

Влияние пирогенно-индуцированных геоморфологических процессов на состояние микробоценозов мерзлотных почв Центральной Якутии

Т.И. Иванова, А.П. Чевычелов, Н.П. Кузьмина

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск
salomaxa8@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрено состояние микробоценозов мерзлотных почв Центральной Якутии после пирогенно-индуцированных экзогенных геоморфологических процессов (солифлюкция, поверхностный смыв), вызванных сильным подстильно-гумусовым пожаром в лиственничном лесу. Сравнивались микробоценозы мерзлотной палевой темногумусовой почвы и стратозема светлогумусового на погребенной почве, образованного за 9-летний период после пирогенно-индуцированного смыва мелкозема с поверхности водораздела. В верхнем (0–20 см) намывом слое стратозема численность аммонификаторов в 3 раза ниже, чем в контрольной палевой почве, мицелиальных грибов и олигонитрофилов – на 1 и 2 порядка соответственно. В палевой темногумусовой почве наибольшая численность микроорганизмов отмечена в темногумусовом горизонте, тогда как в стратоземе пик микроорганизмов наблюдали в погребенном темногумусовом горизонте первичной почвы на глубине 60–80 см.

Ключевые слова: мерзлотные почвы, пирогенно-индуцированные геоморфологические процессы, микроорганизмы.

Influence of Fire-Induced Geomorphological Processes on the State of Microbial Cenoses in Frozen Soils of Central Yakutia

T.I. Ivanova, A.P. Chevychelov, N.P. Kuzmina

*Institute for biological problems of cryolithozone SB RAS, Yakutsk
salomaxa8@mail.ru*

Abstract. The paper considers the state of microbial cenoses in frozen soils in Central Yakutia after fire-induced exogenous geomorphological processes (solifluction, sheet wash) caused by a strong litter-humus fire in a larch forest. The microbial cenoses were compared in frozen pall-yellow dark-humus soil and light-humus stratozem on the buried soil formed during the 9-year period after fire-induced washoff of fine-grained deposits from the surface of the watershed. In the upper (0–20 cm) layer of washed stratozem the number of ammonifiers was 3 times lower than in the control pale yellow soil, while the content of filamentous fungi and oligonitrophils was 1 and 2 orders of magnitude less respectively. In pall-yellow dark-humus soil the greatest number of microorganisms was recorded in the dark-humus horizon, whereas, in stratozem the peak of microorganisms was observed in the buried dark-humus horizon of primary soil at a depth of 60–80 cm.

Key words: frozen soil, fire-induced geomorphological processes, microorganisms.

Введение

Сильные низовые лесные пожары в криолитозоне оказывают значительное влияние на мерзлотные почвы, существенно изменяя их

почвенный климат и гидрологические характеристики. При этом при уничтожении огнем напочвенного растительного покрова происходит повышение температуры почв, увеличение мощности их сезонноталого слоя в 1,5–2,0 раза [1] и, как следствие, повышение влажности почв гарей особенно в надмерзлотных почвенных горизонтах в связи с вытравиванием влаги, ранее законсервированной в форме сегрегационного

ИВАНОВА Татьяна Ивановна – к.б.н., с.н.с.; ЧЕВЫЧЕЛОВ Александр Павлович – д.б.н., г.н.с.; КУЗЬМИНА Надежда Петровна – к.б.н., н.с.

льда. Существенное изменение климата и гео-криологических характеристик криогенных почв, в свою очередь, приводит к значительной активизации геоморфологических процессов (термоэрозия, солифлюкция, поверхностный смыв и др.) в мерзлотных ландшафтах.

Исследованию пирогенных трансформаций свойств, состава и биологической активности лесных почв в результате влияния пожаров посвящено значительное количество публикаций [2–5], но в них, как правило, исследуются отдельные признаки конкретных типов почв в пределах первых лет одного сукцессионного (обычно 50–80-летнего) ряда послепожарных изменений растительного покрова. Лишь в отдельных работах изучаются длительно необратимые и необратимые послепожарные изменения почв, обусловленные развитием вышеназванных пирогенно-индуцированных экзогенных геоморфологических процессов. Согласно А.П. Сапожникову [6], к таким изменениям в частности относятся формирование подвешенных почв и почв с погребенными горизонтами и другие отклонения от естественной направленности почвообразования. Попыток изучения влияния пирогенно-индуцированных геоморфологических процессов на изменение свойств, состава и биологической активности почв мерзлотной области в известной нам литературе до последнего времени не предпринималось. Поэтому на дальнейшее изучение почвенно-экологических особенностей таких почв и направлено все содержание представленной статьи.

