

УДК 631.461

А. В. Головченко, Т. Г. Добровольская, Т. А. Семенова, О. Ю. Богданова, О. С. Кухаренко

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СТРУКТУРУ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ ВЕРХОВОГО ТОРФЯНИКА (МОДЕЛЬНЫЙ ОПЫТ)

В годичном модельном опыте осуществляли мониторинг численности и таксономической структуры бактериальных и грибных комплексов в монолитах верхового торфяника при температуре 20–24 °С и 4–6 °С люминесцентно-микроскопическим методом и методом посева. Было установлено, что низкие температуры не оказали существенного влияния на показатели обилия, морфологическую и таксономическую структуру грибных комплексов. Они стимулировали развитие базидиомицетов и темноокрашенного мицелия. Среди бактерий гидролитического комплекса наиболее приспособленными к условиям низких температур оказались бациллы. Грибы находились в торфянике преимущественно в виде мицелия, а спорообразующие бактерии – в виде вегетативных клеток, т. е. в активной форме, кроме того, они оказались адаптированными к низким температурам, что позволяет им осуществлять деструкцию растительных полимеров.

**Ключевые слова:** *верховой торфяник, модельный опыт, низкие температуры, мониторинг, бактерии, грибы, численность, таксономическая структура.*

Верховые торфяники представляют собой весьма специфическую среду обитания микроорганизмов, в которой процессы деструкции блокированы анаэробизмом, низкими температурами, кислотностью, дефицитом биогенных элементов, токсичностью «сфагнолов» [1–5]. Несмотря на то, что вопрос о замедленной деструкции верхового торфа изучается уже в течение многих десятилетий, до сих пор нет ответа на многие вопросы, в том числе – какие главные экологические факторы являются лимитирующими для каждой из групп микроорганизмов, участвующих в разложении сфагнома.

В торфяниках – огромные запасы влаги, они характеризуются низкой теплопроводностью и относятся к холодным почвам [6]. Температурные колебания в течение суток наблюдаются только в верхних слоях. На глубине температура более постоянная и составляет 4–8 °С.

Известно, что большинство бактерий, выделяемых из северных почв, в том числе и торфяных, являются психротолерантными. Они способны расти в широком диапазоне температур от 3 до 30 °С [7–11]. Адаптация грибов к низким температурам хорошо прослеживается на примере роста и развития изолятов из Арктики, характеризующихся бедностью родового и видового состава, утратой спороношения и снижением максимальной скорости роста [12]. В то же время численность микромицетов, выделенных из вечномерзлых отложений Арктики и Антарктики, была выше при 4 °С, чем при 25 °С [13]. В модельных опытах по разложению сфагнома при разных температурах также было показано, что деструкция сфагнового торфа из бореальных торфяников Канады, осуществляемая как грибами, так и бактериями, происходит более активно при температуре 14 °С, чем при 20 °С [14].

Цель нашей работы – изучить влияние температуры на численность и структуру бактериальных и гриб-

ных комплексов в верховом торфянике в условиях модельного опыта.

### Объекты и методы исследования

Объект исследования – верховой торфяник под сосняком андромедово-пушицево-сфагновым – одна из постоянных пробных площадей Западно-Двинского стационара Института лесоведения РАН. Из этого торфяника осенью 2007 г. были взяты два монолита, объемом 15×15×30 см. Один из монолитов в течение года хранили при комнатной температуре (20–24 °С), другой при температуре холодильника (4–6 °С). На 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 270 и 365-е сутки из этих монолитов отбирали и анализировали одновременно образцы из слоев Т0 (5–10 см), Т1 (10–14 см) и Т2 (14–30 см). Все слои торфяника представлены сфагновым верховым торфом, степень разложения которого составляет 5–12 %. Степень разложения торфа в процессе мониторинга выявляли по ботаническому составу (ГОСТ 28245-89).

Общую численность и биомассу микроорганизмов определяли прямым методом с использованием люминесцентной микроскопии [15]. Предварительно десорбировали клетки на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-1 (22 кГц; 0.44 А; 2 мин). Для количественного учета клеток почвенных бактерий и мицелия актиномицетов препараты окрашивали водным раствором акридина оранжевого, а для окраски мицелия и спор грибов применяли калькофлуор белый. Расчеты прокариотной биомассы проводили, учитывая, что биомасса сухого вещества для одной бактериальной клетки объемом 0.1 мкм<sup>3</sup> составляет 2×10<sup>-14</sup> г, 1 м актиномицетного мицелия диаметром 0.5 мкм 3.9×10<sup>-8</sup> г [16]. Эукариотную микробную биомассу вычисляли с учетом замеренного нами диаметра спор и мицелия грибов по формуле (для мицелия – 0.628 (r<sub>1</sub>)<sup>2</sup>×10<sup>-6</sup> г, для спор – 0.836 (r<sub>2</sub>)<sup>3</sup>×10<sup>-12</sup> г, где r<sub>1</sub> – радиус мицелия, r<sub>2</sub> – радиус грибной споры) [17]. Во всех исследуемых об-

разцах на всех стадиях сукцессии осуществляли контроль влажности.

