

УДК 631.46

МИКРОБНОЕ СООБЩЕСТВО АКТИВНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ ИЗ ОБНАЖЕНИЯ МАМОНТОВОЙ ГОРЫ (Центральная Якутия)

¹Т. И. Иванова, ¹Н. П. Кузьмина, ²М. Ю. Чербунина

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва

E-mail: salomaxa8@mail.ru

Установлены специфические особенности микробного населения мерзлотной палеовой слабо-осолоделой супесчаной почвы из Мамонтовой горы, высокая численность всех групп микроорганизмов ($4,4 \times 10^2 - 4,6 \times 10^8$ кл/г), сопоставимая с плотностью микробов в степных почвах Забайкалья, и особый характер распределения их по профилю почвы без падения численности с глубиной. В отличие от почв Забайкалья и Центральной части России, где накопление бактерий происходит, как правило, в подстилках и верхних почвенных горизонтах, в ненарушенных или слабонарушенных почвах Якутии численность микроорганизмов остается достаточно высокой по всему почвенному профилю. При этом по мере продвижения в глубь почвенного профиля от верхних горизонтов к нижним происходит возрастание численности микроорганизмов и накопление их у верхней кровли многолетней мерзлоты. В исследованных мерзлотных почвах доминировали аммонификаторы, численность их колебалась от 1,5 до 456 млн КОЕ/г почвы. Показана положительная связь между численностью микроорганизмов и влажностью почв.

Ключевые слова: олигонитрофильные бактерии, актиномицеты, мицелиальные микроорганизмы, мерзлотные палеовые почвы, численность микроорганизмов, экологотрофические группы микроорганизмов, Центральная Якутия.

ВВЕДЕНИЕ

Основной фон почвенного покрова Центральной Якутии составляют мерзлотные палеовые в разной степени осолоделые почвы. В целом низкие температуры, короткий вегетационный период, невысокий уровень энергетического обеспечения почвообразования, повсеместное распространение многолетней мерзлоты являются факторами, препятствующими развитию почвенных микроорганизмов и проявлению ими метаболической активности. Почвы криолитозоны Якутии имеют особое морфологическое строение и физико-химические свойства, отличающие их от почв других регионов России. Последнее заключается, как правило, в слабой дифференциации и укороченности почвенного профиля, низком содержании гумуса, незначительной сорбционной и водоудерживающей способности. Глубокое промерзание почвенного профиля и длительное нахождение почв в мерзлом состоянии, быстрое и значительное их иссушение в весенне-летний период должно адекватно отражаться на составе и динамике численности почвенной микрофлоры.

Вместе с тем деятельность почвенных микроорганизмов Якутии изучена чрезвычайно слабо.

Изучение микробного населения почв на территории Якутии ранее проводилось эпизодически (Мазилкин, 1956; Напрасникова и др., 1988), до сих пор нет целостной картины количественного и качественного состава микрофлоры почв мерзлотных ландшафтов. В пределах среднетаежной подзоны Якутии изучение почвенной микрофлоры касалось преимущественно лесных почв (Щелчкова и др., 1999; Иванова и др., 2006, 2008).

В многолетней мерзлоте в недрах Мамонтовой горы в Якутии ученые обнаружили бактерию, которая активируется и делится при температуре всего +5°C. В августе 2008 г. на Мамонтовой горе были прорыты полутораметровые шурфы для получения образцов мерзлой породы. Изучив пробы, микробиологи нашли в них неизвестную науке живую бактерию. Исследователи назвали находку *Bacillus F* (F от слова «frost» – «холод»). В настоящее время ведется определение и сравнение генома *Bacillus F*, чтобы более точно датировать микроорганизм, однако по характеристикам белков и некоторым другим факторам обнаруженная бактерия «отстала» от современных на 3 млн лет (Петерсон и др., 2011).

В результате электронно-микроскопического исследования 4 образцов древнего повторно-жильного льда плейстоценового ледового ком-

плекса Мамонтовой горы (Центральная Якутия) выявлено большое разнообразие бактериоморфных частиц. Отмечен ряд особенностей их структуры: наличие электронно-прозрачных зон, предположительно включений, содержащих резервные питательные вещества, а также микроокружения в виде капсул или внешнего чехла. Отмечено доминирование палочковидных форм, морфологически сходных с коринеформными актинобактериями. Методом рентгеновского микроанализа подтверждено органическое происхождение бактериоморфных частиц. Ряд частиц характеризовался неполным спектром основных биогенных элементов, что могло быть вызвано криоповреждениями клеточных структур. Общая численность выявленных высевом на питательные среды гетеротрофных аэробных бактерий соизмерима с численностью аналогичных микроорганизмов, обнаруживаемых в мерзлых грунтах и в арктическом льду. Отмечено преобладание коринеформных актинобактерий (Филиппова и др., 2014). Однако микробное сообщество из сезонно-талого слоя почвы Мамонтовой горы до сих пор не изучалось.