С этой целью нами были изучены морфологическая характеристика, физико-химические свойства и численность основных экологотрофических групп микроорганизмов двух типов мерзлотных почв Центральной Якутии – стратозема светлогумусового на погребенной почве и естественной палеовой темногумусовой почвы.

Материалы и методы исследования

Наши почвенно-экологические исследования проводились в окрестностях г. Якутска на территории Центрально-Якутской равнины. В целом исследуемая территория относится к Центрально-Якутской таежно-алаской провинции [7] или к Центрально-Якутской провинции палеовых мерзлотных, местами осолоделых почв и черноземно-луговых почв аласов [8].

Лесные пожары на обширной территории республики являются одним из существенных деструктивных факторов мерзлотных ландшафтов. Примерно каждые 14–23 года леса здесь подвергаются воздействию огневого фактора [9].

Исследованные почвы сформированы в пределах нижней части склона местного водораздела под смешанным лиственнично-березовым лесом на элювии юрских песчаников и алевролитов. При этом стратозем (разр. 1п-12) образован в результате солифлюкции и погребения палеовой темногумусовой почвы в постпирогенный период с поверхности слоем делювия мощностью 72 см, смытого с водораздельной гари, после сильного низового пожара, имевшего место 9 лет назад. Данный пожар развивался как устойчивый подстилочно-гумусовый, при этом его площадь составила 132 га. В результате этого пожара живой напочвенный покров и горизонт лесной подстилки О мощностью 10–12 см мерзлотно-таежной почвы, сформированной на водораздельной поверхности, выгорели полностью. Вследствие опускания уровня многолетней мерзлоты, деградации сегрегационного льда и термопросадок почвенного мелкозема, которые обычно происходят в постпирогенный период в мерзлотных почвах [10], в летний период 2004 г. на гари наблюдался практически сплошной вывал лиственничных древостоев и интенсивное развитие экзогенных геоморфологических процессов (солифлюкция, поверхностный смыв). Смыв мелкозема с водораздельной поверхности продолжался в течение 3 лет после пожара. При этом необходимо указать, что данная погребенная почва (разр. 1п-12) не подвергалась непосредственно действию огня в период лесного пожара 2003 г. Палеовая темногумусовая почва (разр. 2п-12) не подвергалась какому-либо воздействию и развивалась в естественных природных условиях. Данная контрольная почва дает представление о допозарном состоянии участков леса.

Полевые исследования проводились в 2012 г. при изучении морфологических и физико-химических свойств, а также микробиологического состава данных почв нами использовался ряд стандартных почвенных и микробиологических методов [11–13].

Приведем географические характеристики и описания участков, где были заложены исследованные почвенные разрезы.

Разрез 1п-12 заложен в нижней части склона юго-восточной экспозиции местного водораздела в зоне сухостоя, в 35 км с правой стороны по Покровскому тракту от г. Якутска. Географические координаты: широта (N) – 61°74794' с.ш., долгота (E) – 129°53857' в.д. Напочвенный покров – злаково-разнотравный, проективное покрытие (ПП) – 30–40 %, отмечается подрост ивы и березы. Разрез 2п-12 заложен в нижней части данного водораздела примерно в 500 м на ЮВ от разр. 1п-12. Географические координаты

ты: N – 61°74563', E – 129°54199'. Смешанный лиственнично-березовый лес злаково-разнотравный (состав 8б2л), в напочвенном покрове присутствуют: морковник, мышиный горошек, злаки, осока, а также отдельными куртинами брусника, ПП – 70–80 %. Местами отмечается пастбищная деградация напочвенного покрова.