Численность и таксономический состав микроицетов изучали методом посева на подкисленную агаризованную среду Чапека [15]. Посевы инкубировали 7–14 дней при температуре 24 °С. Видовую идентификацию проводили по общепринятым определителям [18, 19] и интернет-ресурсам (indexfungorum.org и др.). Частоту встречаемости (ЧВ) характеризовали числом образцов, в которых был обнаружен данный род или вид микроскопических грибов, к общему числу исследованных образцов.

Для учета бактерий использовали глюкозо-пептонно-дрожжевую среду (ГПД). Перед посевом торфяные суспензии обрабатывали на ультразвуковом диспергаторе УЗДН-1 (22 кГц; 0.44 А; 2 мин). Для ингибирования грибов в среду добавляли 50 мг нистатина на 0.5 л среды. Чашки инкубировали при комнатной температуре (20–24 °С) и в холодильнике (4–6 °С). Данные по общей численности микроорганизмов выражали количеством колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 г торфа. Основных представителей выделяли в чистую культуру. Идентификацию выделенных

штаммов до рода проводили на основании морфологических, культуральных и хемотаксономических признаков, используя определители [20, 21]. Для определения соотношения вегетативных клеток и спор бацилл проводили прогревание суспензий перед посевом при 80 °С в течение 10 мин. Для выявления использования бактериями различных органических веществ суспензии высевали на среды с крахмалом, пектином, карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ) и хитином. Учет результатов осуществляли в соответствии с рекомендациями, описанными в руководстве [21].

### Результаты

Длина грибного мицелия в верхних слоях монолитов (Т0 и Т1) варьировала от 3 до 21 км/г, в слое Т2 ее значения были на порядок ниже. В Т0 значения этого показателя обилия были выше (почти в 2 раза) при низкой температуре, чем при температуре 20–24 °С практически на всех этапах сукцессии. В слое Т1 была выявлена обратная тенденция – длина мицелия была в 1.5 раза выше при комнатной температуре, чем при температуре холодильника. В слое Т2 на одних этапах сукцессии плотность мицелия была выше при комнатной температуре, на других – при температуре 4–6 °С (рис. 1).

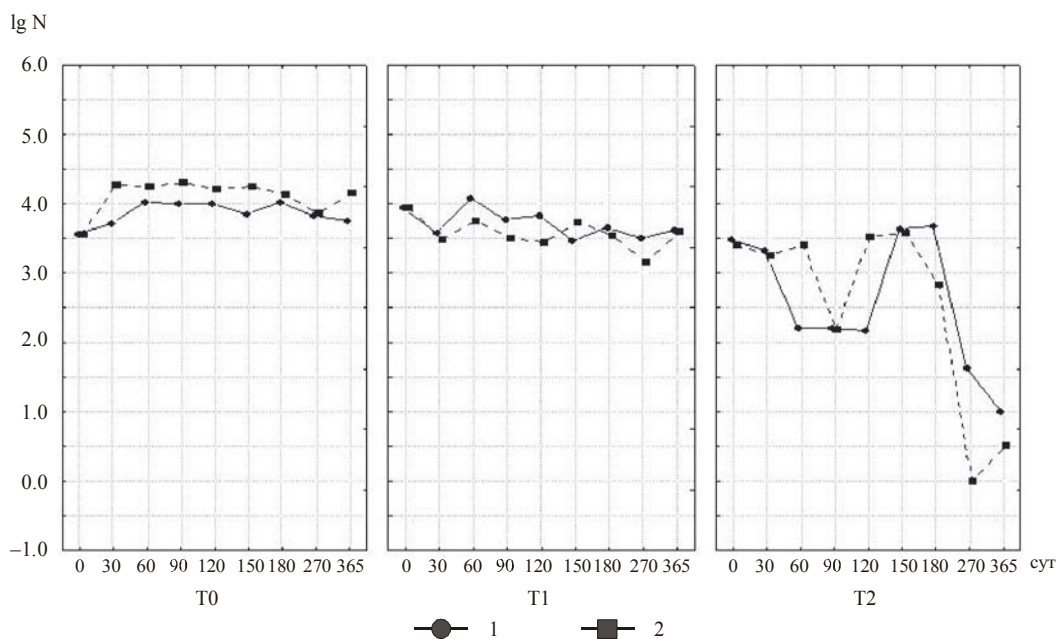


Рис. 1. Динамика длины грибного мицелия (N – м/г сухого торфа) в слоях верхового торфяника в различных вариантах опыта. Здесь и далее варианты опыта: 1 – монолит при температуре 20–25 °С; 2 – монолит при температуре 4–6 °С

Численность грибных спор варьировала в зависимости от температуры и стадии сукцессии от 50 до 200 млн спор/г. Количество грибных спор было примерно одинаковым при разных температурных режимах. Более четко различались по численности спор слои монолита в обоих вариантах опыта – она была выше в слое Т2. В этом же слое численность спор, так же как и длина мицелия, была более подвержена флуктуациям, чем в верхних слоях.