Цель настоящего исследования состояла в изучении численности и распределения основных групп микроорганизмов по почвенному профилю сезонно-талого слоя мерзлотных палевых почв из обнажения Мамонтовой горы в Центральной Якутии и выявлении корреляции между различными параметрами, характеризующими состояние микробного комплекса.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Республика Саха (Якутия) обладает множеством уникальных природных мест. К числу таковых можно отнести Мамонтовую гору, которая расположена на левом берегу р. Алдан, на территории Ытык-Кюельского и Таттинского улусов. Мамонтовая гора представляет собой структурное плато, высота которого составляет примерно 80 м. Его береговые обнажения тянутся вдоль всего берега реки, где хорошо просматриваются песчаные слои. Особенность этой горы заключается в ее смешанном характере – здесь присутствуют теплолюбивые и морозостойкие, древние и молодые формы растительного и животного мира (Геологические..., 1997). Уникально местонахождение комплекса среднемиоценовых растительных остатков и остатков среднеплейстоценовых млекопитающих. Разрез Мамонтовая гора является опорным для неоген-четвертичных отложений Верхояно-Чукотской области. Собственно Мамонтовая гора представляет собой структурное плато; его береговые обнажения тянутся вдоль берега р. Алдан на 5 км. Ниже по течению к плато примыкает 50-метровая терраса, прости-

рающаяся на 6 км. Река Алдан вскрывает здесь неоген-плейстоценовую (максимальный возраст до 16 млн лет) толщу аллювиальных отложений со следами древнего промерзания пород. Миоценовая песчаная толща (№ 2) залегает близко к урезу, а на отдельных участках эрозии, в оврагах и термоцирках она вскрывается и над урезом Алдана и промерзает эпикриогенно. Перекрывающие ее среднеплейстоценовые песчаные отложения (Q_{II}) промерзали сингенетично. Неоген-среднеплейстоценовая песчаная толща перекрывается верхнеплейстоценовыми суглинками ледового комплекса (Q_{III}), вмещающими мощные сингенетические повторно-жильные льды. Мощность отложений с повторно-жильными льдами достигает 7–10 м. Его формирование связано с похолоданием в конце позднего плейстоцена, а возраст отложений по древесным остаткам может быть определен в 35–46 тыс. лет, в то время как для жильных льдов по рассеянной органике получен ряд датировок из диапазона 13–19 тыс. лет (Vasilchuk, 2013). Ледовый комплекс перекрыт покровными суглинками (Q_{IV}). Исследуемая почва представлена одним разрезом палевых почв, заложенным в местности Мамонтовая гора на левом берегу р. Алдан, в 310 км выше устья, между пос. Крест-Хольджай Таттинского района (на противоположном берегу) и устьем р. Татта, сложенной аллювиальными супесями и песками. Разрез заложен на мерзлотной палевой слабоосолоделой супесчаной почве.

Приведем характеристику местоположения и морфологического строения данных почв. Географические координаты почвенного разреза: широта (N) – $62^{\circ} 58' 58''$ с. ш., долгота (E) – $133^{\circ} 57' 18''$ в. д.

Пробы для микробиологических исследований отбирали по стандартной методике (Методы..., 1991). Образцы почв брали по слоям с глубины 10, 25, 40, 55, 70, 85 см. Отобранные образцы 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 микроорганизмов определяли методом посева на селективные питательные среды. При посевах использовали разведения 1:1000, 1:100 000, 1:10 000 000. Каждое разведение высевали на 5 повторных чашах. Количество бактерий, использующих органический азот, учитывали на мясопептонном агаре (МПА), использующих минеральный азот бактерии и актиномицеты – на крахмало-аммиачном агаре (КАА), олигонитрофильные бактерии – на среде Эшби. Количество грибов учитывали на подкисленной среде Чапека; аэробных целлюлозоразлагающих бакте-

рий – на среде Гетчинсона и Клейтона. Посев производили по методу Пушкинской из разведенной почвенной суспензии на агаризованную среду, поверх которой накладывали кружки стерильной фильтрованной бумаги (Методы..., 1991). Засеянные чашки Петри инкубировали при температуре 24°C. Морфологию клеток культур изучали методами световой микроскопии при помощи микроскопа «Биолам Р-15» (увеличение 1250). Колонии бактерий учитывали на 3–4-е сут, грибов – на 7–10-е сут. Подсчитывали общее число колоний, выросших на данной среде, и определяли численность бактерий в колониеобразующих единицах (КОЕ) на 1 г почвы (на 5 параллельных чашках с пересчетом на 1 г абсолютно сухой почвы).

Для выявления свободноживущих аэробных азотфиксирующих бактерий и дрожжей-липомисетов в почве и определения относительного их содержания использовали метод почвенных комочков на безазотистой среде Эшби (Методы..., 1991).

Основные характеристики отложений определялись рядом стандартных методов: гранулометрический состав – ареометрическим методом, естественная влажность – весовым, плотность грунта – методом режущего кольца, содержание органического вещества – методом потери веса при прокаливании.

Исследование гранулометрического состава отложений проводились стандартными методами (ГОСТ 12536–79..., 2008; Лабораторные..., 2008). Для диспергирования глинистых отложений применялся пирофосфат натрия. Ареометрический метод использовался для определения содержания в породах частиц диаметром менее 0,1 мм, крупнее 0,1 мм – ситовым методом. Ситовый анализ проводили с помощью пропускания промытых водой песков через сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,8; 0,5; 0,25; 0,1 мм и определения массы каждой фракции. Классификация отложений выполнена по Охотину (Трофимов и др., 2005).

Естественную весовую влажность пород ($W_{\text{tot}}, \%$) определяли высушиванием оттаявшего образца при температуре 105°C (органические породы сушили при температуре 80°C) до постоянной массы. Исследования проводили в 2–3-кратной повторности.

