

УДК 631.461 (571.56)

МИКРОБОЦЕНОЗЫ МЕРЗЛОТНЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Н. П. Кузьмина, С. В. Ермолаева, А. П. Чевычелов

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН
677980, Якутск, пр. Ленина, 41

E-mail: erel1982@mail.ru, sveta_efa@mail.ru, chev.soil@list.ru

Поступила в редакцию 25.03.2022 г.

Впервые изучены микробные сообщества мерзлотных лесных почв Якутского ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, на территории которого распространены почти все типы лесных почв, встречающиеся в Центральной Якутии. Установлено, что в исследованных мерзлотных почвах в 2019 г. численность культивируемых микроорганизмов колебалась от $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ до $2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы. Наиболее насыщенной микроорганизмами из всех типов мерзлотных почв оказалась перегнойно-карбонатная почва, а самой бедной – солодь. По общей численности микроорганизмов выделялись перегнойно-карбонатная и палевая серая почвы, образованные в результате дернового почвообразовательного процесса. Отмечено, что микроорганизмы сконцентрированы в верхних органогенных горизонтах и с глубиной их численность падает. В микробоценозах исследуемых четырех из пяти типов почв, сформированных на рыхлых легких аллювиальных отложениях, доминировали мицелиальные микроорганизмы, а в микробоценозе солоди, развивающейся на лессовидных аллювиальных суглинках – аммонифицирующие бактерии. Установлено, что преобладание тех или иных групп микроорганизмов зависело от химического состава почв, а также от особенностей их формирования. Мицелиальные грибы в основном были представлены представителями родов аспергилл (*Aspergillus* sp.) и пеницилл (*Penicillium* sp.). Аэробные целлюлозолитические микроорганизмы обнаружены в количестве $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ – $8.3 \pm 4.1 \times 10^4$ КОЕ/г почвы, больше всего их в перегнойно-карбонатной почве. Азотфиксаторы найдены только в перегнойно-карбонатной почве (98 %). Изучено, что численность микроорганизмов с физико-химическими параметрами (С, N, рН, влажность) коррелирует в различных типах почв по-разному. Количество микроорганизмов в основном зависело от температуры почвы, содержания гумуса и азота.

Ключевые слова: мерзлотные лесные почвы, состав и свойства, количество и распределение микроорганизмов, корреляционные зависимости.

DOI: 10.15372/SJFS20220603

ВВЕДЕНИЕ

В почвах происходят разнообразные биохимические превращения и главную роль в этих процессах играют микроорганизмы (Звягинцев, 1987). Чтобы понять функционирование почвы как системы важна как качественная оценка почвенной микробиоты, т. е. видовой состав и разнообразие, так и ее количественная характеристика. Необходимо знать запасы живых микроорганизмов в почвах разных типов и в их различных генетических горизонтах (Полянская и др., 1995; Гейдебрехт, 1999).

Лесные криоаридные почвы Центральной Якутии формируются в резко континентальном климате и условно относятся к категории «мерзлотных сухих» (Еловская, 1987). Они не имеют аналогов ни в Западной Сибири, ни на территории Европейской части России и характеризуются особым морфологическим строением и физико-химическими свойствами, отличающими их от почв других регионов России. Как правило, для них свойственны слабая дифференциация и укороченность почвенного профиля, низкое содержание гумуса, незначительная сорбционная и водоудерживающая способность (Еловская,

Коноровский, 1978; Саввинов, 2013). Вместе с тем деятельность почвенных микроорганизмов лесных почв Якутии исследована крайне слабо, а изучение микробных сообществ почв на территории Якутии ранее проводилось эпизодически (Напрасникова и др., 1988; Данилова и др., 2008; Ерофеевская, 2014; Щелчкова, Стручкова, 2016; и др.). До сих пор нет целостной картины количественного и качественного состава микрофлоры почв мерзлотных ландшафтов. В предыдущие годы нами были исследованы в основном лугово-степные, лесные палевые и антропогенно трансформированные почвы (Иванова и др., 2008, 2014; Ivanova et al., 2008, 2014). Установлено, что в микробоценозах дерново-луговых и палевых почв доминировали группы аммонифицирующих бактерий. Наиболее существенное влияние на численность микроорганизмов оказывала влажность. Характерной особенностью мерзлотных почв Якутии была высокая численность бактерий по всему профилю исследованных почв, и эта тенденция не зависела от гидротермических условий года (Иванова, 2006; Иванова и др., 2008, 2014; Ivanova et al., 2008, 2014).

В пределах среднетаежной подзоны Якутии изучение почвенной микробиоты касалось преимущественно лесных палевых почв (Щелчкова и др., 1999; Иванова, 2006; Иванова и др., 2008; Ivanova et al., 2008), а подзолы и солоды в этом отношении не анализировались. Следует подчеркнуть, что исследование микробоценозов мерзлотных лесных почв, развитых на территории Якутского ботанического сада (ЯБС) в окрестностях г. Якутска, проводится впервые.

В настоящей работе впервые проведено сравнительное изучение микробных сообществ мерзлотных лесных почв Центральной Якутии.

Цель настоящего исследования – изучить количественный состав некоторых функциональных групп микроорганизмов и их распределение по профилю мерзлотных почв данной территории и выявить корреляцию между различными параметрами почв, характеризующими состояние микробного комплекса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Площадь исследованной равнинной территории Якутского ботанического сада составляла около 100 га. В геоморфологическом отношении данная территория приурочена ко второй надпойменной террасе р. Лена, в пределах расширенной части долины этой реки, называемой «Гуймаада» (Горохов и др., 2020). Здесь преобладают луговые и степные ландшафты, чередующиеся по микроповышениям рельефа с разреженными остепненными сосняками, а по микропонижениям – с травяными березняками (чаранами) (Еловская, Коноровский, 1978).

Закладка почвенных разрезов, их описание и отбор образцов проведены однократно в III декаде июля 2019 г. Всего было заложено и исследовано пять почвенных разрезов мерзлотных лесных почв на территории ЯБС – 1БС-18, 2БС-18, 5БС-18, 8БС-18 и 11БС-18 (табл. 1, рис. 1).

Географические координаты: 62°01'22.0" с. ш., 129°37'32.1" в. д., абсолютная высота (*H*) 98.0 м над уровнем моря (н. у. м.) (рис. 1, а).

Разрез 2БС-18 заложен на мезоповышении, на участке коренного смешанного сосново-березово-лиственничного леса, напочвенный покров – кустарничково-зеленомошный. Географические координаты: 62°01'18.2" с. ш., 129°37'23.2" в. д., *H* – 101.2 м н. у. м. (рис. 1, б).

