7	O + Cca	0–14	65.0 ± 6.6	1.3 ± 0.2	1	<i>Arthrobacter</i>	<i>Mycosoccus</i> , <i>Cytophaga</i>	<i>Pseudomonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Xanthomonas</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Sporocytophaga</i>
	Бухта Благополучия, 75.62° с.ш.; 63.80° в.д.								
Пелозем гумусовый остаточно-карбонатный среднескелетный	BB-8	W + Cca	0–31	87.2 ± 8.6	12 ± 2	6	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Pseudomonas</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Clostridium</i>
	BB-9	AOca	0–10	118.0 ± 12.0	440 ± 40	37	<i>Arthrobacter</i> , <i>Mycosoccus</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Cytophaga</i> , <i>Polyangium</i> , <i>Comamonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Clostridium</i>
	BB-10	CR	10–19	62.1 ± 7.0	45 ± 3	11	<i>Arthrobacter</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Comamonas</i> , <i>Aquaspirillum</i> , <i>Caulobacter</i> , <i>Clostridium</i>

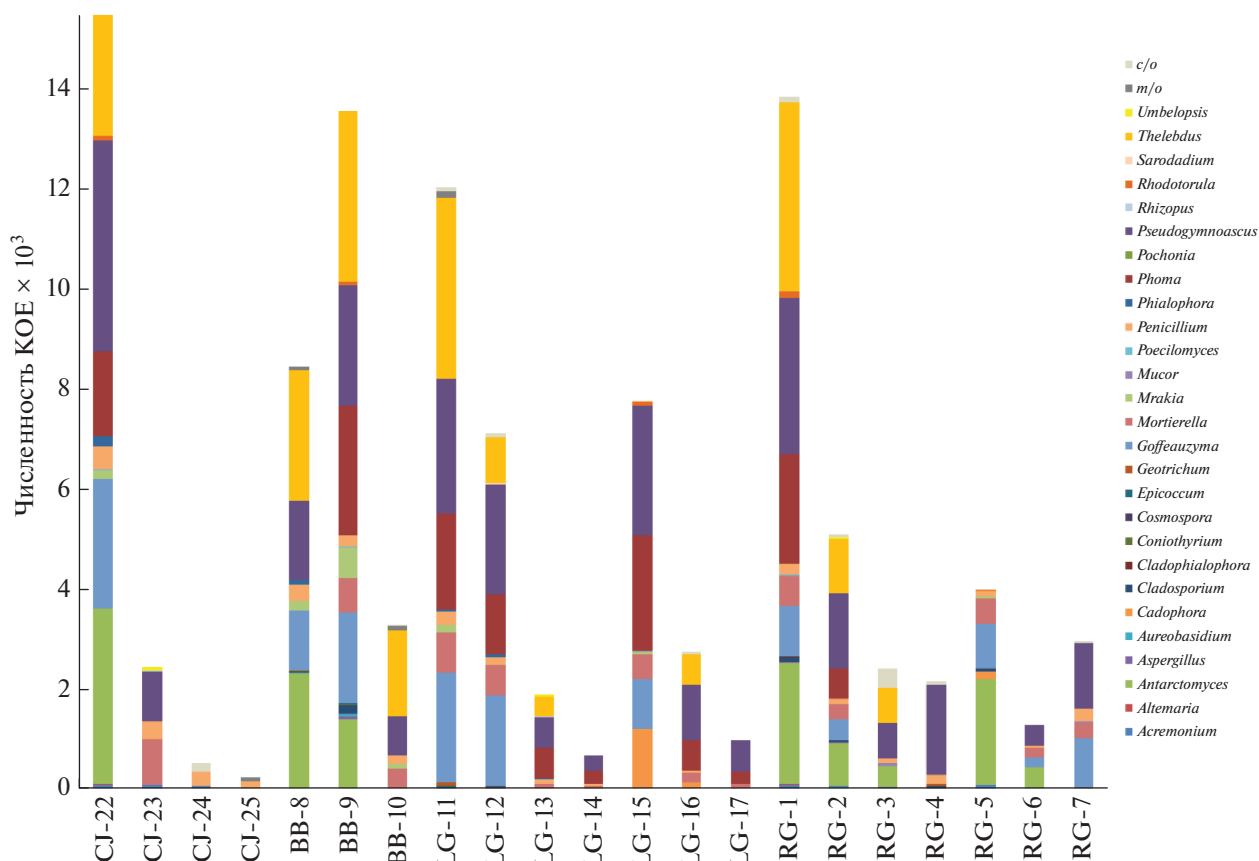


Рис. 3. Численность и таксономическое разнообразие микроскопических грибов.

ного Бухты Благополучия (профиль ВВ-9-10). Также большое количество актиномицетов (3.0×10^5 КОЕ/г почвы) выявлено в горизонте W + + Са,sk карбопетрозема очень сильно скелетного Ледяной Гавани (профиль LG-11). Несколько меньше актиномицетов (около 2.8×10^5 КОЕ/г почвы) в поверхностных горизонтах пелозема гумусового криотурбированного остаточно-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (профиль LG-12-14). Вниз по профилям всех изученных почв численность мицелиальных прокариот уменьшалась. В пелоземе гумусовом криотурбированном остаточно-карбонатном сильноскелетном (профиль LG-12-14) и пелоземе гумусовом перегнойном остаточно-карбонатном сильноскелетном Ледяной Гавани (профиль LG-15-17) в прокариотном комплексе высока доля актиномицетов (46 и 57% соответственно).

Из почв НЗ выделено 40 штаммов актиномицетов, представителей родов *Streptomyces* и *Micromonospora*. 35 изолятов рода *Streptomyces* относились к 15 видам из 6 серий и 5 секций. В минеральных горизонтах доминировали представители секций и серий *Cinereus Achromogenes*, *Cinereus Chromogenes*, *Albus Albus*. В органогенных горизонтах раз-

нообразии было шире, встречались секции и серии *Roseus*, *Imperfectus*, *Helvolo-Flavus Helvolus*.