Плотность отложений (г/см^3) в лабораторных и полевых условиях определяли методом режущего кольца (Методы..., 2004; Лабораторные..., 2008). Плотность определяли с 2–4-кратной повторностью.

Относительное содержание органического вещества ($\text{Ig}, \%$) устанавливали гравиметрическим методом (ГОСТ 26213-91..., 1992), основанным на определении потери массы пробы после про-

каливания при температуре 525°C, предварительно образцы были высушены до постоянной массы при температуре 105°C.

Статистическую обработку материалов проводили по стандартной программе EXCEL 2000 (пакет программ Windows).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Мамонтовая гора характеризуется преобладанием в почвенном покрове палевых почв, формирующихся в условиях засушливого климата Центральной Якутии. Изучаемый профиль был сделан в сезонно-талом слое в верхней части разреза Мамонтовая гора. Приблизительный диаметр термоцирка составлял около 200–300 м, ширина устья – 150 м. Высота стенок 8–10 м. Размеры грунтовых блоков 6×10 м. Относительная льдистость повторно-жильных образований – около 70% (рис. 1).

Поверхность представлена голоценовыми отложениями аласного комплекса, которые образовались в результате частичного вытаивания позднеплейстоценовых отложений ледового комплекса, что хорошо видно в стенке обнажения, которая вскрывается на расстоянии 10 м от шурфа. В стенке обнажения, высотой около 8–10 м, выделяются 2 пачки отложений. Нижняя – суглинки с массивной криотекстурой и мутными синкриогенными ледяными жилами, которые могут быть соотнесены с позднеплейстоценовым ледовым комплексом, и верхняя пачка – пылеватые суглинки, местами оторфованные со шлировыми криотекстурами и эпикриогенными ледяными жилами молочного цвета – голоценовый аласный комплекс (см. рис. 1).

На рис. 1 показаны закономерности изменения состава, строения и свойств отложений сезонно-талого слоя. Отложения представлены средними пылеватыми суглинками до легких в верхней части, с большим количеством корней, растительными остатками, мягкопластичной консистенции до водонасыщенной в основании сезонно-талого слоя, где можно выделить так называемую надмерзлотную зону повышенного влагосодержания.

Результаты исследований культивируемых микроорганизмов, выделенных из древних многолетнемерзлых пород обнажения Мамонтовая гора в Якутии, показали, что культивируемые бактерии немногочисленны, содержатся в мерзлых породах в виде единичных выживших клеток; споры и колонии при микроскопических исследованиях образцов пород не обнаружены. Таксономическое разнообразие микроорганизмов невелико, все выделенные штаммы грамположительны и отличаются незначительным набором признаков (Брушков и др., 2012).

По результатам наших исследований количество микроорганизмов, населяющих активный слой почвы по данным посевов на плотные пи-

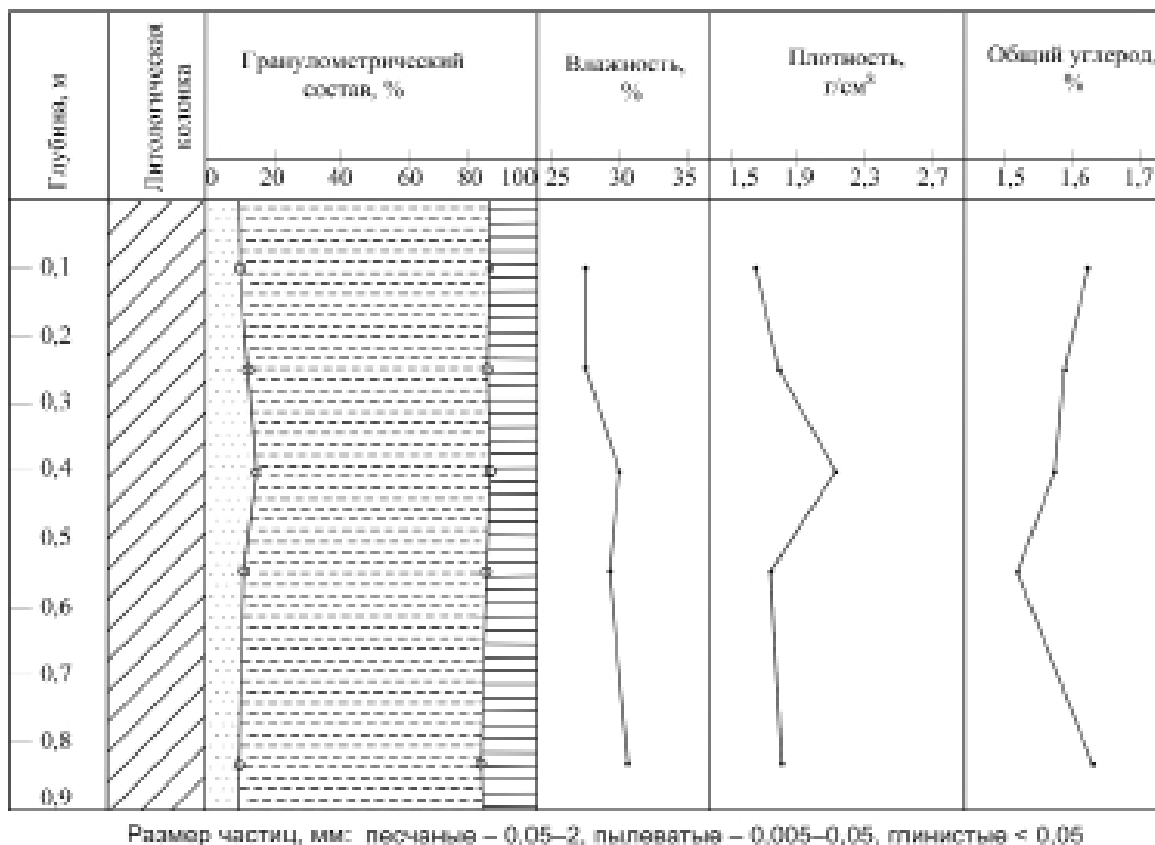


Рис. 1. Закономерности изменения состава, строения и свойств отложений сезонно-талого слоя

Fig. 1. Patterns of change in composition, structure, and properties of the seasonally thawing layer sediments

тательные среды, колебалось от 10^2 до 10^8 КОЕ/г почвы (см. таблицу).