Таблица 1. Морфологическая характеристика мерзлотных лесных почв исследуемого района

Номер разреза	Почва	Морфологическое строение профиля
1БС-18	Солодь	A0A1 (0–4) – A1A2 (4–8) – A2 (8–24/29) – B1s, са (24/29–42/48) – B2са (42/48–66) – BCса (66–86) – Cса (86–104 см)
2БС-18	Подзол иллювиально-гумусово-железистый	A0 (0–4) – A0A1 (4–12) – A2 (12–16/18) – Bfe (16/18–34/37) – Bfe, h (34/37–48) – BCfe (48–75 см)
5БС-18	Перегноино-карбонатная	A0 (0–5) – A0A1 (5–8) – A (8–26) – ABса (26–37) – Bса (37–72) – BC (72–86) – C (86–102 см)
8БС-18	Палевая серая	A0 (0–3) – A0A1 (3–8) – A (8–24) – ABса (24–40) – Bса (40–62) – BC (62–100) – C (100–110 см)
11БС-18	Подзол иллювиально-железистый	A0A1 (0–3) – A1A2 (3–8) – [A1pir] (8–11) – A2 (8–28/33) – Bfe (28/33–54) – BCfe (54–72) – C (72–102 см)



Рис. 1. Морфологическое строение мерзлотной солоды (*а* – разрез 1БС-18), мерзлотного подзола иллювиально-гумусово железистого (*б* – разрез 2БС-18), мерзлотной перегнойно-карбонатной почвы (*в* – разрез 5БС-18) и мерзлотной палевой серой почвы (*г* – разрез 8БС-18).

Разрез 5БС-18 заложен на территории ЯБС, на контуре искусственного ельника разнотравно-зеленомошного. Географические координаты: $62^{\circ}01'20.5''$ с. ш., $129^{\circ}37'15.7''$ в. д., $H - 98.5$ м н. у. м. (рис. 1, *в*).

Разрез 8БС-18 заложен в неглубоком плоском понижении, на контуре березового кустарникового леса с разнотравно-злаковым напочвенным

покровом. Географические координаты разреза: $62^{\circ}01'28.3''$ с. ш., $129^{\circ}36'52.4''$ в. д., $H - 97.8$ м н. у. м. (рис. 1, *г*).

Разрез 11БС-18 заложен в нижней части склона коренного берега р. Лена в мертвопокровном сосняке. Географические координаты: $62^{\circ}01'29.0''$ с. ш., $129^{\circ}36'12.7''$ в. д., $H - 108.2$ м н. у. м.

В процессе проведенных работ применялись различные почвенные методы исследований, такие как сравнительно-географический и сравнительно-аналитический (Роде, 1971), профильно-генетический (Розанов, 1983), а состав и свойства почв определялись по общепринятым методикам (Аринушкина, 1970). Диагностика и классификация изучаемых почв осуществлялась в соответствии с критериями и принципами диагностики и классификации мерзлотных почв Якутии (Еловская, 1987).

Образцы почв для микробиологических исследований отбирали по стандартной методике с различных глубин по генетическим горизонтам, помещали в стерильные бюксы и замораживали через 1–2 ч после отбора. Методика отбора, хранения и доставки образцов исключала возможность их оттаивания и заражения посторонними микроорганизмами. Численность культивируемых микроорганизмов определяли методом посева на селективные питательные среды (Методы..., 1991). Засеянные чашки Петри инкубировали при 24 °С. Морфологию клеток культур изучали методами световой микроскопии при помощи микроскопа «Биолам Р-15» (увеличение 1250). Идентификацию грибов до родовой принадлежности проводили по определителю М. А. Литвинова (1967).

Количество бактерий, использующих органический азот (аммонифицирующих бактерий), учитывали на мясопептонном агаре (МПА); актиномицетов – на крахмало-аммиачном агаре (КАА); олигонитрофильных бактерий – на среде Эшби; количество грибов – на подкисленной среде Чапека для грибов. Для обнаружения и количественного учета аэробных целлюлозоразлагающих микроорганизмов использовали среду Гетчинсона и Клейтона способом посева из разведенной почвенной суспензии на агаризованную среду, поверх которой накладывали стерильный обеззоленный фильтр. Определение содержания аэробных азотфиксирующих бактерий проводили методом обрастания почвенных комочков на среде Эшби. Подсчет обросших комочков азотфиксаторами выражали в процентах. Колонии бактерий учитывали на 3–4-е сутки, грибов – на 7–10-е. Численность микроорганизмов определяли подсчетом колоний, выросших на данной среде и выражали в колониеобразующих единицах (далее КОЕ) на 1 г почвы (на 5 параллельных чашках с пересчетом на 1 г абс.-сух. почвы) (Методы..., 1991). Общую численность микроорганизмов (ОЧМ) в исследуемых почвах определяли с выведением средних значений данных по численности микроорганизмов.

Статистическая обработка материалов проводилась на 95%-м уровне значимости по стандартной программе EXCEL 2019 (пакет программ Windows).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ температуры и влажности исследуемых типов почв показал, что наиболее теплые из них – палевая серая почва (разрез 8БС-18) и подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18). Так, в горизонте С данных почв, на глубине около 100 см, температура (*t*) составляла 4.2–5.6 °С (табл. 2). В поверхностных органогенных горизонтах подзола иллювиально-гумусово-железистого (разрез 2БС-18) и солоды (разрез 1БС-18), в горизонтах А0 и А0А1, отмечены максимальные температуры (13.8–16.8 °С). Также нужно отметить, что из всех пяти исследуемых педонов в III декаде июля 2018 г. только в вышеназванном подзоле (разрез 2БС-18) глубина сезонного протаивания или мощность деятельного слоя составляла менее 100 см (или 60 см). Последнее обусловлено максимальной суммарной мощностью органогенных горизонтов лесной подстилки А0 и перегнойного А0А1, равной 12 см, экранирующей проникновение положительных температур в глубь почвенного профиля. Повышенная влажность отмечалась в трех разрезах изучаемых почв, а именно в солоде (разрез 1БС-18), перегнойно-карбонатной почве (разрез 5БС-18) и палевой серой почве (разрез 8БС-18), максимально составляя 17.0–18.8 %.

Это также вполне объяснимо, так как эти почвы характеризуются в основном суглинистым гранулометрическим составом. Минимальная влажность (1.8–2.8 %) характерна для подзола (разрез 11БС-18), сформированного в нижней части пологого водораздельного склона, на песчаных отложениях под разреженным сосновым лесом.

Физико-химические свойства исследуемых типов мерзлотных почв значительно различаются и изменяются в широких пределах и полностью соответствуют их диагностике и почвенно-генетическим особенностям. Так, значения рН обычно изменяются от слабокислых в верхних почвенных горизонтах до щелочных в нижних. Содержание гумуса в минеральных горизонтах данных почв, как правило, среднее и низкое и резко убывающее, количество общего азота – низкое и также резко убывающее с глубиной (табл. 2).

Исследуемые типы мерзлотных почв формируются в условиях криоаридного климата и

Таблица 2. Физико-химические свойства мерзлотных лесных почв исследуемого района, июль 2019 г.