Преобладали (80–100% обилия) представители рода *Streptomyces*. Однако в моховом охесе АОса криозема грубогумусового остаточно-карбонатного Бухты Благополучия (профиль ВВ-9-10) доминировали виды рода *Micromonospora*. В минеральных горизонтах видовое разнообразие актиномицетов невелико и представлено видами: *Streptomyces albus*, *S. albolongus*, *S. odorifer*, *S. albogriseolus*, *S. pseudogriseolus*. Более разнообразны органогенные горизонты, где дополнительно обнаружены виды: *S. cattleya*, *S. higrscopicus*, *S. werraensis*, *S. parvullus*, *S. canarius*, *S. violascens*, *S. candidus*, *S. spororaveus*, *S. gelaticus*. Из органогенных горизонтов выделены пигментированные актиномицеты секции и серии *Roseus*, *Helvolo-Flavus Helvolus*, *Cinereus Chromogenes*, *Cinereus Violaceus*. Максимальное разнообразие актиномицетов отмечено для поверхностного горизонта пелозема гумусового перегнойного остаточно-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (профиль LG-15-17).

Микроскопические грибы имели суммарную численность от 2.5×10^2 до 1.5×10^4 КОЕ/г почвы (рис. 3). Наименьшие значения (порядка

10^2 КОЕ/г почвы) выявлены в криоземе остаточного-карбонатного сильноскелетного мыса Желания (СЖ-24-25), пелоземе гумусовом криотурбированном остаточного-карбонатного сильноскелетного (профиль LG-12-14) и пелоземе гумусовом перегнойном остаточного-карбонатного сильноскелетного района Ледяной Гавани (профиль LG-15-17). Максимум микромицетов (порядка 10^4 КОЕ/г почвы) в моховом очесе О криозема остаточного-карбонатного сильноскелетного мыса Желания (профиль СЖ-22-23), горизонте АОса криозема грубогумусового остаточного-карбонатного района Бухты Благополучия (профиль ВВ-9-10), горизонте W + + Сса,sk карбопетрозема очень сильно скелетного Ледяной Гавани (профиль LG-11) и моховом очесе О криозема глееватого Русской Гавани (профиль RG-1-3). Для большей части образцов количество микромицетов не превышало 10^3 КОЕ/г почвы. В целом численность микромицетов уменьшается вниз по профилю исследованных почвенных профилей.

Выделено 49 видов микромицетов, относящихся к 24 родам из 3 отделов (табл. 3). Отдел Mucogomycota представлен родами *Mortierella*, *Mucor*, *Rhizopus* и *Umbelopsis*. Отдел Ascomycota – 2 телеоморфными (*Antarctomyces*, *Thelebolus*) и 18 анаморфными родами. Отдел Basidiomycota представлен дрожжами *Goffeauzyma*, *Mrakia* и *Rhodotorula*. Выделенные микромицеты относятся к 13-ти порядкам: Нурогреалес (роды *Acremonium*, *Cosmospora*, *Epicoccum*, *Pochonia*, *Sarocladium*); Плеоспоралес (роды *Alternaria*, *Coniothyrium*); Телелобалес (роды *Antarctomyces*, *Thelebolus*); Евротiales (роды *Aspergillus*, *Penicillium*, *Paecilomyces*); Гелотiales (роды *Cadophora*, *Pseudogymnoascus*); Сапнотiales (род *Cladosporium*); Хаэтофитриалес (род *Cladophialophora*); Сакхаромыцеталес (род *Geotrichum*); Треллалес (род *Goffeauzyma*); Мукоралес (роды *Mortierella*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Umbelopsis*); Хаэтофитриалес (род *Phialophora*); Плеоспоралес (род *Phoma*); Споридиоболалес (род *Rhodotorula*). Наибольшее число родов (5) принадлежит к порядку Нурогреалес, 4 рода насчитывает порядок Мукоралес, 3 рода – порядка Евротiales.

Исследованные районы НЗ характеризовались отличными друг от друга сообществами микромицетов. Так, *Acremonium* и *Alternaria* выявлены лишь для мыса Желания и Русской Гавани; *Antarctomyces* и *Umbelopsis* приурочены к органогенным горизонтам всех изученных почв, кроме Ледяной Гавани; *Aspergillus* и *Aureobasidium*, *Cladosporium* отмечены в районе Бухты Благополучия и Русской Гавани; *Cadophora*, *Mucor*, *Pochonia* – к образцам районов Ледяной Гавани и Русской Гавани; *Cladophialophora* – Бухты Благополучия и Ледяной Гавани; *Coniothyrium* – только Бухты Благополучия; *Rhizopus* – к образцам мыса Желания и району Ледяной Гавани; *Cosmospora* и *Saro-*

cladium отмечены в одном образе Ледяной Гавани; *Epicoccum*, *Geotrichum*, *Paecilomyces* – характерны для Бухты Благополучия, Русской Гавани, Ледяной Гавани; *Goffeauzyma*, *Mortierella*, *Mrakia*, *Penicillium*, *Phialophora*, *Phoma*, *Pseudogymnoascus*, *Rhodotorula*, *Thelebolus* – обнаружены во всех изученных локациях НЗ.

Одни штаммы микромицетов выделялись только при $+5^\circ\text{C}$ – *Antarctomyces psychrotrophicus*, *Cadophora malorum*, *Cladophialophora* sp., *Thelebolus microsporus*, другие – лишь при $+25^\circ\text{C}$ – *Alternaria alternata*, *Aspergillus sydowii*, *Coniothyrium glomeratum*, *Mucor plumbeus*, *Phoma glomerata*, *Sarocladium kiliense*, а большинство учтенных штаммов выявлялись при обеих температурах инкубирования.