Например, численность аммонификаторов составила от $1,47 \times 10^6$ до $4,56 \times 10^8$ КОЕ/г, целлюлозолитиков – от $9,07 \times 10^2$ до $8,04 \times 10^3$, олигонитрофилов – от $1,34 \times 10^4$ до $5,11 \times 10^7$, мицелиальных грибов – от $4,39 \times 10^2$ до $1,47 \times 10^6$, актиномицетов – от $9,54 \times 10^2$ до $3,13 \times 10^6$ КОЕ/г. В наших исследованиях максимальное количество микроорганизмов в палевых почвах (456 млн кл/г) оказалось меньше на 1 порядок, чем в исследованных ранее палевых лесных почвах Центральной Якутии (3–8,5 млрд кл/г) (Иванова и др., 2006). Численность бактерий в палевых почвах Мамонтовой горы (10^8) была равна их численности в степных почвах Бурятии (10^8) и на два порядка выше, чем в лугово-степных почвах Центральной Якутии (10^6) в увлажненном 2003 г. (Бурюхаев и др., 2003; Иванова, 2006). По групповому составу в палевой почве в августе 2016 г. преобладали аммонификаторы. Численность их колебалась от 1,5 до 456 млн КОЕ/г почвы (см. таблицу; рис. 2). Наиболее богатыми по содержанию аммонификаторов $4,56 \times 10^8$ КОЕ/г были поверхностные горизонты (глубина 10–25 см) и минеральный горизонт (глубина 70 см) – $2,8 \times 10^8$ КОЕ/г.

На втором месте по численности в исследованном типе палевых почв были олигонитрофильные бактерии (см. таблицу, рис. 2).

На рис. 2 показано распределение численности изученных микроорганизмов по горизонтам исследованной почвы.

Как видим, численность микроорганизмов наибольшая в поверхностных горизонтах A_d и A_1 , (глубина 10–25 см) палевой мерзлотной почвы (см. рис. 2), на глубине 55 см она резко падает, затем начинает возрастать в минеральном горизонте, на глубине 70 см (см. рис. 2). Эти результаты соответствуют ранее полученным нами данным по лесным и лугово-степным почвам других районов Центральной Якутии (Иванова, 2006; Иванова и др., 2006). Они свидетельствуют, что, в отличие от почв Забайкалья и Центральной части России, в естественных почвах Якутии численность микроорганизмов остается достаточно высокой по всему почвенному профилю и происходит накопление микроорганизмов в нижних почвенных горизонтах, вплоть до границы многолетней мерзлоты.

Сравнение исследованной почвы по важнейшим эколого-трофическим группам микроорганизмов показало, что равномерно по почвенному профилю распределены все исследованные группы микроорганизмов, кроме целлюлозолитических бактерий (см. таблицу).

Численность микрофлоры из сезонно-талого слоя палевой почвы, Мамонтовая гора, Якутия, 2016 г.
Abundance of microflora from the seasonally thawing layer of frozen pale-yellow soil, Mammoth Mountain, Yakutia, 2016

№ образца	Глубина, см	Т, °С	Влажность*, %	С _{общ.} , %	Аммонификаторы	Олигонитрофилы	Актиномицеты	Мицелиальные грибы	Целлюлозолитики	Липомицеты
					КОЕ/г					в %
1	10	8,5	34,82	1,62	$3,31 \times 10^8$	$5,06 \times 10^7$	$4,61 \times 10^4$	$1,27 \times 10^3$	$8,04 \times 10^3$	100
2	25	7,0	37,28	1,59	$4,56 \times 10^8$	$5,11 \times 10^7$	$5,01 \times 10^2$	$2,66 \times 10^4$	$5,46 \times 10^3$	100
3	40	5,8	37,59	1,57	$2,04 \times 10^8$	$1,34 \times 10^4$	$2,83 \times 10^4$	$4,39 \times 10^2$	$5,46 \times 10^3$	100
4	55	3,1	29,24	1,52	$1,47 \times 10^6$	$2,59 \times 10^7$	$3,13 \times 10^6$	$1,29 \times 10^3$	$2,43 \times 10^3$	100
5	70	1,5	29,81	—	$2,80 \times 10^8$	$2,59 \times 10^5$	$9,54 \times 10^2$	$1,47 \times 10^6$	0	100
6	85	0	25,61	1,63	$7,72 \times 10^7$	$3,20 \times 10^4$	0	$9,38 \times 10^2$	$9,07 \times 10^2$	100

Примечание. 0 – отсутствие роста; прочерк – не исследовано, звездочка – влажность образцов, определенная перед посевом.