Таким образом, динамику длины грибного мицелия и численности спор грибов в большей степени определяли слой монолита и этап сукцессии. Показатели обилия грибов при разных температурах характеризовались близкими значениями. Однако в процессе годового мониторинга в монолитах, хранящихся при разных температурах, менялось соотношение групп грибов. Так, при низкой температуре во всех слоях возрастало относительное обилие темноокрашенного

мицелия (табл. 1), а в очесе сфагнового мха и в слое T2 увеличивалась не только доля, но и средние значения его длины. Они были выше в 2–8 раз при низкой

температуре, чем при температуре 20–24 °С. На аналогичную закономерность указывают и микологи, изучавшие грибы в вечномёрзлых отложениях Арктики и

Таблица 1

Относительное обилие тёмноокрашенного мицелия (%) в слоях верхового торфяника в процессе годового мониторинга при разных температурных режимах

Время (сут)	T0		T1		T2	
	20–24 °С	4–6 °С	20–24 °С	4–6 °С	20–24 °С	4–6 °С
30	9	9	11	20	22	25
60	22	12	13	27	17	18
90	27	31	27	28	17	50
120	14	22	19	39	10	58
150	4	17	10	34	22	47
180	4	18	6	13	28	50
270	10	15	0	0	0	0
365	5	18	0	0	0	0

Антарктики [13]. По данным этих авторов около 70 % изолированных из мерзлоты штаммов микромицетов с меланиновым пигментом были выделены при 4 °С, что свидетельствует об адаптации грибов к экстремальным температурам.

Базидиомицеты, являющиеся энергичными деструкторами лигнино-целлюлозного комплекса, обнаруживали на всех этапах сукцессии при экспозиции монолита в холодильнике, причем доля этой группы в процессе годового мониторинга постепенно нарастала и к концу опыта достигала максимальных значений. Низкие температуры стимулировали развитие базидиомицетов только в верхнем слое монолита (в течение всего опыта длина мицелия была в 2–7 раз выше при температуре 4–6 °С, чем при 20–24 °С). В слоях T1 и T2 не было выявлено четких закономерностей между плотностью мицелия и температурой, так как на одних этапах годовой сукцессии длина мицелия была выше при комнатной температуре, на других – варианты опыта характеризовались величинами одного порядка.

Биомасса почвенных грибов была максимальной в слое T0 и варьировала в зависимости от температурного режима и этапа сукцессии от 10 до 70 мг/г (рис. 2). В этом слое на всех этапах сукцессии она была выше при низкой температуре. Увеличение пула грибов в T0 происходило быстрее при низкой температуре – уже через месяц фиксировали пятикратное превышение биомассы, тогда как при комнатной температуре наблюдали существенный прирост биомассы (в 3 раза) только к концу второго месяца. В слоях T1 и T2 четкой корреляции между грибной биомассой и температурой не выявлено – на одних этапах она была выше при комнатной температуре, на других – при температуре холодильника (рис. 2).

При снижении температуры не изменялась морфологическая структура грибного комплекса. Так же как и при комнатной температуре, при температуре 4–6 °С в ней доминировал его активный компонент – мицелий. Его доля составляла 88–99 %. На долю спор

приходилось соответственно от 1 до 12 %. Иную морфологическую структуру грибного комплекса наблюдали только в слое T2 на последних стадиях годовой сукцессии – в обоих вариантах опыта в ней преобладали споры.

Численность микромицетов, определенная методом посева, варьировала от 5 до 21 тыс. КОЕ/г торфа в зависимости от варианта опыта, стадии сукцессии и слоя монолита. В слое T0 не было выявлено четких закономерностей в динамике численности микромицетов при разных температурных режимах. На одних этапах сукцессии показатели обилия были выше при комнатной температуре, на других – при температуре холодильника. В слоях T1 и T2 низкие температуры стимулировали развитие микромицетов в течение первых трех месяцев, так как численность на этих этапах сукцессии была в 2–3 раза выше в слое T1 и 8–10 раз – в слое T2 при температуре 4–6 °С, чем при температуре 20–24 °С. В остальные сроки показатели обилия микромицетов в различных вариантах

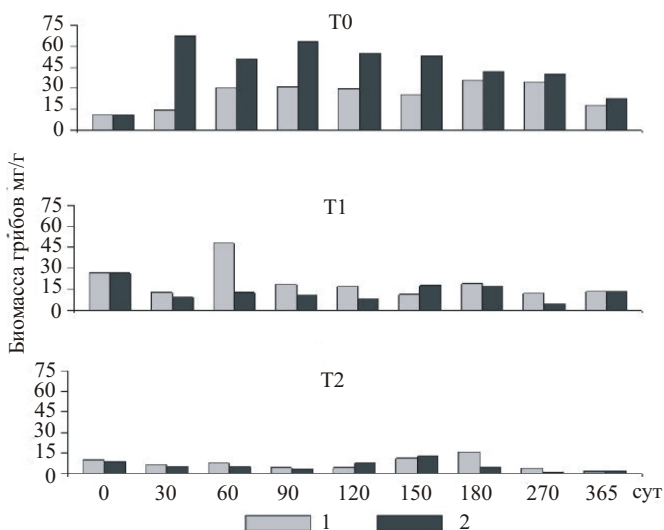


Рис. 2. Динамика грибной биомассы в слоях верхового торфяника в различных вариантах опыта

опыта отличались мало (в слое Т1) либо были выше при комнатной температуре (в слое Т2).