Сапротрофные микромицеты обнаружены во всех образцах и представлены типичными почвенными родами [37, 55] – *Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Coniothyrium*, *Cosmospora*, *Geotrichum*, *Mortierella*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Phialophora*, *Phoma*, *Pochonia*, *Pseudogymnoascus*, *Rhizopus*, *Rhodotorula*, *Sarocladium*, *Thelebolus*, *Umbelopsis*, часть которых (*Antarctomyces*, *Cadophora*, *Goffeauzyma*, *Mrakia*, *Pseudogymnoascus*, *Rhodotorula*, *Thelebolus*) характерна для холодных экосистем. Значительная часть сапротрофных видов (*Aspergillus sydowii*, *A. versicolor*, *Aureobasidium pullulans*, *Cladosporium cladosporioides*, *C. herbarum*, *Mucor hiemalis*, *Paecilomyces lilacinus*, *Penicillium aurantiogriseum*, *P. chrysogenum*, *Pseudogymnoascus pannorum*, *Rhizopus stolonifera*, *Sarocladium kiliense*) входит в базу данных BSL патогенных для человека и животных видов [36].

Среди выделенных микромицетов практически не было видов, экологически связанных с растениями – эпифитов, эндофитов или эккриотрофов – *Aureobasidium pullulans*, *Epicoccum nigrum*, *Geotrichum candidum*, *Rhodotorula mucilaginosum*. Однако выявлено довольно много целлюлолитиков, практически все из которых являются фитопатогенами – *Alternaria alternata*, *Cadophora malorum*, *Cladosporium cladosporioides*, *C. herbarum*, *Cladosporium* sp., *Coniothyrium glomeratum*, *Epicoccum nigrum*, *Geotrichum candidum*, *Phialophora alba*, *Phialophora lagerbergii*, *Phoma exhigua*, *P. glomerata*, *P. herbarum*, *Rhizopus stolonifer*, *Sarocladium kiliense*.

Наибольшим видовым разнообразием характеризовались роды: *Penicillium* (9 видов), а также *Acremonium*, *Cladosporium*, *Mortierella*, *Phoma*, *Thelebolus* – по 3 вида. По численности (от 8.5×10^2 до 3.5×10^3 КОЕ/г почвы) и обилию (от 18 до 31%) доминировали представители сапротрофных и характерные для холодных экосистем родов: *Antarctomyces*, *Cadophora*, *Goffeauzyma*, *Penicillium*, *Phoma*, *Pseudogymnoascus*, *Thelebolus* (рис. 3). Почти все доминанты имели большое обилие лишь в поверхностных органогенных горизонтах.

Таблица 3. Структура сообществ культивируемых почвенных микробиот

Род/вид	Вариант																				
	CG-22	CG-23	CG-24	CG-25	LG-11	LG-12	LG-13	LG-14	LG-15	LG-16	LG-17										
<i>Acremonium strictum</i> ^a W. Gams	+																				
<i>Acremonium charticola</i> ^a (Lindau) W. Gams																					
<i>Alternaria alternata</i> ^{a, c, d} (Fr.) Keissl.																					
<i>Antarctomyces psychrotrophicus</i> ^{*f} Stichel & Guarro																					
<i>Aspergillus sydowii</i> ^{a, e} (Bainier & Sartory) Thom & Church																					
<i>Aspergillus versicolor</i> ^{a, e} (Vuill.) Tirab.																					
<i>Aureobasidium pullulans</i> ^{a, b, e} (de Bary & Löwenthal) G. Arnaud																					
<i>Cadophora luteo-olivacea</i> ^{*, c, f} (J.F.H. Beyma) T.C. Harr. et McNew																					
<i>Cadophora malorum</i> ^{*, c, d, f} (Kidd & Beaumont) W. Gams																					
<i>Cladosporium cladospordioides</i> ^{a, c, d, e} (Fresen) G.A. de Vries																					
<i>Cladosporium herbarum</i> ^{c, d, e} (Pers.) Link																					
<i>Cladosporium</i> sp. ^{a, c, d}																					
<i>Cladophialophora</i> sp. ^a																					
<i>Coniothyrium glomeratum</i> ^{a, d} Corda																					
<i>Cosmospora butyri</i> ^{*, a} (J.F.H. Beyma)																					
Gräfenhan, Seifert et Schroeters																					
<i>Epicoccum nigrum</i> ^{b, c} Link																					
<i>Geotrichum candidum</i> ^{a, b, c, e} Link																					
<i>Goffeauzyma glivescens</i> ^{*, f} (Chernov & Babeva) Xin Zhan Liu, F.Y. Bai, M. Groenew. & Boekhout																					

Таблица 3. Продолжение

Род/вид	Вариант																					
	CJ-22	CJ-23	CJ-24	CJ-25	LG-11	LG-12	LG-13	LG-14	LG-15	LG-16	LG-17	RG-1	RG-2	RG-3	RG-4	RG-5	RG-6	RG-7	BB-8	BB-9	BB-10	
<i>Mortierella alpina</i> ^a Peytone																						
<i>Mortierella elongata</i> ^a Linnem.																						
<i>Mortierella minutissima</i> ^a Tiagh.																						
<i>Mrakia frigida</i> ^{*,f} (Fell, Statzell, I.L. Hunter & Phaff) Y. Yamada & Komag.																						
<i>Mucor hiemalis</i> ^{a,e} Wehmer																						
<i>Mucor plumbeus</i> ^a Bonord.																						
<i>Paecilomyces lilacinus</i> ^{a,e} (Thom) Samson																						
<i>Penicillium aurantiogriseum</i> ^{a,e} Dierckx																						
<i>P. canescens</i> ^a Sopp																						
<i>Penicillium chrysogenum</i> ^{a,e} Thom																						
<i>Penicillium commune</i> ^a Thom																						
<i>Penicillium janczewskii</i> ^a K.M. Zaleski																						
<i>Penicillium janthinellum</i> ^a Biourge																						
<i>Penicillium simplicissimum</i> ^a (Oude.) Thom																						
<i>Penicillium verrucosum</i> ^a Dierckx																						
<i>Penicillium waksmanii</i> ^a K.M. Zaleski																						
<i>Phialophora alba</i> ^{*, a, d, f} J.F.H. Beyma																						