Известно, что пространственное распределение микроорганизмов сильно зависит от температуры и влажности почвы. Изменение температуры по профилю исследованной почвы происходило плавно (рис. 3). Наиболее теплой оказалась палевая почва, в верхнем 0–10 см слое ее температура составляла 8,5°C, а в нижнем – на глубине 85 см – 0,0°C (см. таблицу, рис. 3).

Влажность почв, в отличие от температуры, с глубиной, наоборот, возрастала. Но ее изменения имели более сложный характер в исследованной палевой почве (рис. 4).

В почве кривая изменения влажности имеет S-образный характер. Наблюдаются два пика увеличения влажности по профилю исследованной почвы. Первый пик наблюдали на глубине 25–40 см, а второй на глубине 70–85 см (см. рис. 4).

Как видно из рис. 4, в палевой слабосоолодеющей почве из Мамонтовой горы Южной Якутии численность микроорганизмов напрямую следует изменениям влажности по профилю данной почвы. Например, на ней можно увидеть, что распределение бимодально, т. е. имеет два пика. Анализ хода температур по профилям исследованных почв показал, что палевая мерзлотная почва, имеющая высокую численность аммонификаторов на глубине 70–85 см (от 77 до 280 млн КОЕ/г), не прогревалась выше 0–1,5°C. Эти результаты могут косвенно свидетельствовать, что выделенные аммонификаторы явля-

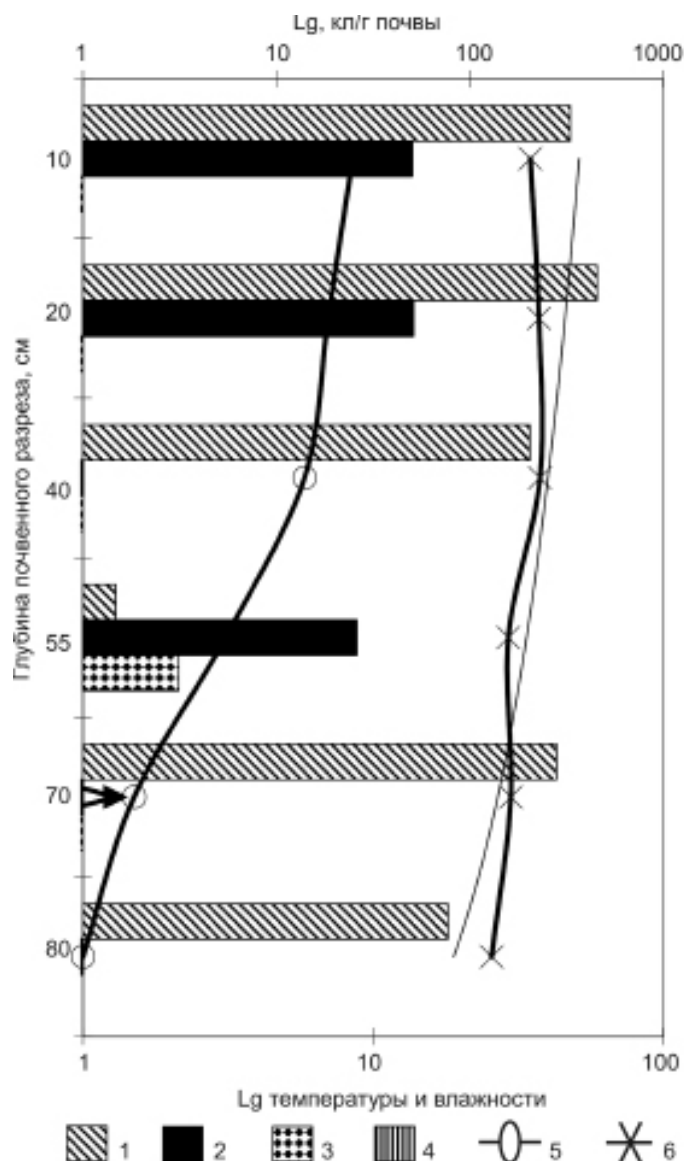


Рис. 2. Изменение температуры (5), влажности (6) и распределение микроорганизмов по профилю палевой мерзлотной почвы Мамонтовой горы, 2016 г. Микроорганизмы: 1 – аммонификаторы, 2 – олигонитрофилы, 3 – актиномицеты, 4 – мицелиальные грибы

Fig. 2. Change of temperature (5), change of humidity (6), and distribution of microorganisms in the profile of Mammoth Mountain frozen pale-yellow soils in 2016. Microorganisms: 1 – amonififiers, 2 – oligonitrophils, 3 – actinomycetes, 4 – filamentous fungi

ются психрофилами, приспособленными к существованию при низких температурах. Положительный ответ на данный вопрос может быть получен в дальнейших исследованиях при условии отсутствия роста выделенных культур при $t > 20^\circ\text{C}$.

Аэробные свободноживущие азотфиксирующие бактерии не были обнаружены в почвенных образцах из палевой почвы Мамонтовой горы, что согласуется с нашими ранее полученными данными (Иванова и др., 2006). Дрожжи – липомицеты были обнаружены во всех горизонтах исследованной почвы (см. таблицу).

Целлюлозолитические аэробные бактерии, в отличие от азотфиксирующих, были обнаружены почти во всех горизонтах палевой почвы, кроме глубины 70 см. Количество аэробных целлюлозолитических микроорганизмов, населяющих почву, по данным посева на среде Гетчинсона колебалось от 938 до 8 тыс. КОЕ/г (см. таблицу). Наибольшее их количество обнаружено в верхнем гумусированном горизонте палевой почвы ($8,04 \times 10^3$). Их численность на 1–4 порядка меньше, чем численность аммонификаторов и олигонитрофильных бактерий.