Таксономический состав микромицетного комплекса анализируемых слоев верхового торфяника включает 35 видов из 17 родов. По частоте встречаемости доминировали микромицеты из рода *Penicillium* (из них в первую очередь *P. miczynskii* Zal. и *P. montanense* Christ. & Backus), а также представители родов *Oidiodendron*, *Trichosporiella*. Высоким был процент обнаружения представителей рода *Zygodermus*, *Verticillium*. К редко встречающимся были отнесены микромицеты родов *Aureobasidium*, *Aspergillus*, а также стерильный и неидентифицированный мицелий. Спектр случайных родов оказался самым представительным. Некоторые виды из родов *Penicillium* и *Oidiodendron* попадали также в классы обилия с частотой встречаемости 30–60 % и 10–30 % (табл. 2).

В исследуемом торфянике преобладали светлоокрашенные микромицеты из семейства *Moniliaceae* (роды *Penicillium*, *Trichoderma*, *Aspergillus* и др.), что является типичным для микромицетных комплексов торфяников. При этом относительное обилие темноокрашенных микромицетов из семейства *Dematiaceae* (роды *Aureobasidium*, *Oidiodendron* и др.) варьировало в зависимости от стадии сукцессии, слоя и температурного режима в широких пределах от 0 до 94 %. В целом их доля была несколько выше в образцах торфа при комнатной температуре.

Видовое разнообразие микромицетов в обоих вариантах опыта было сходным, различия заключались в представленности тех или иных видов в пробе. Так, одни виды чаще выделялись при пониженной температуре (*O. tenuissimum*, *T. cerebriformis*, некоторые виды рода *Penicillium* и стерильный мицелий), частота встречаемости других видов была выше при комнатной температуре (*Aspergillus versicolor* (Vuill.) Tiraboschi, *Verticillium sp.*, *Mucor circinelloides* Tiegh., некоторые виды рода *Penicillium*). Для целого ряда видов не отмечено влияния температурного режима на их встречаемость и обилие в исследуемых образцах (табл. 3).

Таким образом, низкая температура не снижает численность и не уменьшает видовое разнообразие микромицетов. В структуре микромицетного комплекса при смене температурного режима изменяется лишь относительное обилие и частота встречаемости видов.

Большинство выделенных микромицетов относятся к группе медленнорастущих целлюлозолитиков. Быстрорастущие микромицеты-сахаролитики (в первую очередь муконовые грибы), основу питания которых составляет легкодоступная органика, встречались единично.

Численность бактериальных клеток, определенная люминесцентно-микроскопическим методом, варьировала в исследуемых образцах от 5 до 56 млрд в зависимости от варианта опыта, стадии сукцессии и

Таблица 2

Таксономическая структура микромицетного комплекса, выделенного из исследуемого торфяника в процессе годового мониторинга

Классы обилия по ЧВ	Родовая принадлежность
Доминирующие (>60 %)	<i>Penicillium</i> , <i>Oidiodendron</i> , <i>Trichosporiella</i>
Частые (30–60 %)	<i>Zygodermus</i> , <i>Verticillium</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Oidiodendron</i>
Редкие (10–30 %)	<i>Aureobasidium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , стерильный и неидентифицированный мицелий
Случайные (< 10 %)	<i>Aphanocladium</i> , <i>Cladosporium</i> , <i>Geomyces</i> , <i>Gliocladium</i> , <i>Mucor</i> , <i>Paecilomices</i> , <i>Tolypocladium</i> , <i>Trichoderma</i>

слоя монолита. Динамику бактерий в большей степени определяла температура. При ее снижении с 20–24 °С до 4–6 °С бактериальный титр практически на всех этапах сукцессии уменьшился в 2–4 раза. Только в слое Т0 в течение первых пяти месяцев эксперимента численность бактерий не зависела от температурного режима и характеризовалась величинами одного порядка (рис. 3).

Не удалось выявить четкой корреляции между температурным режимом и актиномицетным мицелием из-за мозаичности его распределения по профилю. Однако на некоторых этапах сукцессии в слоях Т0 и Т1 его длина была в 2–6 раз меньше при температуре холодильника, чем при комнатной температуре.

Прокариотная биомасса варьировала в исследуемых образцах от 0.1 до 1.2 мг/г. Ее динамику в опыте определяла бактериальная составляющая, на долю которой в прокариотном комплексе приходилось от 83 до 100 %.

Численность бактерий, определенная на среде ГПД, варьировала в зависимости от варианта опыта, стадии сукцессии и слоя монолита в пределах порядка. Она была максимальной в слое Т1 и на отдельных этапах сукцессии достигала 26 и 50 млн КОЕ/г. В слоях Т0 и Т2 численность бактерий была значительно меньше и колебалась от 1 до 12 млн КОЕ/г торфа. Экспозиция монолита торфяника при температуре 4–6 °С не привела к уменьшению численности бактерий.