Таблица 3. Окончание

Род/вид	Вариант																					
	С1-22	С1-23	С1-24	С1-25	LG-11	LG-12	LG-13	LG-14	LG-15	LG-16	LG-17	RG-1	RG-2	RG-3	RG-4	RG-5	RG-6	RG-7	BB-8	BB-9	BB-10	
<i>Phialophora lagerbergii</i> ^{*, a, d, e, f} (Melin et Nannf.) Conant					+																	
<i>Phoma exigua</i> ^{a, c, d} Desm.																						
<i>Phoma glomerata</i> ^{a, c, d} (Corda) Wollenw. et Hochapfel																						
<i>Phoma herbarum</i> ^{*, a, c, d} Westend.																						
<i>Pochonia bulbilosa</i> ^{*, a} (W. Gams et Malla) Zare et W. Gamsa																						
<i>Pseudogymnoascus pannorum</i> ^{*, a, e, f} (Link) Minnis & D.L. Lindner																						
<i>Pseudogymnoascus vinaceus</i> ^{a, f} Dal Vesco																						
<i>Rhizopus stolonifer</i> ^{a, d, e} (Ehrenb.) Vuill.																						
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i> ^{*, a, b, f} (A. Jörg.) F.C. Harrison																						
<i>Sarocladium kilianse</i> ^{a, c, d, e} (Grütz) Summerb.																						
<i>Thelebolus microsporus</i> ^{a, f} (Berik. et Broome) Kimbr.																						
<i>Thelebolus ellipsoideus</i> ^{*, a, f} Brumm. & de Hoog																						
<i>Thelebolus stercoreus</i> ^{*, a, f} Tode																						
<i>Umbelopsis ramanniana</i> ^a (Möller) W. Gams																						
<i>Mycelia sterilia</i> (dark color)																						
<i>Mycelia sterilia</i> (light color)																						

Примечание. * – виды, определенные по анализу участков ITS рДНК; a – сапроотрофы; b – эпифиты/эндофиты/эксрисотрофы; c – потенциальные патогены растений; d – целлюлитики; e – условные патогены животных и человека; f – виды характерные холодных экосистем. v – рост отмечен при +5°C; + – рост отмечен при +25°C.

ОБСУЖДЕНИЕ

Азотфиксация. Низкая численность аэробных азотфиксаторов может быть связана с суровыми климатическими условиями, обуславливающими низкую общую биологическую активность почв о. Северный архипелага [27]. Другими авторами отмечено малое содержание азотфиксаторов в почвах полярных регионов [51]. Скудность растительного покрова севера НЗ также может являться причиной малого количества азотфиксаторов в Арктике [53] по сравнению с почвами умеренного пояса [19, 26].

Большая численность анаэробных азотфиксаторов, по-видимому, связана с микроаэрофильными условиями почвы, обусловленным значительной влажностью в период отбора образцов и небольшим содержанием общего азота (табл. 1). Представителей данной эколого-трофической группы значительно меньше, чем в почвах умеренного пояса [19, 26]. Численность анаэробных азотфиксаторов существенно уменьшалась в почвах с повышенной щелочностью. Так, в почвах с максимальным рН 8.2 карбопетроземе гумусовом мерзлотном сильноскелетном Русской Гавани (профиль RG-5-6) отмечена низкая численность представителей данной эколого-трофической группы, а в надмерзлотном горизонте Сса пелозема перегнойно-гумусового остаточно-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (профиль LG-15-17) анаэробные азотфиксаторы не выявлены.

Численность денитрификаторов в образцах НЗ на порядок меньше, чем в почвах умеренного климата [20], что может быть связано с ингибированием биологической активности почвы покровным ледником НЗ [27].

В посевах большинства органогенных и некоторых минеральных горизонтов не выявлено изменения цвета среды при инкубации (рис. 2), что свидетельствует о постоянном уровне рН и отсутствии денитрификаторов [20].

Нами отмечена положительная корреляция между влажностью почвы и численностью денитрификаторов. Это можно объяснить тем, что денитрификация протекает в условиях недостатка атмосферного кислорода, при котором микроорганизмы восстанавливают окисные формы неорганических веществ [50, 59]. Обнаружена связь численности денитрификаторов с содержанием органического углерода и общего азота. Данный процесс в почве протекает при разложении органического вещества, в том числе и микробиологического происхождения [59]. Активная эмиссия газов в среде для выявления денитрификаторов во всех образцах свидетельствует о функционально значимом процессе нитратного дыхания не только в органогенных, но и в минеральных горизонтах [20].

Численность и таксономическая структура комплекса культивируемых сапротрофных бактерий (СБК) в исследованных почвах НЗ сравнима с таковыми для Шпицбергена [57]. В то же время количество КОЕ и число таксонов СБК почв севера НЗ значительно меньше по сравнению с грунтами Восточной Антарктиды [21, 44]. Такие различия могут быть связаны с климатическим фактором [42]. В большинстве профилей численность СБК резко уменьшалась с глубиной, но в некоторых почвах наблюдалось увеличение количества КОЕ в надмерзлотном горизонте ретинизации, как и для антарктических оазисов [21, 44].

Во всех исследованных почвах НЗ доминировали грамположительные бактерии, что типично для высоких широт [45, 47]. В большинстве образцов НЗ с высоким содержанием карбонатов доминировали представители рода *Arthrobacter*, предпочитающие нейтральные и щелочные значения рН [35, 39, 57]. Субдоминантами в органогенных горизонтах являлись представители родов *Bacillus*, *Cytophaga*, *Mycococcus*, *Polyangium* и *Streptomyces* – активные деструкторы растительных полимеров [17, 40]. В минеральных горизонтах субдоминанты представлены родами *Bacillus* и *Streptomyces*. Группа среднего обилия и минорные компоненты включали грамотрицательные бактерии, доля которых в полярных почвах обычно невелика [47]. Определенного интереса заслуживает выделение из минеральных горизонтов родов *Caulobacter* и *Aquaspirillum* – обитателей олиготрофных водных местообитаний [54].