В ранее проведенных нами исследованиях численность целлюлозолитических микроорганизмов в лесных почвах Центральной Якутии колебалась от 1×10^5 до $4,3 \times 10^7$ КОЕ/г, т. е. превышала на 2–4 порядка их количество в исследованной палевой почве из обнажения Мамонтовой горы (Иванова и др., 2006).

При сравнении с лугово-степными почвами Центральной Якутии палевая почва Мамонтовой горы содержала целлюлозолитические микроорганизмы на 1–2 порядка меньше. И те, и другие включали целлюлозолитические микроорганизмы на среднем уровне (10^2 – 10^4 КОЕ/г). Эти значения лежат между величинами, характерными для других почв Якутии, а также почв Бурятии и Подмосковья (Головченко, Полянская, 1996, 2000; Бурюхаев и др., 2003; Иванова, 2006).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования показали, что в отличие от многолетнемерзлых пород, активный сезонно-талый слой почвы из обнажения Мамонтовой горы обогащен микроорганизмами. По численности микроорганизмов (456 млн кл/г) мерзлотные палевые почвы из сезонно-талого слоя Мамонтовой горы уступали на один порядок мерзлотным палевым лесным почвам Центральной Якутии (3–8,5 млрд кл/г) и на два порядка – почвам средней и южной тайги европейской территории России (28–50 млрд кл/г) (Головченко, Полянская, 1996, 2000; Ива-

нова и др., 2006). Численность бактерий в палевых почвах (10^8) была равна их численности в степных почвах Бурятии (10^8), но на два порядка выше, чем в лугово-степных почвах Центральной Якутии (10^6) в увлажненном 2003 г. (Бурюхаев и др., 2003; Иванова, 2006).

Эти результаты соответствуют ранее полученным нами данным по лесным и лугово-степным почвам других районов Центральной Якутии (Иванова, 2006). Они свидетельствуют о том, что в отличие от почв Забайкалья и Центральной части России, в ненарушенных (естественных) почвах Якутии численность микроорганизмов остается достаточно высокой по всему почвенному профилю и накопление микроорганизмов происходит в нижних почвенных горизонтах, вплоть до границы с многолетней мерзлотой. Такой эффект можно объяснить вымыванием веществ из верхних горизонтов и накоплением их над горизонтом мерзлоты. Это так называемый горизонт ретинизации, в котором происходит аккумуляция как веществ, так и микроорганизмов (Лысак, Добровольская, 1982).

Как отмечают многие авторы, высокое содержание гумуса в минеральных горизонтах всех изученных нами мерзлотных палевых почв является одной из наиболее специфических черт почвообразования в почвах Якутии (мерзлотная ретинизация гумуса). Очень неглубокое оттаивание и большие запасы холода способствуют постепенному пропитыванию подвижным органическим веществом на глубину протаивания и накоплению в надмерзлотном слое, что вызывает в свою очередь увеличение численности микробных популяций в сезонно-талом слое.

Присутствие в палевой почве актиномицетов, аммонификаторов, олигонитрофильных, целлюлозолитических бактерий, мицелиальных грибов и дрожжей – липомицетов свидетельствует о наличии в этой почве доступного органического азота, что подтверждается увеличением запасов почвенного органического вещества $C_{\text{общ.}}$ – 1,62–1,63% в верхнем органическом и нижнем минеральном горизонте (см. рис. 1, таблицу).

В отличие от почв Забайкалья и Центральной части России, где накопление бактерий происходит, как правило, в подстилках и верхних почвенных горизонтах, в естественных или слабонарушенных почвах Якутии численность микроорганизмов остается достаточно высокой по всему почвенному профилю. При этом по мере продвижения в глубь почвенного профиля от верхних горизонтов к нижним происходит возрастание численности гетеротрофных микроорганизмов в палевой почве Мамонтовой горы и накопление их у верхней кровли многолетней мерзлоты.

Вместе с тем отрицательная корреляция между температурой и численностью микроорганизмов может свидетельствовать, что выделенные микроорганизмы являются психрофилами, приспособленными к существованию при низких температурах.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность студентке 4-го курса бакалавриата, кафедры геоэкологии, геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова Валерии Александровне Сантаевой за помощь в отборе почвенных образцов и проведении некоторых анализов.

Работа выполнена в рамках фундаментальных исследований по проекту «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии», № гос. регистрации АААА-А17-117020110056-0. При финансовой поддержке РФФИ по проектам 16-05-00296 «Разнообразие микроорганизмов и вирусов в криолитозоне Центральной Якутии» и 16-35-00403 мол_а «Роль микроорганизмов в литогенезе и формировании мерзлых пород Центральной Якутии».