Горизонт	Глубина, см	t, °С	W, %	pH _{H₂O}	Гумус	N	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы				Фракция, %		CO ₂ карбо- натов, %
					%	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺	Сумма	<0.001 мм	<0.01 мм		
Солодь (разрез 1БС-18)													
A0A1	0–4	16.8	12.1	5.6	86.*	1.38	47.7	12.2	–	59.9	–	–	Н. о.
A1A2	4–8	12.8	11.5	4.9	33.*	0.61	45.0	11.8	–	56.8	–	–	»
A2	14–24	10.2	18.6	5.2	4.7	0.05	15.3	7.2	–	22.5	11.5	35.6	»
B1s, ca	28–38	6.9	11.6	8.5	4.4	0.12	19.3	6.4	–	25.7	25.7	47.9	5.1
B2ca	44–54	3.9	16.0	8.9	2.9	0.03	13.3	7.1	–	20.4	14.7	34.3	4.4
BCca	70–80	1.1	18.0	8.7	1.6	0.02	10.2	6.1	–	16.3	16.9	33.0	4.5
Cca	90–100	–	–	8.8	0.8	–	12.2	5.1	–	17.3	18.5	40.0	4.4
Подзол иллювиально-гумусово-железистый (разрез 2БС-18)													
A0	0–4	13.8	22.0	5.7	88.7*	1.11	–	–	–	–	–	–	Н. о.
A0A1	4–12	9.4	9.3	5.1	46.4*	0.86	23.1	10.9	2.8	36.8	–	–	»
A2	12–18	8.6	4.9	4.7	3.4	0.10	3.8	1.2	2.6	7.6	4.8	12.5	»
Bfe	20–30	5.2	7.2	5.6	0.8	0.07	2.2	1.7	0.2	4.1	3.2	5.3	»
Bfe, h	38–48	2.5	11.7	6.0	1.6	0.06	8.7	1.7	0.7	11.1	5.7	19.3	»
BCfe	48–58	–	–	6.3	0.3	–	3.5	1.6	0.2	5.3	4.0	7.7	»
Перегноино-карбонатная почва (разрез 5БС-18)													
A0	0–5	10.6	15.3	6.0	91.0*	0.82	68.2	39.6	–	107.8	–	–	–
A0A1	5–8	8.9	17.0	6.4	81.3*	1.04	60.0	34.1	–	94.1	–	–	Н. о.
A	10–20	7.4	15.9	8.0	6.9	0.18	15.7	13.6	–	29.3	8.5	20.7	»
ABca	26–36	5.1	8.9	8.6	6.5	0.11	12.3	11.3	–	23.6	10.5	22.4	2.3
Bca	50–60	2.3	3.4	9.1	0.9	0.03	9.1	3.0	–	12.1	12.8	24.6	5.3
BC	75–85	–	–	8.8	0.2	0.02	7.1	3.0	–	10.1	8.2	14.9	5.3
Cca	90–100	–	–	9.1	0.1	0.01	5.0	2.0	–	7.0	4.6	5.6	2.5
Палевая серая почва (разрез 8БС-18)													
A0A1	3–8	–	–	6.1	51.6*	1.09	52.4	22.4	–	74.8	–	–	Н. о.
A	10–20	9.9	11.2	5.9	13.9	0.21	15.8	7.9	–	23.7	11.7	25.5	»
ABca	25–35	8.1	18.8	8.9	1.1	0.03	11.2	8.1	–	19.3	18.0	40.0	4.3
Bca	45–55	6.6	14.2	9.0	0.5	0.02	9.1	6.1	–	15.2	16.3	34.7	4.2
BC	75–85	5.1	15.9	8.6	0.3	0.01	11.4	8.1	–	19.5	13.3	26.4	4.2
C	100–110	4.2	14.3	9.2	0.2	–	4.0	1.7	–	5.7	3.3	6.4	4.2
Подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18)													
A0A1	0–3	–	–	6.2	29.7*	0.34	20.1	5.5	0.4	26.0	–	–	Н. о.
A1A2	3–8	14.0	5.1	5.6	3.9	0.03	5.2	1.3	0.6	7.1	4.3	7.6	»
[Apir]	8–11	12.3	1.8	5.9	7.6	0.09	9.0	2.7	0.3	12.0	5.1	8.8	»
A2	15–25	9.7	2.3	6.4	1.4	0.02	3.1	1.4	0.1	4.6	5.7	6.7	»
Bf	40–50	7.5	2.8	5.9	1.0	0.01	3.4	1.2	0.2	4.8	4.1	7.9	»
BCf	58–68	5.6	9.0	6.2	0.6	0.01	2.9	1.5	–	4.4	5.8	6.5	»
C	85–95	–	–	6.3	0.5	0.01	3.6	2.1	–	5.7	6.6	9.2	»

Примечание. Н. о. – не обнаружено, прочерк – не определено.

* Приведено значение потери при прокаливании.

поэтому характеризуются периодически промывным типом водного режима. Это во многом определяет специфику их свойств и состава. Так, даже в почвенно-поглощающем комплексе (ППК) подзолов (разрезы 2БС-18 и 11БС-18) наблюдается низкое содержание обменного Н⁺, а их ППК насыщен обменными катионами, что вообще не характерно для подзолов других

российских регионов. Последнее указывает на то, что в ландшафтно-климатических условиях криолитозоны Центральной Якутии процесс подзолообразования (оподзоливания) в лесных почвах проявляется в «мягкой» форме.

Гранулометрический состав изучаемых почв изменяется в широких пределах – от песчаного до тяжелосуглинистого. В почвах элювиального

Таблица 3. Численность микроорганизмов в мерзлотных лесных почвах Якутского ботанического сада, июль 2019 г.