Отбор образцов почв из разрезов для микробиологических исследований осуществляли по слоям с глубин 0–20, 20–40, 40–60, 60–80, 80–100 см по стандартной методике [13]. Влажность почвенных образцов определяли стандартным методом высушивания при 105 °С [14]. Численность микроорганизмов определяли методом посева на плотные питательные среды. Число бактерий, использующих органический азот, учитывали на мясопептонном агаре, число бактерий и актиномицетов, использующих минеральный азот – на крахмалоаммиачном агаре, число олигонитрофильных бактерий – на среде Эшби. Количество грибов учитывали на подкисленной среде Чапека, аэробных целлюлозоразлагающих бактерий – на среде Гетчинсона. Засеянные чашки Петри инкубировали при комнатной температуре (20–25 °С). Для выявления азотобактера в почве и определения относительного его содержания использовали метод почвенных комочков на среде Эшби [13]. Морфологию клеток культур изучали методами световой микроскопии с помощью микроскопа «Биолам Р-15» (увеличение $\times 1250$). Учет результатов посева бактерий и грибов проводили на 3–4 и 7–10 сутки соответственно. Подсчитывали общее число колоний, выросших на данной среде, численность рассчитывали далее в колониеобразующих единицах (КОЕ) на 1 г почвы (в 5 повторностях с пересчетом на 1 г абсолютно сухой почвы). Полученные данные обрабатывались при помощи методов параметрической статистики на 95 %-м уровне значимости по стандартной программе EXCEL 2000 (пакет программ Windows).

Результаты и обсуждение

Приведем морфологические описания исследуемых почвенных разрезов.

Разрез 1п-12.

RJ1, 0–54 см. Серовато-темно-бурый, бесструктурный, легкий суглинок с линзами и прослойками (мощностью 3–5 см) светло-бурой супеси, с включениями черных древесных углей, а также кварцево-палевошпатовой гальки и щебня песчаников и алевролитов различных размеров (от мелкого до крупного) по всей массе данного слоя до 20–30 % от объема, влажный, плотный, переход постепенный.

RJ2, 54–72 см. Серовато-бурый, бесструктурный, легкий суглинок с прослойками (мощ-

ностью 1–3 см) рыжевато-бурой гравелистой супеси, с включениями черных древесных углей и кварц-полевошпатовой гальки до 5 % от объема, влажный, плотный, переход ясный.

[AU], 72–84 см. Погребенный гумусовый горизонт первичной почвы, серый, непрочно-мелкокомковатый, легкосуглинистый, пронизан сеткой корней, встречаются мертвые древесные растительные остатки, влажный, более рыхлый, чем вышерасположенный слой, переход заметный.

[BPL], 84–104 см. Буровато-светло-серый с серыми затеками гумуса, непрочно-мелкокомковатый, легкосуглинистый, влажный, переход постепенный.

[BC], 104–134 см. Сизовато-светло-бурый, непрочно-мелкокомковатый, легкий суглинок влажный, более плотный, чем вышерасположенный горизонт, с 134 см мерзлый.

Согласно принципам современной классификации почв России [15], данная почва может быть определена как стратозем светлогумусовый на погребенной почве.

Разрез 2п-12.

O, 0–2 см. Темно-бурая рыхлая лесная подстилка, состоящая главным образом из средне-разложившегося травяно-лиственного опада, переход заметный.

AU, 2–30 см. Серый, непрочно-мелкокомковатый, легкосуглинистый, влажный, пронизан густой сеткой живых корней, языками и затеками гумуса серого цвета переходит в следующий горизонт, переход постепенный.

BPL, 30–58 см. Буровато-серый, непрочно-мелкокомковатый, легкий суглинок, влажный, пронизан сеткой корней, переход постепенный.

BСА, 58–78 см. Бурый с серыми пятнами гумуса, непрочно-мелкокомковатый, среднесуглинистый, влажный, слабо вскипает от HCl, переход в следующий горизонт постепенный.

Cca, 78–98 см. Светло-бурый, непрочно-мелкокомковатый, средний суглинок, влажный, слабо вскипает от HCl, с 98 см мерзлый, по границе с многолетней мерзлотой отмечается криогенная плитчато-ореховатая текстура.

Почва: палевая темногоумусовая.

Как следует из вышеприведенных морфологических описаний, а также из анализа свойств и состава исследуемых почв (табл. 1), характер постпирогенных трансформаций почвы разр. 1п-12 выявляется довольно четко. Как уже отмечалась выше, данная почва сверху погребена слоем слабощелочного, супесчано-легкосуглинистого гравелистого и уплотненного делювия. Нижерасположенные погребенные темногоумусовый (гор. AU) и палево-метаморфический (гор. BPL) горизонты первичной почвы хорошо