Численность актиномицетов в почвах НЗ сравнима с таковой в пелоземах гумусовых глеевых Пинежского заповедника Архангельской области [29] и криоземах грубогумусных глееватых воркутинской тундры Республики Коми [13], но несколько меньше, чем в торфяно-криоземе типичном Ямала [11]. Отмечено уменьшение численности актиномицетов с глубиной по профилям как изученных почв НЗ, как и других полярных территорий [41, 56].

Микроскопические грибы имели на порядок меньшую численность и таксономическое разнообразие, чем в более северных архипелагах Земли Франца-Иосифа (ЗФИ) [15, 26] и Шпицбергена [16], но сравнимы с таковыми Восточной Антарктиды [3, 21, 23, 25, 43]. Вероятно, нарушение закона широтной зональности, предполагающего увеличение количества таксонов и числа организмов от полюсов к экватору [2], вызвано суровостью локальных климатических условий севера НЗ из-за покровного ледника [27, 30]. В то время как ЗФИ и Шпицберген подвержены менее выраженному оледенению, чем НЗ [52].

Значения индекса Шеннона микромицетов НЗ варьировали от 1.54 до 3.29 (рис. 4). Минимальное α -разнообразие отмечено в криоземе остаточно-карбонатном сильноскелетном мыса

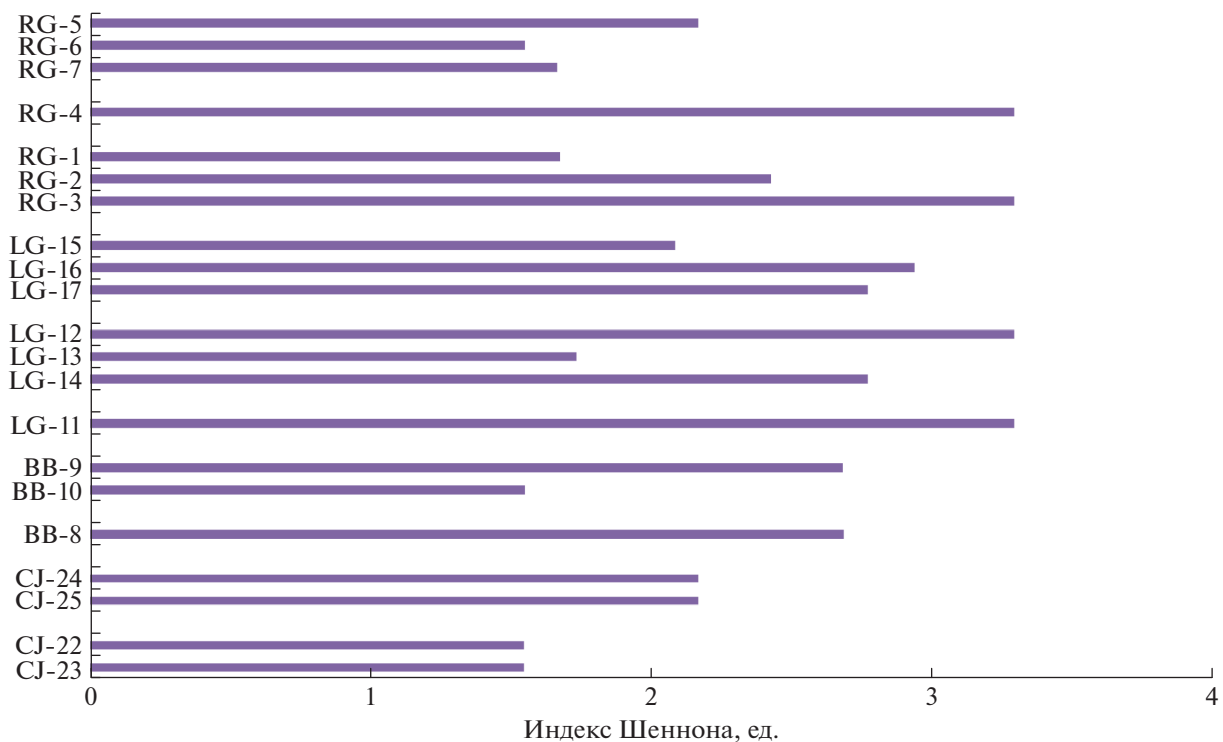


Рис. 4. α -Разнообразие сообществ почвенных микроорганизмов на основе индекса Шеннона.

Желания (CJ-22-23), надмерзлотном горизонте CR криозема грубогумусового остаточно-карбонатного Бухты Благополучия (профиль ВВ-9-10) и в горизонте Rca карбопетрозема гумусового мерзлотного сильноскелетного Русской Гавани (профиль RG-5-6). Максимальные значения индекса Шеннона для микромицетов выявлены в горизонте W + Cca,sk карбопетрозема очень сильно скелетного Ледяной Гавани (профиль LG-11), органогенном горизонте Wca пелозема гумусового криотурбированного остаточно-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (профиль LG-12-14) и надмерзлотном горизонте CRg криозема глееватого скелетного Русской Гавани (RG-1-3). Низкое α -разнообразие (до 2 по индексу Шеннона) также обнаруживалось в горизонте Wca пелозема гумусового криотурбированного остаточно-карбонатного сильноскелетного Ледяной Гавани (профиль LG-12-14), моховом очесе O криозема глееватого скелетного Русской Гавани (профиль RG-1-3) и O + Cca пелозема остаточно-карбонатного сильноскелетного Русской Гавани (профиль RG-7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сообществе почвенных микроорганизмов севера НЗ доминируют представители сапротрофного блока – грамположительные бактерии рода *Arthrobacter*, актиномицеты родов *Streptomy-*

ces и *Micromonospora*, а также микромицеты родов *Goffeauzyma*, *Phoma*, *Pseudogymnoascus* и *Thelebolus*. Численность всех культивируемых микроорганизмов (кроме аэробных азотфиксаторов) в изученных почвах резко уменьшается вниз по профилю, что положительно коррелирует с содержанием органического углерода и общего азота.