Слой торфяника четко отличались по таксономической структуре исследуемого бактериального комплекса и ее динамике в процессе годового мониторинга. В верхнем слое Т0 на всех этапах сукцессии доминировали протеобактерии. Вторым доминантом в бактериальном комплексе исходно были актинобактерии. При снижении температуры их доля резко уменьшалась и они переходили в разряд минорных компонентов.

В слоях Т1 и Т2 таксономическая структура бактериального блока была иная, чем в Т0. На всех эта-

Таблица 3

Частота встречаемости видов микромицетов, выделенных из исследуемого торфяника в процессе годового мониторинга при разных температурных режимах

№	Видовая принадлежность	20–24 °С	4–6 °С
1	<i>Aphanocladium sp.</i>	3.7	0
2	<i>Aspergillus versicolor (Vuill.) Tiraboschi</i>	25.9	11.1
3	<i>Aureobasidium pullulans (de Bary) Arnaud</i>	11.1	11.1
4	<i>Cladosporium cladosporioides (Fresen.) de Vries</i>	3.7	0
5	<i>Geomyces pannorum (Link) Sigler &amp; Carmich.</i>	7.4	3.7
6	<i>Gliocladium sp.</i>	3.7	3.7
7	<i>Mucor circinelloides Tiegh.</i>	7.4	0
8	<i>Mycelia sterilia (Mon.)</i>	3.7	7.4
9	<i>Mycelia sterilia (Dem.)</i>	3.7	25.9
10	<i>Oidiodendron giseum Robak</i>	85.2	85.2
11	<i>O. rhodogenum Robak</i>	3.7	3.7
12	<i>O. tenuissimum (Peck) Hughes</i>	29.6	44.4
13	<i>Paecilomyces victoriae (Svilv.) A.H.S. Br. &amp; G. Sm.</i>	3.7	0
14	<i>Paecilomyces sp.</i>	3.7	0
15	<i>Penicillium aurantiogriseum Dierckx</i>	11.1	3.7
16	<i>P. chrysogenum Thom</i>	0	3.7
17	<i>P. citreonigrum Dierckx</i>	14.8	0
18	<i>P. duclauxii Delacr.</i>	3.7	0
19	<i>P. lividum</i>	22.2	11.1
20	<i>P. miczynskii Zal.</i>	66.7	59.3
21	<i>P. montanense Christensen &amp; Backus</i>	51.9	59.3
22	<i>P. spinulosum Thom</i>	33.3	29.6
23	<i>P. thomii Maire</i>	14.8	22.2
24	<i>P. variabile Sopp</i>	3.7	3.7
25	<i>Penicillium sp.</i>	7.4	25.9
26	<i>Tolypocladium inflatum Gams</i>	3.7	7.4
27	<i>T. hamatum (Bonord.) Bainier</i>	3.7	0
28	<i>T. harzianum Rifai</i>	7.4	7.4
29	<i>T. koningii Oudem.</i>	7.4	3.7
30	<i>T. viride Pers.</i>	3.7	0
31	<i>Trichosporiella cerebriiformis (Vr. &amp; Kleine-Natr.) Gams</i>	51.9	70.3
32	<i>Verticillium sp.</i>	59.3	40.7
33	<i>Zygodessmus fuscus Corda</i>	40.7	51
34	Неидентиф. (Mon.)	3.7	3.7
35	Неидентиф. (Dem.)	3.7	18.5

пах сукцессии при комнатной температуре доминировали протеобактерии и бациллы, составляя примерно равные доли. Актинобактерии были минорными компонентами, либо вообще не выделялись. Низкая температура привела к доминированию в этих слоях спорообразующих бактерий. Их численность составляла в среднем 2–12 млн КОЕ/г.

Следует отметить, что, несмотря на довольно обширный список родов бактерий, выделенных на разных этапах сукцессии, большинство из них являются минорными компонентами исследуемого бактериаль-

ного комплекса. В течение всего годового мониторинга в нем доминировали представители родов *Bacillus* (фирмикуты), *Aquaspirillum* и *Comamonas* (протеобактерии) (табл. 4).

Предварительный прогрев торфяной суспензии перед посевом при температуре 80 °С в течение 10 мин позволил сделать заключение, что большая часть бацилл находится в активном состоянии, т. е. в виде вегетативных клеток. Их доля составляла 65–70 %, на долю спор приходилось 30–35 % соответственно.