ЛИТЕРАТУРА

- Брушков А. В., Грива Г. И., Репин В. Е. и др. Биологические свойства бактерий, выделенных из мерзлых толщ Центральной Якутии / Десятая Междунар. конф. по мерзлотоведению (ТISOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. – Тюмень : Печатник, 2012. – Т. 3. – С. 35–41.
- Бурюхаев С. П., Намсараев Б. Б., Корсунов В. М., Гончиков Г. Г. Численность микроорганизмов и динамика деструкционных процессов в низинных болотах Прибайкалья // Почвоведение. – 2003. – № 1. – С. 81–89.
- Геологические памятники Республики Саха (Якутия). Geological monuments of the Sakha Republic (Yakutia) / Акад. наук Республики Саха (Якутия) / под ред. Л. М. Парфенова, В. Б. Спектора. – Новосибирск : Студия Дизайн ИНФОЛИО, 1997. – 78 с.
- Головченко А. В., Полянская Л. М. Сезонная динамика численности и биомассы микроорганизмов по профилю почвы // Почвоведение. – 1996. – № 10. – С. 1227–1233.
- Головченко А. В., Полянская Л. М. Особенности годовой динамики микроорганизмов в почвах южной тайги // Почвоведение. – 2000. – № 4. – С. 471–477.
- ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – Введ. 1980-07-01: Переиздание сентябрь 2003 г. – М. : Стандартинформ, 2008. – 15 с.
- ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы Определения органического вещества [Текст]. – Введ. 1993-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 5 с.
- Иванова Т. И. Структура и динамика активности микробных сообществ мерзлотных почв Центральной и Южной Якутии : автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Улан-Удэ, 2006. – 22 с.
- Иванова Т. И., Кононова Н. П., Николаева Н. В., Чевычелов А. П. Микроорганизмы лесных почв Центральной Якутии // Почвоведение. – 2006. – № 6. – С. 735–740.
- 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. 1371–1379.
- Калакуцкий Л. В., Шарая Л. С. Актиномицеты и растения // Успехи микробиологии. – 1990. – Т. 25. – С. 26–65.
- Классификация и диагностика почв России. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.
- Лабораторные работы по грунтоведению: учеб. пособие / под ред. В. Т. Трофимова, В. А. Королева. – М. : Высш. шк., 2008. – 519 с.
- Лысак Л. В., Добровольская Т. Г. Бактерии в почвах тундры Западного Таймыра // Почвоведение. – 1982. – № 9. – С. 74–77.
- Мазилкин И. А. Микробиологическая характеристика дерново-лесных и перегнойно-карбонатных почв Олекминского района ЯАССР // Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве юго-запада Якутской АССР. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – С. 135–176.
- Методы геоэкологических исследований / под ред. Э. Д. Ершова. – М. : МГУ, 2004. – 512 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии // под ред. Д. Г. Звягинцева. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
- Намсараев Б. Б. Геохимическая деятельность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в пресных и соленых водоемах // Успехи микробиологии. – 1992. – № 25. – С. 143–168.
- Напрасникова Е. В., Макарова А. П., Данилова А. А. Биологическая активность мерзлотно-таежной палевой слабоосолоделой почвы Центральной Якутии // Биологические науки. – 1988. – № 7. – С. 93–97.
- Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Суханова Н. И. Органическое вещество почв Российской Федерации. – М. : Наука, 1996. – 253 с.
- Петерсон А. М., Глинская Е. В., Грива Г. И. и др. Бактерии, выделенные из реликтовых мерзлых толщ Центральной Якутии // Якут. мед. журн. – 2011. – № 4. – С. 70–75.
- Трофимов В. Т., Королев В. А., Вознесенский Е. А. и др. Грунтоведение / под ред. В. Т. Трофимова. – М. : МГУ ; Наука, 2005. – 1024 с.
- Филиппова С. Н., Сургучева Н. А., Сорокин В. В. и др. Разнообразие бактериальных форм в образцах повторно-жильного льда ледового комплекса Мамонтовой горы (Центральная Якутия) // Микробиология. – 2014. – Т. 83, № 2. – С. 225–235.
- Щелчкова М. В., Охлопкова А. В., Иванова Т. И. Целлюлазная активность почв Южной Якутии // Наука и образование. – 1999. – № 2 (14). – С. 30–36.
- Vasilchuk Y. K. Syngenetic ice wedges: Cyclical formation, radiocarbon age and stable isotope records // Permafrost and Periglacial Processes. – 2013. – Vol. 24, No. 1. – P. 82–93.

MICROBIAL COMMUNITY OF THE ACTIVE SOIL LAYER FROM THE MAMMOTH MOUNTAIN EXPOSURE (Central Yakutia)

T. I. Ivanova, N. P. Kuzmina, M. U. Cherbunina

Distinctive features of microbial population of the frozen pale-yellow weakly solodized sandy-loam soil of Mammoth Mountain, high quantity of all microorganism groups ($4,4 \times 10^2 - 4,6 \times 10^8$ cells/g), comparable with microbe density in steppe soils of Zabaikalje, and a special pattern of their distribution down the soil profile without their number declining with depth have been established. Unlike soils in Zabaikalje and Central Russia, where, as a rule, bacteria accumulate in litters and topsoil horizons, in Yakutia's undisturbed or slightly disturbed soils the number of microorganisms remains sufficiently high down the whole soil profile. While going down the soil profile there is an increase in the number of microorganisms and their accumulation near the upper layer of permafrost. The ammonifiers were dominant in the frozen soils investigated, their number fluctuating within the range of 1.5 million to 456 million CFU/g of soil. A positive correlation between the number of microorganisms and soil humidity has been shown.

Keywords: oligonitrophilic bacteria, actinomycetes, mycelial microorganisms, frozen pale-yellow soils, number of microorganisms, ecological-trophic groups of microorganisms, Central Yakutia.