Глубина, см	Аммонификаторы	Олигонитрофилы	Актиномицеты	Грибы	Целлюлозолитики	Азотфиксаторы, %
Солодь (разрез 1БС-18)						
4–12	$4.0 \pm 0.2 \times 10^5$	$5.7 \pm 1.5 \times 10^4$	$1.5 \pm 0.2 \times 10^5$	$4.5 \pm 2.5 \times 10^4$	$7.9 \pm 4.0 \times 10^4$	0
12–18	$2.9 \pm 0.6 \times 10^5$	$1.3 \pm 0.4 \times 10^5$	$2.8 \pm 0.5 \times 10^5$	$2.6 \pm 0.4 \times 10^5$	$1.4 \pm 1.0 \times 10^4$	0
38–48	$1.7 \pm 0.2 \times 10^5$	$1.3 \pm 0.5 \times 10^5$	$3.8 \pm 1.2 \times 10^5$	$4.9 \pm 2.7 \times 10^4$	$8.6 \pm 5.3 \times 10^3$	0
48–58	$8.5 \pm 1.7 \times 10^4$	$6.7 \pm 1.9 \times 10^4$	$2.2 \pm 0.4 \times 10^5$	$5.1 \pm 2.6 \times 10^4$	–	–
70–80	$5.3 \pm 3.1 \times 10^4$	0	$1.1 \pm 0.5 \times 10^5$	0	–	–
90–100	$3.1 \pm 0.6 \times 10^4$	$1.2 \pm 0.61 \times 10^4$	$7.9 \pm 4.3 \times 10^4$	0	–	–
Подзол иллювиально-гумусово-железистый (разрез 2БС-18)						
4–12	$4.3 \pm 2.4 \times 10^5$	$4.5 \pm 0.3 \times 10^5$	$5.6 \pm 0.8 \times 10^5$	$1.0 \pm 0.3 \times 10^6$	$1.3 \pm 0.6 \times 10^3$	0
12–18	$1.8 \pm 0.4 \times 10^5$	$3.8 \pm 0.5 \times 10^4$	$2.3 \pm 0.8 \times 10^5$	$1.4 \pm 0.3 \times 10^5$	$4.4 \pm 2.4 \times 10^3$	0
20–30	$1.0 \pm 0.1 \times 10^5$	0	$8.4 \pm 4.6 \times 10^4$	$3.2 \pm 0.9 \times 10^4$	$2.1 \pm 1.0 \times 10^3$	0
48–58	$1.8 \pm 0.1 \times 10^5$	$3.8 \pm 0.5 \times 10^4$	$3.2 \pm 1.6 \times 10^4$	$5.4 \pm 1.4 \times 10^4$	$1.0 \pm 0.5 \times 10^3$	0
80–90	$4.5 \pm 0.5 \times 10^4$	$2.8 \pm 0.5 \times 10^4$	$3.4 \pm 1.7 \times 10^4$	$2.8 \pm 1.5 \times 10^4$	–	–
Перегноино-карбонатная почва (разрез 5БС-18)						
5–8	$1.3 \pm 0.5 \times 10^6$	$1.0 \pm 0.5 \times 10^6$	$2.4 \pm 0.2 \times 10^6$	$2.5 \pm 0.1 \times 10^6$	$8.3 \pm 4.1 \times 10^4$	98.7
10–20	$1.7 \pm 0.5 \times 10^5$	$1.1 \pm 0.4 \times 10^6$	$1.3 \pm 0.2 \times 10^6$	$6.4 \pm 1.1 \times 10^5$	$1.8 \pm 0.9 \times 10^4$	98.0
26–36	$1.6 \pm 0.3 \times 10^5$	$3.5 \pm 0.4 \times 10^5$	$2.1 \pm 0.9 \times 10^5$	$6.5 \pm 0.6 \times 10^4$	$2.9 \pm 1.5 \times 10^3$	2.0
50–60	$1.1 \pm 0.1 \times 10^5$	$1.0 \pm 0.3 \times 10^5$	$7.7 \pm 1.1 \times 10^4$	$9.3 \pm 3.1 \times 10^4$	–	–
75–85	$2.1 \pm 0.5 \times 10^4$	$4.6 \pm 1.5 \times 10^4$	$3.6 \pm 0.5 \times 10^4$	$1.0 \pm 0.5 \times 10^4$	–	–
Палевая серая почва (разрез 8БС-18)						
10–20	$4.5 \pm 0.6 \times 10^5$	$4.0 \pm 0.5 \times 10^5$	$4.9 \pm 0.3 \times 10^5$	$8.7 \pm 0.3 \times 10^5$	$1.6 \pm 0.8 \times 10^4$	1.0
30–40	$3.7 \pm 0.2 \times 10^5$	$4.8 \pm 0.6 \times 10^5$	$4.8 \pm 0.2 \times 10^5$	$3.7 \pm 1.1 \times 10^5$	$1.9 \pm 0.9 \times 10^4$	0
45–55	$6.4 \pm 2.5 \times 10^4$	$1.5 \pm 0.2 \times 10^5$	$1.2 \pm 0.2 \times 10^5$	$2.9 \pm 0.6 \times 10^4$	$3.5 \pm 2.0 \times 10^3$	0
75–85	$4.2 \pm 0.6 \times 10^4$	$8.3 \pm 1.6 \times 10^4$	$9.5 \pm 1.6 \times 10^4$	$6.5 \pm 1.2 \times 10^4$	–	–
100–110	$4.6 \pm 1.5 \times 10^4$	$2.9 \pm 0.6 \times 10^4$	$2.3 \pm 0.6 \times 10^4$	$4.6 \pm 3.1 \times 10^4$	–	–
Подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18)						
3–8	$2.0 \pm 0.8 \times 10^5$	$6.8 \pm 0.5 \times 10^4$	$1.4 \pm 0.1 \times 10^5$	$2.1 \pm 0.4 \times 10^5$	$2.3 \pm 1.1 \times 10^4$	0
8–11	$8.1 \pm 3.1 \times 10^4$	$2.5 \pm 1.3 \times 10^4$	$6.6 \pm 1.3 \times 10^4$	$1.2 \pm 0.3 \times 10^5$	0	0
15–25	$3.6 \pm 1.3 \times 10^4$	$1.5 \pm 0.8 \times 10^4$	$2.0 \pm 0.5 \times 10^4$	$2.0 \pm 1.0 \times 10^4$	$5.2 \pm 0.5 \times 10^2$	0
40–50	$3.6 \pm 2.2 \times 10^4$	$6.2 \pm 3.2 \times 10^4$	$1.5 \pm 0.8 \times 10^4$	$3.1 \pm 0.8 \times 10^4$	–	–
72–102	$2.7 \pm 1.4 \times 10^4$	$1.1 \pm 0.5 \times 10^4$	$6.5 \pm 1.9 \times 10^4$	$1.7 \pm 1.0 \times 10^4$	–	–

Примечание. 0 – не обнаружено; прочерк – не определено.

ряда отмечается внутривидовая дифференциация гранулометрического состава по элювиально-иллювиальному типу, что особенно характерно для подзола (разрез 2БС-18) и солоди (разрез 1БС-18) (табл. 2).

Необходимо отметить, что почвы элювиального ряда, а именно подзолы и солоды, на второй надпойменной террасе р. Лена в окрестностях г. Якутска, нами описаны и изучены впервые. Ранее в Центральной Якутии они выделялись только на коренном берегу Лены на более высоких террасах, обычно в пределах среднего и верхнего геоморфологического уровня древней аллювиальной равнины (Еловская, 1987; Чевычелов и др., 2009; Chevychelov et al., 2009; Скрыбыкина, 2017). Результаты микробиологи-

ческого анализа в исследуемых лесных почвах Якутского ботанического сада показали, что в июле 2019 г. численность микроорганизмов в разных горизонтах колебалась от $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ до $2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы (табл. 3).

Численность микроорганизмов в мерзлотных лесных почвах ЯБС (10^6 КОЕ/г почвы) уступала на три порядка мерзлотным палевым лесным почвам стационара «Спаская падь» Центральной Якутии (10^9 КОЕ/г) (Иванова, 2006). Столь незначительное количество микроорганизмов по сравнению с данными предыдущих исследований (Иванова, 2006; Иванова и др., 2008; Ivanova et al., 2008), можно объяснить тем, что лето 2019 г. оказалось крайне засушливым и жарким. Тем не менее наиболее богатой микроорганизмами

Таблица 4. Общая численность микроорганизмов (ОЧМ) в мерзлотных почвах ЯБС (2019 г.)

Номер разреза	Почва	ОЧМ, КОЕ/г почвы
1БС-18	Солодь	$5.1 \pm 1.4 \times 10^5$
2БС-18	Подзол иллювиально-гумусово-железистый	$7.3 \pm 4.2 \times 10^5$
5БС-18	Перегноино-карбонатная	$2.4 \pm 1.3 \times 10^6$
8БС-18	Палевая серая	$9.4 \pm 4.3 \times 10^5$
11БС-18	Подзол иллювиально-железистый	$2.8 \pm 0.9 \times 10^5$

оказалась перегноино-карбонатная почва (разрез 5БС-18), сформированная под ельником. В микробоценозе данной почвы доминировали мицелиальные грибы ($2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы) и актиномицеты ($2.4 \pm 0.2 \times 10^6$ КОЕ/г) в верхнем органогенном горизонте А0А1. Такое скопление мицелиальных микроорганизмов связано с высоким содержанием почвенного органического вещества (ПОВ), составляющего 81.3 %, и общего N, равного 1.04 % (см. табл. 2). Эти микроорганизмы, образуя споры, могут развиваться даже при кислом значении рН и низкой увлажненности почвы (Звягинцев, Зенова, 2001). Мицелиальные микроорганизмы играют ключевую роль в образовании гумуса в почвах, следовательно, перегноино-карбонатная почва (разрез 5БС-18) оказалась наиболее насыщенной органикой, доступной для жизнедеятельности микроорганизмов.