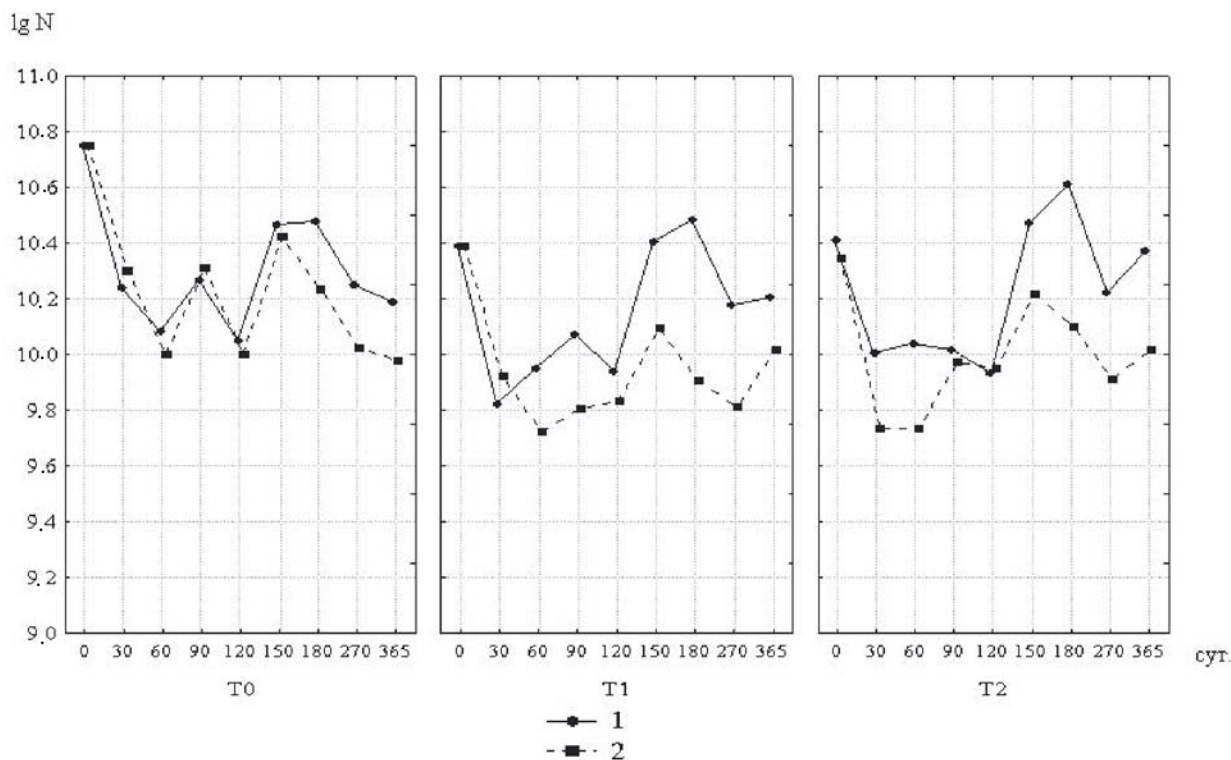


Рис. 3. Динамика численности бактерий (N – клеток/г сухого торфа) в слоях верхового торфяника в различных вариантах опыта

В результате посева образцов из слоев Т1 и Т2 на среды с крахмалом, пектином, карбоксиметилцеллюлозой и хитином было показано, что на всех перечисленных средах доминировали бациллы, в качестве минорных компонентов выделялись стрептомицеты. Зоны гидролиза на средах с крахмалом были обнаружены вокруг колоний всех выросших бацилл и актиномицетов. Гидролиз пектина осуществляли в основном бациллы группы *Bac. firmus-lentus*. На среде с КМЦ доминировали бациллы вида *Paenibacillus polymyxa*, колонии которых врастали вглубь агара и вызывали деструкцию целлюлозы. На среде с хитином вырастали те же бациллы, что и на средах с крахмалом и пектином. Все выделенные из торфяника культуры бацилл были способны к росту при температуре 4–6 °С, т. е. были адаптированы к температурам, которые характерны для торфяников.

Полученные нами данные согласуются с опубликованными ранее результатами работ, в которых изучали бактериальный состав верховых торфяников [22, 23]. Этими авторами было показано, что 2/3 клеток бацилл находятся в виде вегетативных клеток, т. е. в активном состоянии. В работе микробиологов из Нидерландов [24] таксономический состав бактерий в торфяниках определялся путем выделения РНК (а не ДНК) с целью выявления активной части микробного сообщества. В результате последующих за выделением РНК из почв гель-электрофореза, гибридизации, клонирования и секвенирования было показано, что специфические пробы на отдел Firmicutes с низким

Таблица 4  
Спектр родов бактерий, выделенных из исследуемого торфяника в процессе годового мониторинга

Филогенетическая группа	Род бактерий
Proteobacteria	<i>Aquaspirillum</i> , <i>Comamonas</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Methylobacterium</i> , <i>Caulobacter</i> , <i>Ancylobacter</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Beijerinckia</i> , <i>Burkholderia</i>
Actinobacteria	<i>Arthrobacter</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Curtobacterium</i> , <i>Cellulomonas</i> , <i>Promicromonospora</i> , <i>Streptomyces</i>
Firmicutes	<i>Bacillus</i> , <i>Paenybacillus</i>
Bacteroidetes	<i>Flavobacterium</i> , <i>Cytophaga</i>

процентным содержанием суммы гуанина и цитозина (куда входят бациллы) составили около 50 % всей бактериальной РНК, т. е. активной части сообщества. Кроме того, в числе обнаруженных в торфяниках видов бацилл были названы виды *Paenibacillus polymyxa* и *Bac. lentus*, т. е. те же виды, которые были определены нами методом посева. Недавно из сфагнового торфяника был выделен новый вид бацилл – *Bacillus acidicola*. Бактерии этого вида росли в диапазоне pH 3.5–7, температуре 15–45 °С и были способны к деструкции целлобиозы [25].