Численность и таксономическое разнообразие микроорганизмов изученных объектов НЗ меньше, чем в более северных архипелагах ЗФИ и Шпицбергена. Данный парадокс может быть связан с иссушающим и охлаждающим влиянием самого большого в России ледника на острове Северный НЗ.

Низкое обилие азотфиксаторов и относительно большое количество денитрификаторов позволяет сделать вывод о некотором вкладе почв севера НЗ в эмиссию оксидов азота в атмосферу. В перспективе необходима оценка продуцирования парниковых газов из почв обследованных территорий.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят проект “Арктический плавучий университет” САФУ им. М.В. Ломоносова и лично К.С. Зайкова за организацию полевых работ на Новой Земле. Также авторы благодарят сотрудников Отдела географии и эволюции почв Института географии РАН и лично С.В. Горячкина за помощь в определе-

нии таксономической принадлежности исследованных почв.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-00328 (проведение микробиологических анализов), а также проекта № 18-05-60279 РФФИ-Арктика (полевой отбор образцов).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаинов Д.Ю., Анохин В.М., Гусева Е.А.* Новые данные о строении рельефа и четвертичных отложений архипелага Новая Земля. Геолого-геофизическая характеристика литосферы Арктического региона // Тр. ВНИИ Океангеологии. 2006. № 210(6). С. 149–161.
2. *Букварева Е., Алещенко Г.* Принцип оптимального разнообразия биосистем. Товарищество научных изданий КМК. 2013. 522 с.
3. *Власов Д.Ю., Кирицели И.Ю., Абакумов Е.В., Новожилов Ю.К., Зеленская М.С., Баранцевич Е.П.* Антропогенная инвазия микромитозов в ненарушенные экосистемы оазиса Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида) // Российский журнал биологических инвазий. 2020. № 13(2). С. 23–34.
4. *Гаузе Г.Ф., Преображенская Т.П., Свешникова М.А., Терехова Л.П., Максимова Т.С.* Определитель актиномицетов. М.: Наука, 1983. 248 с.
5. *Глушакова А.М., Качалкин А.В., Чернов И.Ю.* Особенности динамики эпифитных и почвенных дрожжевых сообществ в зарослях недотроги железконосной на перегнойно-глеевой почве // Почвоведение. 2011. № 8. С. 966–972.
6. *Горячкин С.В.* Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
7. *Горячкин С.В., Каравалева Н.А., Таргульян В.О.* География почв Арктики: современные проблемы // Почвоведение. 1998. № 5. С. 520–530.
8. *Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г., Чернов И.Ю., Головченко А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Манучарова Н.А., Марфенина О.Е., Полянская Л.М., Степанов А.Л., Умаров М.М.* Роль микроорганизмов в экологических функциях почв // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087–1096. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15090038>
9. *Егоров Н.С.* Практикум по микробиологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976.
10. *Звягинцев Д.Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. С. 60.
11. *Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М., Грачева Т.А., Курапова А.И., Дуброва М.С.* Разнообразие почвенных актиномицетных комплексов, обусловленное температурными адаптациями мицелиальных актинобак-
- терий // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 4–23.
12. *Зенова Г.М.* Почвенные актиномицеты редких родов: Методическое руководство. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 81 с.
13. *Зенова Г.М., Дуброва М.С., Звягинцев Д.Г.* Структурно-функциональные особенности комплексов почвенных психротолерантных актиномицетов // Почвоведение. 2010. № 4. С. 482–487.
14. *Ильина Т.К., Фомина О.М.* Авторское свидетельство № 113328а от 30.06.83. Питательная среда для культивирования почвенных микроорганизмов.
15. *Кирицели И.Ю.* Микроскопические грибы в почвах острова Хейса (Земля Франца-Иосифа) // Новости систематики низших растений. 2015. № 49. С. 151–160.
16. *Кирицели И.Ю., Власов Д.Ю., Зеленская М.С., Ильюшин В.А., Новожилов Ю.К., Чуркина И.В., Баранцевич Е.П.* Оценка антропогенной инвазии микроскопических грибов в арктические экосистемы (архипелаг шпицберген) // Гигиена и санитария. 2020. № 99(2). С. 145–151. <https://doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-2-145-151>
17. *Корнейкова М.В., Редькина В.В., Мязин В.А., Фокина Н.В., Шалыгина Р.Р.* Микроорганизмы почв полуострова Рыбачий // Тр. Кольского научного центра РАН. 2019. № 10(4(7)). С. 108–122. <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.108-122>
18. *Крупская В.В., Мирошников А.Ю., Доржиева О.В., Закусин С.В., Семенов И.Н., Усачева А.А.* Минеральный состав почв и донных осадков заливов архипелага Новая Земля // Океанология. 2017. № 57(1). С. 238–245.
19. *Кутюва О.В.* Трансформация структуры микробного сообщества дерново-подзолистой почвы под воздействием дождевых червей // Агрехимический вестник. 2008. № 2. С. 13–14.
20. *Кутюва О.В., Гребенников А.М., Тхакахова А.К., Исаев В.А., Гармашов В.М., Беспалов В.А., Чевердин Ю.И., Белобров В.П.* Изменение почвенно-биологических процессов и структуры микробного сообщества агрочерноземов при Разных способах обработки почвы // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. № 92. С. 35–61. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-35-61>
21. *Лысак Л.В., Максимова И.А., Никитин Д.А., Иванова А.Е., Кудинова А.Г., Соина В.С., Марфенина О.Е.* Микробные сообщества почв Восточной Антарктиды // Вестник Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. 2018. № 73(3). С. 132–140.
22. *Лысак Л.В., Скворцова И.Н., Добровольская Т.Г.* Методы оценки бактериального разнообразия почв и идентификации почвенных бактерий. М.: Макс-пресс, 2003. 120 с.
23. *Марфенина О.Е., Никитин Д.А., Иванова А.Е.* Структура грибной биомассы и разнообразие культивируемых микромитозов в почвах Антарктиды (станции Прогресс и Русская) // Почвоведение. 2016. № 8. С. 991–999. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16080074>
24. *Мосеев Д.С., Сергиенко Л.А.* К флоре островов архипелага Земля Франца-Иосифа и северной части