По общей численности микроорганизмов (ОЧМ), наиболее богатой оказалась перегноино-карбонатная почва (разрез 5БС-18) (табл. 4) с преобладанием в микробоценозе мицелиальных грибов (табл. 3), второе место занимала палевая серая почва.

В микробоценозе этой почвы также преобладали мицелиальные грибы (табл. 3), особенно на глубине 10–20 см ($8.7 \pm 0.3 \times 10^5$ КОЕ/г почвы), что можно объяснить высоким содержанием гумуса, кислым значением рН (5.9) и высокой влажностью почвы (табл. 2).

Третье место по ОЧМ занимал подзол иллювиально-гумусово-железистый (разрез 2БС-18) (табл. 4) с максимальным содержанием мицелиальных грибов ($1.0 \pm 0.3 \times 10^6$ КОЕ/г почвы) в горизонте А1А0 (табл. 3), где значение рН (5.1) также оказалось кислым, и отмечено значительное содержание ПОВ (табл. 2). На четвертом месте по ОЧМ оказалась солодь (табл. 4). В микробоценозе преобладали аммонификаторы ($4.0 \pm 0.2 \times 10^5$ КОЕ/г почвы) в верхнем горизонте А1А2 (табл. 3). Последнее место по ОЧМ занимал подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18) (табл. 4), где доминировали мицелиальные грибы ($2.1 \pm 0.4 \times 10^5$ КОЕ/г почвы) и аммонификаторы ($2.0 \pm 0.8 \times 10^5$ КОЕ/г почвы)

в одинаковых количествах в горизонте А1А2 (табл. 3).

Таким образом, общая численность микроорганизмов в изучаемых мерзлотных лесных почвах возрастала в ряду: подзол иллювиально-железистый → солодь → подзол иллювиально-гумусово-железистый → палевая серая → перегноино-карбонатная.

Аэробные целлюлозолитические микроорганизмы обнаружены в меньшем количестве (10^2 – 10^4 КОЕ/г почвы). Максимальная их численность ($8.3 \pm 4.1 \times 10^4$ КОЕ/г почвы) отмечена также в перегноино-карбонатной почве (разрез 5БС-18). Определение относительного содержания аэробных азотфиксаторов методом почвенных комочков показало, что они обнаружены только в одной из исследованных почв – перегноино-карбонатной (98 %) (табл. 3). В микробоценозах остальных почв по данному методу азотфиксаторы не обнаружены.

Исследованные почвы относят к трем генетическим типам, а именно к солодям, подзолам и палевым почвам. При этом необходимо отметить, что четыре педона из пяти изучаемых разрезов данных почв формируются на рыхлых легких аллювиальных отложениях сходного минералогического состава, представленных полимиктовыми песками, и только солодь (разрез 1БС-18) развивается на лессовидных аллювиальных суглинках среднесуглинистого гранулометрического состава (табл. 2). Солодь (разрез 1БС-18) формируется главным образом под влиянием осолоделого процесса, подзол (разрез 2БС-18) – подзолистого альфегумусового, а перегноино-карбонатная (разрез 5БС-18) и палевая серая (разрез 8БС-18) почвы – дернового почвообразовательного. По численности микроорганизмов солодь также отличалась от остальных почв. Так, в ее микробоценозе обнаружено меньшее общее количество микроорганизмов ($5.1 \pm 1.4 \times 10^5$ КОЕ/г почвы), что можно объяснить особенностью формирования самой почвы в результате осолоделого процесса почвообразования. Солодь отличалась от остальных исследованных почв ЯБС более плотной структурой с выраженными процессами оглеения, что

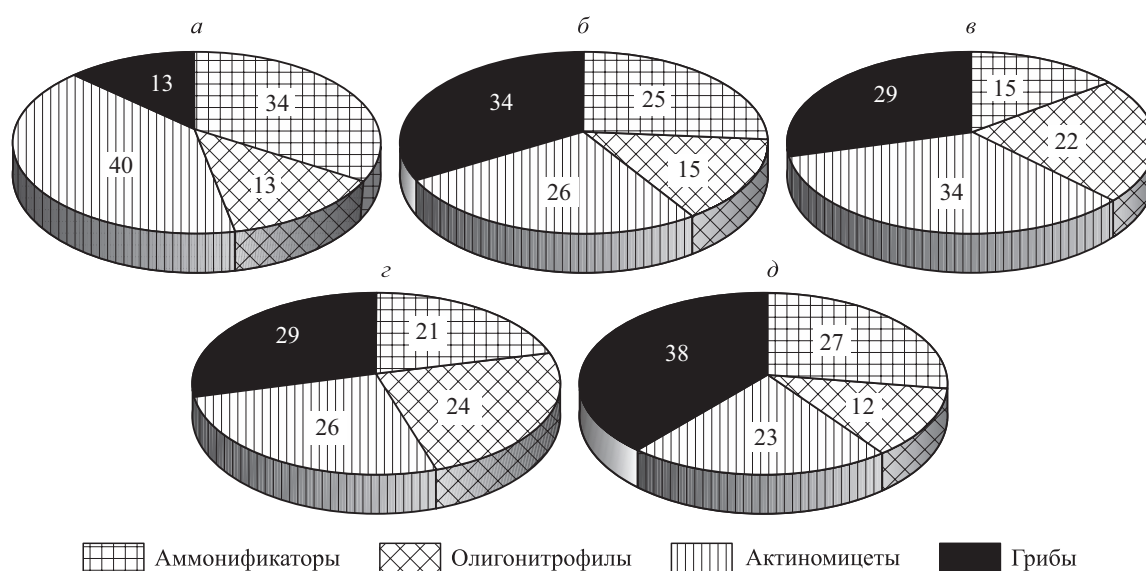


Рис. 2. Соотношение состава функциональных групп микробоценозов (%) мерзлотных почв исследуемого района (2019 г.).

а – солодь; б – подзол иллювиально-гумусово-железистый; в – перегнойно-карбонатная; г – палевая серая; д – подзол иллювиально-железистый.

предотвращало аэрацию и увлажнение почвы, следовательно, почва обладала низким плодородием и неблагоприятным водным режимом. Возможно, это стало причиной наименьшего содержания микроорганизмов. В микробоценозах четырех лесных почв (подзол иллювиально-гумусово-железистый, подзол иллювиально-железистый, перегнойно-карбонатная, палевая серая) преобладали мицелиальные микроорганизмы в верхних органогенных горизонтах, где отмечено слабокислое значение pH. И только в микробоценозе солоди преобладали аммонифицирующие бактерии в верхнем органогенном горизонте почвы. Наши результаты соответствуют данным З. И. Никитиной и А. М. Антоненко (1982), согласно которым летом в микробоценозах почв преобладают грибы, а поздней осенью – бактерии (цит. по: Гейдебрехт, 1999). Распределение микроорганизмов по профилям исследуемых лесных почв показало, что большое скопление бактерий и грибов наблюдалось в верхних органогенных горизонтах, и с глубиной их численность падала. Такие же результаты получены у наших коллег по изучению распределения микроорганизмов в мерзлотных почвах, где активность с глубиной плавно убывала, достигая минимума в надмерзлотном слое (Гродницкая и др., 2013; Grodnitskaya et al., 2013).