Таким образом, из проделанных опытов следует заключить, что низкая температура не оказывала существенного влияния на показатели обилия и морфологическую структуру грибных комплексов. Численность грибов при исследуемых температурах режимах характеризовались близкими значениями. На всех этапах годовой сукцессии, независимо от температурного режима, в слоях монолитов доминировал мицелий. При снижении температуры возрастало абсолютное и относительное обилие темноокрашенного мицелия. Низкие температуры стимулировали развитие базидиомицетов только в очесе сфагнового мха.

При смене температурного режима с 20–24 °С на 4–6 °С не происходило существенной корректировки численности и видового разнообразия микромицетов, варьировала лишь доля и частота встречаемости отдельных видов.

Низкие температуры повлияли на показатели обилия бактерий, полученные прямым методом. При снижении температуры численность и биомасса бактерий уменьшалась в 2–4 раза практически на всех этапах сукцессии. В то же время численность бактерий сапротрофного комплекса не зависела от температурного режима, так как характеризовалась величинами одного порядка как при температуре 20–24 °С, так и при 4–6 °С.

В пределах исследуемого гидролитического комплекса бактерий верховых торфяников наиболее приспособленными к условиям низких температур оказались бациллы. Их относительная доля на протяжении всего мониторинга была выше при температуре 4–6 °С, чем при 20–25 °С и они находились преимущественно в активном состоянии. Актинобактерии оказались наиболее чувствительными к низким температурам, их доля резко уменьшалась при снижении температуры и они переходили из доминирующих в разряд минорных компонентов бактериального комплекса.

Таким образом, как грибы, так и бактерии гидролитического комплекса, обитающие в верховых торфяниках, адаптированы к низким температурам, которые характерны для этих местообитаний и могут осуществлять разложение растительных полимеров на определенных этапах сукцессии. Необходимы дальнейшие исследования по выявлению скорости деструкции торфа, осуществляемой грибами и бактериями при разных температурах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10-04-00415 б и Федерального агентства по науке и инновациям (Госконтракт № 02.740.11.0325).*

### Список литературы

1. Заварзин Г. А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2003. С. 234–243.
2. Бамбалов Н. Н. Анализ биологических факторов разложения органического вещества в болотной среде // Сборник материалов пятой научной школы (11–14 сентября 2006). Томск: ЦНТИ, 2006. С. 18–27.
3. Moore O. The ecology of peat-forming processes: a review // Int. J. of Coal Geology. 1989. Vol. 12. P. 89–103.
4. Aerts R. et al. Plant-mediated controls on nutrient cycling in temperate fens and bogs // Ecology. 1999. Vol. 80. № 7. P. 2170–2181.
5. Freeman C., Ostle N. J., Fenner N., Kang H. A regulatory role for phenol oxidase during decomposition in peatlands // Soil Biol. Biochem. 2004. Vol. 36. P. 1663–1667.
6. Ефимов В. Н. Торфяные почвы и их плодородие. Л.: Агропромиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 269 с.
7. Куличевская И. С. и др. Выявление представителей Planctomycetes в сфагновых болотах с использованием молекулярных и культуральных подходов // Микробиология. 2006. Т. 75. № 3. С. 389–396.
8. Кухаренко О. С., Добровольская Т. Г., Головченко А. В. и др. Структура гетеротрофного блока бактерий в тундровых почвах полуострова Ямал // Почвоведение. 2009. № 4. С. 463–468.
9. Mannisto M. K., Haggblom M. M. Characterization of psychrotolerant heterotrophic bacteria from Finnish Lapland // System. and Appl. Microbiol. 2006. Vol. 29. P. 229–243.
10. Pankratov T. A., Serkebaeva Y. M., Kulichevskaya I. S. et al. Substrate-induced growth and isolation of Acidobacteria from acidic Sphagnum peat // The ISME Journal. 2008. № 2. P. 551–560.
11. Pankratov T. A., Tindall B. J., Liesack W., Dedysh S. N. *Mucilaginibacter paludis* gen. nov., sp. nov. and *Mucilaginibacter gracilis* sp. nov., xylan- and laminarin-degrading members of the family Sphingobacteriaceae from acidic Sphagnum peat bog // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2007. Vol. 57. P. 2349–2354.
12. Кирцидели И. Ю., Томилин Б. А. Почвенные микромицеты Архипелага Северная Земля // Микология и фитопатология. 1997. Т. 31. № 6. С. 1–6.
13. Кочкина Г. А., Иванушкина Н. Е., Карасев С. Г. и др. Микромицеты и актинобактерии в условиях многолетней естественной криоконсервации // Микробиология. 2001. Т. 70. № 3. С. 412–420.
14. Thormann M. N. et al. Microcosm tests of the effects of temperature and microbial species number on the decomposition of *Carex aquatilis* and *Sphagnum fuscum* litter from southern boreal peatlands // Can. J. Microbiol. 2004. Vol. 50. P. 793–802.
15. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева: МГУ, 1991. 303 с.
16. Кожевин П. А. и др. Динамика развития различных микроорганизмов в почве // Микробиология. 1979. Т. 48. № 4. С. 490–494.
17. Полянская Л. М. Микробная сукцессия в почве: автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 1996. 96 с.
18. Domsch K. H., Gams W. Compendium of soil Fungi. IHW-Verlag, 1993. 860 p.
19. Pitt J. I. The Genus *Penicillium* and its teleomorphic states *Eupenicillium* and *Talaromyces*. L.: Acad. Press, 1979. 634 p.
20. Определитель бактерий Берджи. М.: Мир, 1997. Т. 1, 2. 800 с.
21. Лысак Л. В. и др. Методы оценки бактериального разнообразия почв и идентификации почвенных бактерий. М.: МАКС Пресс, 2003. 120 с.