- архипелага Новая Земля (аннотированный список видов) // Уч. зап. Петрозаводского государственного университета. 2017. № 4. С. 165.
25. Никитин Д.А., Марфенина О.Е., Максимова И.А. Использование сукцессионного подхода при изучении видового состава микроскопических грибов и содержания грибной биомассы в антарктических почвах // Микология и фитопатология. 2017. № 51(4). С. 211–219.
26. Никитин Д.А., Иванова Е.А., Железова А.Д., Семенов М.В., Гаджумаров Р.Г., Тхакахова А.К., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Кутювая О.В. Оценка влияния технологии по-tilл и вспашки на микробиом южных агрочерноземов // Почвоведение. 2020. № 12. С. 1508–1520.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X20120084>
27. Никитин Д.А., Лысак Л.В., Бадмадашиев Д.В., Холод С.С., Мергелов Н.С., Долгих А.В., Горячкин С.В. Биологическая активность почв северных территорий архипелага Новая Земля // Почвоведение. 2021. № 10. С. 1207–1230.
<https://doi.org/10.31857/S0032180X21100087>
28. Никитин Д.А., Семенов М.В., Семиколенных А.А., Максимова И.А., Качалкин А.В., Иванова А.Е. Биомасса грибов и видовое разнообразие культивируемой микобиоты почв и субстратов о. Нортбрук (Земля Франца-Иосифа) // Микология и фитопатология. 2019. № 53(4). С. 210–222.
<https://doi.org/10.1134/S002636481904010X>
29. Прокопенко В.В., Зенова Г.М., Манучарова Н.А. Экофизиологическая характеристика психротолерантных актиномицетов тундровых и лесных ландшафтов // Почвоведение. 2019. № 6. С. 734–742.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19040105>
30. Семенов И.Н. Физико-географическая характеристика архипелага Новая Земля (литературный обзор). 2020. С. 1–40.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15583.20642>
31. Усачева А.А., Семенов И.Н., Мирошников А.Ю., Крупская В.В., Закусин С.В. Геохимические особенности аркто-тундровых ландшафтов восточного побережья Новой Земли // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2016. № 6. С. 87–95.
32. Холод С.С. Растительность в окрестностях мыса Желания (остров Северный архипелага Новая Земля) // Растительность России. 2020. № 38. С. 85–138.
<https://doi.org/10.31111/vegrus/2020.38.85>
33. Хоулт Дж., Круга Н., Снита П., Стейли Дж., Уилльямса С. Определитель бактерий Берджи / Пер. с англ. под ред. Г.А. Заварзина. М.: Мир, 1997. 800 с.
34. Bach E.M., Williams R.J., Hargreaves S.K., Yang F., Hofmockel K.S. Greatest soil microbial diversity found in micro-habitats // Soil Biology and Biochemistry. 2018. V. 118. P. 217–226.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.12.018>
35. Belov A.A., Cheptsov V.S., Vorobyova E.A., Manucharova N.A., Ezhelov Z.S. Culturable Bacterial Communities Isolated from Cryo-Arid Soils: Phylogenetic and Physiological Characteristics // Pleistological J. 2020. V. 54(8). P. 903–912.
<https://doi.org/10.1134/S0031030120080043>
36. de Hoog G.S., Guarro J., Gené J., Figueras M.J. Atlas of clinical fungi (No. Ed. 2). Centraalbureau voor Schimmelmcultures (CBS). 2000. 1126 p.
37. Domsch K.H., Gams W., Anderson T.H. Compendium of soil fungi, 2nd taxonomically revised. Eching: IHW-Verlag. 2007. 627 p.
38. Ellis M.B. Dematiaceous hyphomycetes. 1971. 608 p.
39. Fanin N., Kardol P., Farrell M., Nilsson M.C., Gundale M.J., Wardle D.A. The ratio of Gram-positive to Gram-negative bacterial PLFA markers as an indicator of carbon availability in organic soils // Soil Biology and Biochemistry. 2019. V. 128. P. 111–114.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.10.010>
40. Flimban S., Oh S.E., Joo J.H., Hussein K.A. Characterization and identification of cellulose-degrading bacteria isolated from a microbial fuel cell reactor // Biotechnology and Bioprocess Engineering. 2019. V. 24(4). P. 622–631.
<https://doi.org/10.1007/s12257-019-0089-3>
41. Gesheva V., Negoita T. Psychrotrophic microorganism communities in soils of Haswell Island, Antarctica, and their biosynthetic potential // Polar Biology. 2012. V. 35(2). P. 291–297.
<https://doi.org/10.1007/s00300-011-1052-8>
42. Hutchins D.A., Jansson J.K., Remais J.V., Rich V.I., Singh B.K., Trivedi P. Climate change microbiology—problems and perspectives // Nature Reviews Microbiology. 2019. V. 17(6). P. 391–396.
<https://doi.org/10.1038/s41579-019-0178-5>
43. Kochkina G.A., Ivanushkina N.E., Lupachev A.V., Starodumova I.P., Vasilenko O.V., Ozerskaya S.M. Diversity of mycelial fungi in natural and human-affected Antarctic soils // Polar Biology. 2019. V. 42(1). P. 47–64.
<https://doi.org/10.1007/s00300-018-2398-y>
44. Kudinova A.G., Petrova M.A., Dolgikh A.V., Soina V.S., Lysak L.V., Maslova O.A. Taxonomic Diversity of Bacteria and Their Filterable Forms in the Soils of Eastern Antarctica (Larsemann Hills and Bunger Hills) // Microbiology. 2020. V. 89(5). P. 574–584.
<https://doi.org/10.1134/S0026261720050136>
45. Kumar S., Suyal D.C., Yadav A., Shouche Y., Goel R. Microbial diversity and soil physiochemical characteristic of higher altitude // PloS one. 2019. V. 14(3). P. e0213844.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213844>
46. Malard L.A., Pearce D.A. Microbial diversity and biogeography in Arctic soils // Environmental microbiology reports. 2018. V. 10(6). P. 611–625.
<https://doi.org/10.1111/1758-2229.12680>
47. Malcheva B., Nustorova M., Zhiyanski M., Sokolovska M., Yaneva R., Abakumov E. Diversity and activity of microorganisms in Antarctic polar soils // One Ecosystem. 2020. V. 5. P. e51816.
<https://doi.org/10.3897/oneeco.5.e51816>
48. Mazei Y.A., Tsyganov A.N., Chernyshov V.A., Ivanovsky A.A., Payne R.J. First records of testate amoebae from the Novaya Zemlya archipelago (Russian Arctic) // Polar Biology. 2018. V. 41(6). P. 1133–1142.
<https://doi.org/10.1007/s00300-018-2273-x>
49. McCready R.G.L., Gould W.D., Barendregt R.W. Nitrogen isotope fractionation during the reduction of NO³⁻