REFERENCES

- Brushkov, A. V., Griva, G. I., Repin, V. E. et al., 2012, Biological Properties of Bacteria Isolated from the Frozen Strata of Central Yakutia. The 10th Intern. Conf. on Permafrost (TICOP): Resources and Risks of Regions With Permafrost in a Changing World. Tyumen : Printers, vol. 3, pp. 35–41 [In Russian].
- Buryuhaev, S. P., Namsaraev, B. B., Korsunov, V. M., Gonchikov, G. G., 2003, The Abundance of Microorganisms and the Dynamics of Decomposition Rates in Low-Moor Bogs of the Baikal Region, *Eurasian soil science*, no. 1, pp. 81–89 [In Russian].
- Geological monuments of the Sakha Republic (Yakutia). Acad. Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia). Edited by: L. M. Parfenova, V. B. Spektor, Novosibirsk, Studio Design INFOLIO, 1997 [In Russian].
- Golovchenko, A. V., Polyanskaya, L. M., 1996, Seasonal Dynamics of Abundance and Biomass of Microorganisms Along the Soil Profile, *Eurasian soil science*, no. 10, pp. 1227–1233 [In Russian].
- Golovchenko, A. V., Polyanskaya, L. M., 2000, Features of Annual Dynamics of Microorganisms in Soils of Southern Taiga, *Eurasian soil science*, no. 4, pp. 471–477 [In Russian].
- State Standard 12536-79 Soils. Methods of Laboratory Determination of Granulometric (Grain) and Microaggregate Composition. Moscow, Standardinform Publ., 2008 [In Russian].
- State Standard 26213-91 Soil. Methods for the Determination of Organic Matter [Text]. Moscow, Standardinform Publ., 1992, 5 p.
- Ivanova, T. I., 2006, Structure and Dynamics of Activity of Microbial Communities of Permafrost Soils in Central and Southern Yakutia. Dokt. Diss. Ulan-Ude [In Russian].
- Ivanova, T. I., Kononova, N. P., Nikolaeva, N. V., Chevyichelov, A. P., 2006, Microorganisms in Forest Soils of Central Yakutia *Eurasian Soil Science*, no. 6, pp. 735–740 [In Russian].
- Ivanova, T. I., Kononova, N. P., Chevyichelov, A. P., 2008, The Number of Microorganisms and the Microbiological Activity of Human-Modified Cryogenic Pale Soils of Yakutia *Eurasian soil science*, no. 11, pp. 1371–1379 [In Russian].
- Kalakutskiy, L. V., Sharaya, L. S., 1990, Actinomycetes and Plants, *Uspehi mikrobiologii*, vol. 25, pp. 26–65 [In Russian].
- Classification and Diagnostics of Soils in Russia. Smolensk, Oykumena, 2004 [In Russian].
- Laboratory work on soil science: Textbook. Allowance. Ed. V. T. Trofimova, V. A. Korolev. Moscow. High shk., 2008 [In Russian].
- Lysak, L. V., Dobrovolskaya, T. G., 1982, Bacteria in Tundra Soils of Western Taimyr, *Eurasian soil science*, no. 9, pp. 74–77 [In Russian].
- Mazilkin, I. A., 1956, Microbiological Characteristics of Sod-Forest and Humus-Carbonate Soils of the Olekminsky Region of the Yakut Soviet Socialist Republic. Materials on the Natural Conditions and Agriculture of the South-West of the Yakut ASSR, Moscow : Publishing House of the USSR Academy of Sciences, pp. 135–176 [In Russian].
- Methods of geocryological research. Ed. E. D. Ershova. Moscow : Moscow State University, 2004 [In Russian].
- Namsaraev, B. B., 1992, Geochemical Activity of Cellulose-Decomposing Microorganisms in Fresh and Salt Water Bodies, *Uspehi mikrobiologii*, no. 25, pp. 143–168 [In Russian].
- Naprasnikova, E. V., Makarova, A. P., Danilova, A. A., 1988, Biological Activity of the Cryogenic-Taiga Pale Yellow-Soled Soils of Central Yakutia, *Biologicheskie nauki*, no. 7, pp. 93–97 [In Russian].

Orlov, D. S., Biryukova, O. N., Suhanova, N. I., 1996, Organic Matter of Soils of the Russian Federation. Moscow [In Russian].

Peterson, A. M., Glinskaya, E. V., Griva, G. I. et al., 2011, Bacteria Isolated From Relict Permafrost in Central Yakutia, *Yakutskiy meditsinskiy jurnal*, no. 4, pp. 70–75 [In Russian].

Trofimov, V. T., Korolev, V. A., Voznesenskiy, E. A. et al., 2005, Ground science. Ed. V. T. Trofimova. Moscow : Moscow State University; Science [In Russian].

Filippova, S. N., Surgucheva, N. A., Sorokin, V. V. et al., 2014, Diversity of Bacterial Forms in Ice Wedge of the Mamontova Gora Glacial Complex (Central Yakutiya). *Microbiology*, vol. 83, no. 2, pp. 225–235 [In Russian].

Schelchkova, M. V., Ohlopkova, A. V., Ivanova, T. I., 1999, Cellulase Activity of Soils in South Yakutia, *Science and education*, no. 2 (14), pp. 30–36.

Vasilchuk, Y. K., 2013, Syngenetic Ice Wedges: Cyclical Formation, Radiocarbon Age and Stable Isotope Records, Permafrost and Periglacial Processes, vol. 24, no. 1, pp. 82–93.