Микробоценозы разных типов почв содержали исследованные группы микроорганизмов в разном соотношении. Из полученных данных по численности микроорганизмов было рас-

считано процентное соотношение тех или иных групп микроорганизмов от ОЧМ в каждой почве (рис. 2).

В микробоценозе солоди (разрез 1БС-18) преобладали актиномицеты (40 %), далее располагались аммонификаторы (34 %), грибы и олигонитрофильные бактерии составляли одинаковое относительное количество (13 %) (рис. 2, а). В микробоценозе подзола разрез 2БС-18 доминировали мицелиальные грибы (34 %), аммонификаторы и актиномицеты составляли почти равное количество (25 и 26 %), меньше всего оказалось олигонитрофильных бактерий (15 %) (рис. 2, б).

В наиболее насыщенной микроорганизмами перегнойно-карбонатной почве (разрез 5БС-18) доминировали актиномицеты (34 %), грибы составляли 29 %, меньше всего оказалось аммонификаторов (15 %) (рис. 2, в). В микробоценозе палевой серой почвы преобладали мицелиальные грибы (29 %), актиномицеты составляли 26 %, олигонитрофилы – 24 % и аммонификаторы – 21 % (рис. 2, г). В микробном сообществе подзола иллювиально-железистого большую часть составляли мицелиальные грибы (38 %), затем аммонификаторы (27 %), актиномицеты (23 %) и меньшую часть – олигонитрофилы (12 %) (рис. 2, д).

Таким образом, соотношение групп исследуемых микроорганизмов в микробоценозах различных типов почв Якутского ботанического сада было разным. Преобладание тех или иных

групп микроорганизмов зависело от содержания органики (гумус и азот) и значений рН. Кроме того, соотношение групп микроорганизмов в микробоценозе может зависеть от особенностей и специфики процессов формирования почв, например, только в солоди обнаружено максимальное количество аммонифицирующих бактерий, тогда как в остальных почвах доминировали мицелиальные микроорганизмы (актиномицеты и грибы). Преобладание бактерий, использующих органические формы азота, соответствует химическим данным исследуемой почвы, где отмечено наибольшее содержание азота (табл. 2). Наибольшая численность олигонитрофильных бактерий обнаружена в палевой серой почве. В двух разрезах подзолов и перегнойно-карбонатной почве доминировали мицелиальные грибы. Как известно, микромицеты активно участвуют в разложении органических остатков, синтезе и минерализации гумуса, в круговороте азота, синтезе ферментов, аминокислот и других биологически активных соединений. По содержанию мицелиальных микроорганизмов можно судить об интенсивности процессов, определяющих биологическую активность исследуемой почвы. Так, в наиболее богатой перегнойно-карбонатной почве отмечено больше всего актиномицетов, наибольшие содержания ПОВ и обменных катионов (табл. 2). Известно, что на свойства почвы и условия произрастания растений большое влияние оказывает состав обменных катионов. Так, перегнойно-карбонатная почва была насыщена катионами кальция (62.8 смоль(экв)/кг почвы) (табл. 2), реакция среды рН была в пределах от нейтральной (6.4) до щелочной (9.0), в таких почвах коллоиды находятся в состоянии необратимых гелей и не подвергаются пептизации при избытке влаги (Середина, Спирина, 2009). Следовательно, данная почва была хорошо оструктурена и обладала благоприятными физическими свойствами.

Выросшие на среде Чапека мицелиальные грибы, в основном были представителями родов аспергилл (*Aspergillus* sp.) и пеницилл (*Penicillium* sp.) (Литвинов, 1967).

Корреляционный анализ зависимости микроорганизмов от гидротермических и химических показателей почв проведен для каждой почвы и на каждую группу исследуемых микроорганизмов. Так, в солоди отмечены высокие положительные коэффициенты корреляции численности аммонификаторов с температурой ($R = 0.97$), гумусом ($R = 0.82$) и азотом ($R = 0.79$),

Таблица 5. Коэффициенты корреляции (R) между численностью микроорганизмов и гидротермическими, физико-химическими параметрами исследуемых почв (июль 2019 г.)

Фактор	Олигонитрофилы	Актиномицеты	Грибы	
Солодь (разрез 1БС-18)				
Температура	0.97	0.61	0.45	0.51
Влажность	-0.55	-0.21	0.002	-0.55
рН _{Н₂О}	-0.94	-0.38	-0.09	-0.64
Гумус	0.82	0.02	-0.13	-0.02
N	0.79	0.05	-0.07	-0.07
Подзол иллювиально-гумусово-железистый (разрез 2БС-18)				
Температура	0.85	0.75	0.89	0.81
Влажность	0.79	0.94	0.87	0.92
рН _{Н₂О}	-0.57	-0.38	-0.67	-0.47
Гумус	0.93	0.99	0.95	0.99
N	0.94	0.99	0.96	0.99
Перегнойно-карбонатная почва (разрез 5БС-18)				
Температура	0.72	0.89	0.85	0.76
Влажность	0.41	0.79	0.60	0.45
рН _{Н₂О}	-0.94	-0.81	-0.97	-0.97
Гумус	0.99	0.62	0.88	0.98
N	0.82	0.96	0.90	0.85
Палевая серая почва (разрез 8БС-18)				
Температура	0.93	0.89	0.93	0.89
Влажность	-0.11	0.16	0.02	-0.43
рН _{Н₂О}	-0.71	-0.49	-0.64	-0.92
Гумус	0.75	0.53	0.66	0.94
N	0.78	0.58	0.70	0.95
Подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18)				
Температура	0.84	0.43	0.63	0.33
Влажность	-0.002	-0.19	0.37	0.65
рН _{Н₂О}	-0.69	-0.50	-0.52	-0.24
Гумус	0.99	0.61	0.88	0.63
N	0.97	0.45	0.99	0.99

Примечание. Жирным шрифтом обозначены статистически значимые коэффициенты корреляции ($p = 0.95$).

с рН отмечена высокая отрицательная связь ($R = -0.94$) (табл. 5, разрез 1БС-18).

У остальных групп микроорганизмов (олигонитрофилов, актиномицетов, грибов) зависимость от данных параметров была отрицательной или незначительной. В микробоценозе подзола (разрез 2БС-18) наблюдалась очень высокая корреляция между численностью всех исследуемых групп микроорганизмов и параметрами почвы ($R = 0.87-1.00$), за исключением рН, где отмечена незначительная отрицательная корреляция. В отличие от подзола (разрез 2БС-18), в подзоле (разрез 11БС-18) высокие по-

ложительные коэффициенты корреляции отмечены между численностью аммонификаторов, температурой и содержанием гумуса и азота. Высокая положительная корреляционная связь отмечена у мицелиальных микроорганизмов (актиномицетов, грибов) с содержанием гумуса и азота в данной почве ($R = 0.88-0.99$).