- to NH⁴⁺ by *Desulfovibrio* sp. // Canadian J. Microbiology. 1983. V. 29(2). P. 231–234.
50. Möller K. Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity // Agronomy for sustainable development. 2015. V. 35(3). P. 1021–1041. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0284-3>
51. Nash M.V., Anesio A.M., Barker G., Tranter M., Varliero G., Eloe-Fadrosh E.A., Nielsen T., Turpin-Jelfs T., Benning L.G., Sánchez-Baracaldo P. Metagenomic insights into diazotrophic communities across Arctic glacier forefields // FEMS microbiology ecology. 2018. V. 94(9). fyy114. <https://doi.org/10.1093/femsec/fyy114>
52. Norum R., Proctor J. Svalbard: Spitsbergen, Jan Mayen and Franz Josef Land. Bradt Travel Guides. 2018.
53. Rousk K., Sorensen P.L., Michelsen A. Nitrogen fixation in the High Arctic: a source of 'new' nitrogen? // Biogeochemistry. 2017. V. 136(2). P. 213–222. <https://doi.org/10.1007/s10533-017-0393-y>
54. Salcher M.M. Isolation and cultivation of planktonic freshwater microbes is essential for a comprehensive understanding of their ecology // Aquatic Microbial Ecology. 2016. V. 77(3). P. 183–196. <https://doi.org/10.3354/ame01796>
55. Seifert K.A., Gams W. The genera of Hyphomycetes—2011 update // Persoonia. 2011. V. 27. P. 119. <https://doi.org/10.3767/003158511X617435>
56. Selbmann L., Zucconi L., Ruisi S., Grube M., Cardinale M., Onofri S. Culturable bacteria associated with Antarctic lichens: affiliation and psychrotolerance // Polar Biology. 2010. V. 33(1). P. 71–83. <https://doi.org/10.1007/s00300-009-0686-2>
57. Singh P., Singh S.M., Singh R.N., Naik S., Roy U., Srivastava A., Bölier M. Bacterial communities in ancient permafrost profiles of Svalbard, Arctic // J. Basic Microbiology. 2017. V. 57(12). P. 1018–1036. <https://doi.org/10.1002/jobm.201700061>
58. Walker D.A., Raynolds M.K., Danils F.J.A., Einarsson E., Elvebakk A., Gould W., Katenin A.E., Kholod S.S., Markon C.J., Melnikov E.S., Moskalenko N.G., Talbot S.S., Yurtsev B.A. and other members of the CAVM Team. The Circumpolar Arctic vegetation map // J. Vegetation Sciences. 2005. V. 16. P. 267–282. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2005.tb02365.x>
59. Wang J., Chadwick D.R., Cheng Y., Yan X. Global analysis of agricultural soil denitrification in response to fertilizer nitrogen // Science of the Total Environment. 2018. V. 616. P. 908–917. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.229>

Ecologo-Trophic Structure and Taxonomic Characteristics of Soil Microorganisms' Communities in Northern Part of Novaya Zemlya Archipelago

D. A. Nikitin¹*, L. V. Lysak², O. V. Kutovaya¹, and T. A. Gracheva²

¹Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

*e-mail: dimnik90@mail.ru

Using the method of seeding on elective nutrient media, the abundance and taxonomic diversity of ecological and trophic groups of microorganisms in the soils of the northern part of the Novaya Zemlya archipelago were estimated. The content of aerobic and anaerobic nitrogen fixers, as well as denitrifiers, is low (tens and hundreds of CFU/g soil). The number of saprotrophic bacteria varied from 3.3×10^4 to 1.2×10^6 CFU/g soil; actinomycetes – from 1.3×10^3 to 4.0×10^5 CFU/g soil; micromycetes – from 2.5×10^2 to 1.5×10^4 CFU/g soil. The abundance of all studied groups of microorganisms (except for aerobic nitrogen fixers) in the studied soils sharply decreases down the profile, which positively correlates with the content of organic carbon and total nitrogen. The community of soil microorganisms is dominated by gram-positive bacteria of the genera *Arthrobacter* and *Bacillus*, actinomycetes of the genera *Streptomyces* and *Micromonospora*, as well as micromycetes of the genera *Goffeauzyma*, *Phoma*, *Pseudogymnoascus* and *Thelebolus*. In general, the abundance and taxonomic diversity of cultivated microorganisms in the soils of the north of Novaya Zemlya are lower than in the soils of the more northern territories of the Franz Josef Land archipelago. This phenomenon is associated with the drying and cooling effect of the largest glacier in Russia on the Novaya Zemlya archipelago.

Keywords: Arctic, extreme ecosystems, CFU numbers, nitrogen fixers, denitrifiers, bacteria, actinomycetes, microscopic fungi