22. Martin N. J. et al. The bacterial population of a blanket peat // J. Appl. Bacteriol. 1982. Vol. 53. P. 35–48.
23. Wheatley R. E. et al. The aerobic bacterial flora of a raised bog // Soil Biol. Biochem. 1976. Vol. 8. P. 453–460.
24. Felske A., Wolterink A., Van Lis R., Akkermans A. D. L. Phylogeny of the main bacterial 16S rRNA sequences in drentse a grassland soils (the Netherlands) // Appl. Environ. Microbiol. 1998. Vol. 64. № 3. P. 871–879.
25. Albert R. A., Archambault J., Rossello-Mora R. et al. *Bacillus acidicola* sp. nov., a novel mesophilic, acidophilic species isolated from acidic *Sphagnum* peat bogs in Wisconsin // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2005. Vol. 55. P. 2125–2130.

Головченко А. В., кандидат биологических наук, ст. научный сотрудник.  
**Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.**  
Ленинские горы, д. 1, стр. 12, ГСП-1, г. Москва, Россия, 119991.  
E-mail: golovchenko.alla@gmail.com

Добровольская Т. Г., кандидат биологических наук, ст. научный сотрудник.  
**Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.**  
Ленинские горы, д. 1, стр. 12, ГСП-1, г. Москва, Россия, 119991.  
E-mail: dobrtata@mail.ru

Семенова Т. А., кандидат биологических наук, ст. научный сотрудник.  
**Институт проблем эволюции и экологии РАН.**  
Пр. Ленинский, 35, г. Москва, Россия, 117071.  
E-mail: tashino@mail.ru

Богданова О. Ю., студент.  
**Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.**  
Ленинские горы, д. 1, стр. 12, ГСП-1, г. Москва, Россия, 119991.  
E-mail: bogdolmsu@gmail.com

Кухаренко О. С., аспирант.  
**Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова.**  
Ленинские горы, д. 1, стр. 12, ГСП-1, г. Москва, Россия, 119991.  
E-mail: tarusyanka@yandex.ru

*Материал поступил в редакцию 12.02.2010*

*A. V. Golovchenko, T. G. Dobrovolskaya, T. A. Semenova, O. Yu. Bogdanova, O. S. Kucharenko*

#### **THE TEMPERATURE INFLUENCE ON THE STRUCTURE OF MICROBIAL COMMUNITIES OF BOG PEATLAND (MODEL EXPERIMENT)**

In the annual model experiment was made the monitoring of quantity and taxonomical structure of the bacterial and fungal complexes in the monoliths of the bog peatland under temperature of 20–24 °C and 4–6 °C, using the fluorescent-microscopic and plate methods. It was established, that low temperatures didn't exert serious influence on the morphological, taxonomical structure and abundance levels of the fungal complexes. The temperatures stimulated the development of Basidiomycetes and dark-coloured mycelium. Among the bacterial hydrolytic complex, *Bacillus* were the most adapted to the low-temperature conditions. In the bog peatland, fungi were shaped as mycelium, and spore-forming bacteria were shaped as vegetative cells, that's why they occurred to be in an active state. Also the fungi and spore-forming bacteria were adapted to low-temperature conditions and that helped them to decompose vegetative polymers.

**Key words:** *bog peatland, model experiment, low temperature, monitoring, bacteria, fungi, abundance, taxonomical structure.*

Golovchenko A. V.  
**Moscow State University named after M. V. Lomonosov.**  
GSP-1, Leninskye Gory, 1, str. 12, Moscow, 119991.  
E-mail: golovchenko.alla@gmail.com

Dobrovolskaya T. G.  
**Moscow State University named after M. V. Lomonosov.**  
GSP-1, Leninskye Gory, 1, str. 12, Moscow, 119991.  
E-mail: dobrtata@mail.ru



Semenova T. A.

**Institute of Evolution and Ecology Problems RAS.**

Pr. Leninsky, 35, Moscow, 117071.

E-mail: tashino@mail.ru

Bogdanova O. U.

**Moscow State University named after M. V. Lomonosov.**

GSP-1, Leninskiye Gory, 1, str. 12, Moscow, 119991.

E-mail: bogdolmsu@gmail.com

Kucharenko O. S.

**Moscow State University named after M. V. Lomonosov.**

GSP-1, Leninskiye Gory, 1, str. 12, Moscow, 119991.

E-mail: tarusyanka@yandex.ru