Следует отметить, что в последней почве численность микроорганизмов, кроме грибов, не зависела от влажности и pH почвы. В перегнойно-карбонатной почве (разрез 5БС-18) обнаружена сильная положительная зависимость численности всех исследуемых микроорганизмов от температуры, количества гумуса и азота. Зависимость от влажности местами была низкой, но положительной. Также отмечена сильная отрицательная связь численности всех микроорганизмов с pH (табл. 5).

В палевой серой почве наблюдалась очень сильная корреляционная зависимость между температурой и численностью всех исследуемых групп микроорганизмов ($R = 0.89-0.93$). Количество мицелиальных грибов здесь значительно зависело от содержания гумуса и азота. Коэффициенты корреляции зависимости между грибами и pH также были отрицательными (табл. 5). При этом зависимости численности всех исследуемых микроорганизмов от влажности не наблюдалось. Нужно также отметить, что в данной почве отмечена сильная корреляционная связь численности мицелиальных грибов от всех рассматриваемых параметров, кроме влажности.

Таким образом, корреляционная зависимость численности микроорганизмов от физико-химических параметров исследуемых мерзлотных лесных почв в различных типах почв проявлялась по-разному. Так, в перегнойно-карбонатной, палевой серой и подзоле (разрез 2БС-18) наблюдалась сильная зависимость численности всех исследуемых групп микроорганизмов от температуры почвы.

В изученных лесных почвах летом 2019 г. влажность почвы не повлияла на повышение численности микроорганизмов. Зависимость количества микроорганизмов от влажности почвы наблюдали только в подзоле (разрез 2БС-18), где отмечалась более высокая влажность. Связь численности микроорганизмов с pH во всех почвах в основном была отрицательной, за исключением палевой серой почвы. В наиболее богатой микроорганизмами перегнойно-карбонатной почве (разрез 5БС-18) отмечены высокие положительные коэффициенты корреляции их

численности с температурой, количеством гумуса и азота. В большинстве случаев в исследуемых почвах количество микроорганизмов следовало за изменениями температуры, содержания гумуса и азота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мерзлотные лесные почвы Центральной Якутии, формирующиеся на территории Якутского ботанического сада, различались между собой по морфологическому строению, физико-химическим свойствам и гранулометрическому составу, а также по численности и составу почвенных микроорганизмов. По результатам анализа данных по температуре и влажности наиболее теплыми оказались палевая серая почва (разрез 8БС-18) и подзол иллювиально-железистый (разрез 11БС-18), где на глубине около 100 см температура составляла 4.2–5.6 °С. Повышенной влажностью обладали мерзлотные почвы разрезов 1БС-18, 5БС-18 и 8БС-18, где влажность почвы достигала 17.0–18.8 %. Реакция среды в исследованных почвах менялась от слабокислой (pH 5.6–6.2) в верхних почвенных горизонтах до щелочной в нижних (pH 8.8–9.0), содержание гумуса в минеральных горизонтах – среднее и низкое, резко убывающее, а количество общего азота – низкое и также резко убывающее с глубиной.

Микробиологический анализ мерзлотных лесных почв ЯБС показал, что численность исследованных групп микроорганизмов варьировала от $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ до $2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы. Общая численность микроорганизмов в изучаемых мерзлотных лесных почвах возрастала в ряду: подзол иллювиально-железистый → солодь → подзол иллювиально-гумусово-железистый → палевая серая → перегнойно-карбонатная. Наибольшее количество микроорганизмов по ОЧМ обнаружено в мерзлотных перегнойно-карбонатной и палевой серой почвах, образованных в результате дернового почвообразовательного процесса.

В зависимости от типов почв в их микробоценозах доминировали различные функциональные группы микроорганизмов: в перегнойно-карбонатной – актиномицеты (34 %), в палевой серой – мицелиальные грибы (29 %), в подзоле иллювиально-гумусово-железистом и подзоле иллювиально-железистом – мицелиальные грибы (34 и 38 %), в солоди – актиномицеты (40 %). Преобладание тех или иных групп микроорганизмов зависело от химического состава почв, а

также от особенностей их формирования. Только в солоди обнаружено максимальное количество аммонифицирующих бактерий, тогда как в остальных почвах доминировали мицелиальные микроорганизмы (актиномицеты и грибы). Солодь отличалась от остальных исследованных почв более плотной структурой и выраженными процессами оглеения. По нашему мнению, это ухудшало ее аэрацию и водные свойства и способствовало снижению общей численности микроорганизмов, но в силу того что по химическому составу в почве содержалось больше гумуса и азота, в микробоценозе преобладали аммонификаторы.

Таким образом, в микробоценозах исследуемых четырех из пяти типов почв, сформированных на рыхлых легких аллювиальных отложениях, доминировали мицелиальные микроорганизмы, а в микробоценозе солоди, развивающейся на лессовидных аллювиальных суглинках, преобладали аммонифицирующие бактерии.

Аэробные целлюлозолитические микроорганизмы обнаружены в меньшем количестве ($5.2 \pm 0.5 \times 10^2 - 8.3 \pm 4.1 \times 10^4$ КОЕ/г почвы), больше всего их обнаружено также в перегнойно-карбонатной почве (разрез 5БС-18). Азотфиксаторы встречались только в перегнойно-карбонатной почве (98 %), в микробоценозах остальных почв они не обнаружены. Мицелиальные грибы были представлены двумя доминирующими родами – аспергилл и пеницилл.

По профильному распределению микроорганизмов отмечено, что они были сконцентрированы в верхних органогенных горизонтах и с глубиной их численность падала. В верхних органогенных горизонтах четырех лесных почв (подзол иллювиально-гумусово-железистый, подзол иллювиально-железистый, перегнойно-карбонатная, палева серая) преобладали мицелиальные грибы, а в солоди – аммонифицирующие бактерии.

Зависимость численности микроорганизмов от физико-химических параметров в различных типах почв проявлялась по-разному. Однако во всех исследуемых лесных почвах количество микроорганизмов следовало за изменениями температуры, содержания гумуса и азота.

Статья подготовлена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по проекту (теме) № 0297-2021-0027, ЕГИСУ НИ-ОКТР № АААА-А21-121012190033-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ариушикина Е. В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
- Гейдебрект В. В.* Распределение микроорганизмов по профилю почв разных типов: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07. М.: Изд-во МГУ, 1999. 137 с.
- Горохов А. Н., Чевычелов А. П., Николаева О. А.* Особенности природных условий ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны // Пробл. регион. экол. 2020. № 2. С. 15–19.
- Гродницкая И. Д., Карпенко Л. В., Кнорре А. А., Сырцов С. Н.* Микробная активность торфяных почв заболоченных лиственничников и болота в криолитозоне Центральной Эвенкии // Почвоведение. 2013. № 1. С. 67–79.
- Данилова А. А., Аржакова А. П., Арзунов А. Г.* Биологические особенности аласных почв Центральной Якутии // Сиб. вестн. с.-х. науки. 2008. № 11 (191). С. 5–11.
- Еловская Л. Г.* Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. 171 с.
- Еловская Л. Г., Коновровский А. К.* Районирование и мелиорация мерзлотных почв Якутии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. 175 с.
- Ерофеевская Л. А.* Биоремедиация мерзлотных почв с использованием аборигенных микроорганизмов в условиях Якутии // Экол. и природопольз. 2014. № 3 (36). С. 77–80.
- Звягинцев Д. Г.* Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
- Звягинцев Д. Г., Зенова Г. М.* Экология актиномицетов. М.: ГЕОС, 2001. 256 с.
- Иванова Т. И.* Структура и динамика активности микробных сообществ мерзлотных почв Центральной и Южной Якутии: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16; 03.00.07. Улан-Удэ: Бурят. гос. ун-т, 2006. 22 с.
- Иванова Т. И., Кузьмина Н. П., Чевычелов А. П.* Численность микроорганизмов и уровни микробиологической активности мерзлотных антропогенно-трансформированных палевых почв Якутии // Почвоведение. 2008. № 11. С. 1371–1380.
- Иванова Т. И., Кузьмина Н. П., Саввинов Д. Д.* Микробоценозы мерзлотных почв долины Туймаада Центральной Якутии // Изв. РАН. Сер. биол. 2014. № 6. С. 573–585.
- Литвинов М. А.* Определитель микроскопических почвенных грибов (порядок Moniliales, за исключением подсемейства Aspergillales). Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1967. 303 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии:* Учеб. пособие для почв. и агрохим. спец. ун-тов и с.-х. вузов / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 304 с.
- Напрасникова Е. В., Макарова А. П., Данилова А. А.* Биологическая активность мерзлотно-таежной палевой слабоосолоделой почвы Центральной Якутии // Биол. науки. 1988. № 7. С. 93–97.
- Никитина З. И., Антоненко А. М.* Бактериальная и мицелиальная биомасса в почвах таежных экосистем Прииртышья // Биол. науки. 1982. № 7. С. 70–76.
- Полянская Л. М., Гейдебрект В. В., Степанов А. Л., Звягинцев Д. Г.* Распределение численности и биомассы микроорганизмов по профилям зональных типов почв // Почвоведение. 1995. № 3. С. 322–328.
- Роде А. А.* Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1971. 92 с.

- Розанов Б. Г. Морфология почв: Учеб. пособие для вузов по спец. «Почвоведение и агрохимия». М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. 320 с.
- Саввинов Д. Д. Физика мерзлотных почв. Избр. тр. Новосибирск: Наука, 2013. 504 с.
- Середина В. П., Спирина В. З. Показатели и методы оценки кислотно-основных и катионообменных свойств почв: учеб. пособ. Томск: Том. гос. ун-т, 2009. 130 с.
- Скрыбыкина В. П. Подзолы Центральной Якутии // Наука и образование. 2017. № 2 (86). С. 83–90.
- Чевычелов А. П., Скрыбыкина В. П., Васильева Т. И. Географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.
- Щелчкова М. В., Охлопкова А. В., Иванова Т. И. Целлюлазная активность почв Южной Якутии // Наука и образование. 1999. № 2 (14). С. 30–36.
- Щелчкова М. В., Стручкова Л. К. Микробиологическая характеристика мерзлотных степных и луговых почв Центральной Якутии // Вестн. СВФУ. 2016. № 2 (52). С. 41–52.
- Chevychelov A. P., Skrybykina V. P., Vasil'eva T. I. Geographic and genetic specificity of permafrost-affected soils in central Yakutia // Euras. Soil Sci. 2009. V. 42. Iss. 6. P. 600–608 (Original Rus. Text © A. P. Chevychelov, V. P. Skrybykina, T. I. Vasil'eva, 2009, publ. in Pochvovedenie. 2009. N. 6. P. 648–657).
- Grodnitskaya I. D., Karpenko L. V., Knorre A. A., Syrtsov S. N. Microbial activity of peat soils of boggy larch forests and bogs in the permafrost zone of central Evenkia // Euras. Soil Sci. 2013. V. 46. Iss. 1. P. 61–73 (Original Rus. Text © I. D. Grodnitskaya, L. V. Karpenko, A. A. Knorre, S. N. Syrtsov, 2013, publ. in Pochvovedenie. 2013. N. 1. P. 67–79).
- Ivanova T. I., Kuz'mina N. P., Chevychelov A. P. The number of microorganisms and the microbiological activity of human-modified cryogenic pale soils of Yakutia // Euras. Soil Sci. 2008. V. 41. N. 11. P. 1213–1220 (Original Rus. Text © T. I. Ivanova, N. P. Kuz'mina, A. P. Chevychelov, 2008, publ. in Pochvovedenie. 2008. N. 11. P. 1371–1380).
- Ivanova T. I., Kuz'mina N. P., Savvinov D. D. Microbial communities of frozen soils of the Tuimaada Valley in Central Sakha // Biol. Bull. 2014. V. 41. Iss. 6. P. 500–511 (Original Rus. Text © T. I. Ivanova, N. P. Kuz'mina, D. D. Savvinov, 2014, publ. in Izv. Akad. Nauk. Ser. Biol. 2014. N. 6. P. 573–585).

MICROBOCENOSES OF PERMAFROST FOREST SOILS IN CENTRAL YAKUTIA

N. P. Kuz'mina, S. V. Ermolaeva, A. P. Chevychelov

*Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Prospekt Lenina, 41, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), 677980 Russian Federation*

E-mail: erel1982@mail.ru, sveta_efa@mail.ru, chev.soil@list.ru

For the first time a study of microbial communities of permafrost forest soils of the Yakut Botanical Garden of the Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Russian Academy of Sciences, Siberian branch was conducted. The studied area is characterized by high soil diversity, almost all types of forest soils found in Central Yakutia are common here. It was found that in the studied permafrost soils in 2019, the number of cultivated microorganisms ranged from $5.2 \pm 0.5 \times 10^2$ to $2.5 \pm 0.1 \times 10^6$ CFU/g of soil. Humus-carbonate soil turned out to be the most saturated with microorganisms of all types of permafrost soils, and malt was the poorest. According to the total number of microorganisms, humus-carbonate and pale gray soils formed as a result of the turf soil formation process were distinguished. It was noted that microorganisms were concentrated in the upper organogenic horizons and their number decreased with depth. Mycelial microorganisms dominated in the microbocenoses of the studied four out of five types of soils formed on loose light alluvial deposits, and ammonifying bacteria prevailed in the microbocenoses of malt developing on loess-like alluvial loams. It was found that the predominance of certain groups of microorganisms depended on the chemical composition of soils, as well as on the characteristics of their formation. Mycelial fungi were mainly represented by representatives of the genera *Aspergillus sp.* and *Penicillium sp.* Aerobic cellulolytic microorganisms were found in the amount of $5.2 \pm 0.5 \times 10^2 - 8.3 \pm 4.1 \times 10^4$ CFU/g, most of them were found in humus-carbonate soil. Nitrogen fixators were found only in humus-carbonate soil (98 %). It has been studied that the number of microorganisms with physicochemical parameters (C, N, pH, humidity) correlates in different types of soils in different ways. The change in the number of microorganisms mainly depended on the soil temperature, humus and nitrogen content.

Keywords: *permafrost forest soils, composition and properties, number and distribution of microorganisms, correlations.*

How to cite: Kuz'mina N. P., Ermolaeva S. V., Chevychelov A. P. Microbocenoses of permafrost forest soils in Central Yakutia // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2022. N. 6. P. 22–33 (in Russian with English abstract and references).