Физико-химические свойства почв

Глубина, см	рН		Гумус, %	Обменные катионы, мг·экв/100 г почвы			
	H ₂ O	KCl		Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺	Сумма
Разрез 1п–12, стратозем							
0–20	8,0	6,8	3,4	11,3	6,1	Н.о.*	17,4
20–40	8,2	7,4	2,9	21,2	5,3	"	26,5
40–60	8,0	7,3	2,9	24,6	7,8	"	32,4
60–80	6,0	5,5	6,3	24,5	9,8	0,3	34,6
80–100	6,2	5,5	2,1	8,7	4,4	0,2	13,3
Разрез 2п–12, палевая темногумусовая							
0–20	7,2	6,3	9,5	28,6	8,7	0,2	37,5
20–40	8,0	7,2	7,9	33,0	7,8	Н.о.	40,8
40–60	8,0	7,3	4,0	28,0	6,2	"	34,2
60–80	7,8	6,8	1,1	18,1	9,6	"	27,7
80–100	7,8	6,9	1,1	15,5	7,2	"	22,7

* Н.о. – не обнаружено.

выявляются здесь по увеличению содержания гумуса (до 6,3 %), уменьшению значений рН (до 6,0–6,2) (табл. 1).

Палевая темногумусовая почва (разр. 2п-12) естественного ландшафта в целом характеризуется нейтрально-слабощелочной реакцией среды, высоким содержанием гумуса в верхней части профиля, насыщенностью почвенно-поглощающего комплекса обменными основаниями, легко- и среднесуглинистым гранулометриче-

ским составом, т.е. ее следует относить к потенциально высокоплодородным [7].

По температуре и влажности исследуемые разрезы палевой темногумусовой почвы и стратозема отличались друг от друга (табл. 2). Особенно заметно различия проявились во влажности данных почв. Стратозем был расположен в зоне сухостоя, на более открытом участке и оказался в 2 раза суше (14,3 %), чем палевая серая почва естественного ландшафта (32,2 %) в верх-

Численность микрофлоры мерзлотных палевой темногумусовой почвы и стратозема Центральной Якутии, 2012 г.

Разрез	Тип почвы	Глубина, см	Темпе- ратура почвы, °С	Влаж- ность почвы, %	Количество микроорганизмов					
					КОЕ/г АСВ					%
					аммони- фикаторы	олиго- нитрофилы	использ. минер. формы азота	целлю- лозолитики	грибы	
1п-12	Стратозем	0–20	17,0	14,3	1,05x10 ⁶	5,04 x10 ⁴	0	1,11 x10 ⁴	5,04 x10 ⁵	58,0
		20–40	16,9	12,5	6,45x10 ⁵	0,10 x10 ⁵	5,79 x10 ⁵	4,03 x10 ³	1,51 x10 ⁴	64,7
		40–60	15,7	9,8	3,37 x10 ⁵	4,68 x10 ⁵	9,35 x10 ⁵	–*	Н.о.	–
		60–80	14,7	28,2	2,28 x10 ⁶	1,03 x10 ⁶	0	–	3,04 x10 ⁴	–
		80–100	12,8	18,4	1,77 x10 ⁵	5,11 x10 ⁵	7,59 x10 ⁴	–	Н.о.	–
2п-12	Палевая темно- гумусовая	0–20	17,6	32,2	3,81 x10 ⁶	2,86 x10 ⁶	1,74 x10 ⁶	6,61 x10 ³	1,05 x10 ⁶	8,0
		20–40	15,6	17,3	2,02 x10 ⁶	2,17 x10 ⁵	2,73 x10 ⁵	9,59 x10 ³	3,03 x10 ⁴	75,3
		40–60	11,6	9,6	2,88 x10 ⁶	2,41 x10 ⁵	9,86 x10 ⁵	–	Н.о.	–
		60–80	10,2	18,4	5,75 x10 ⁵	5,05 x10 ⁴	3,03 x10 ⁴	–	"	–
		80–100	8,8	17,6	5,05 x10 ³	1,01 x10 ⁴	1,82 x10 ⁵	–	"	–

*– не определяли; Н.о. – не обнаружено.

ВЛИЯНИЕ ПИРОГЕННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

нем 20-см слое. По температуре особых различий в верхних слоях между контрольной и трансформированной почвами не выявлено, она составила 17,0 и 17,6 °С соответственно. В контрольной почве на глубине 80–100 см температура упала до 8,8 °С, а в стратоземе такого заметного падения температуры не наблюдали, здесь температура составляла 12,8 °С.

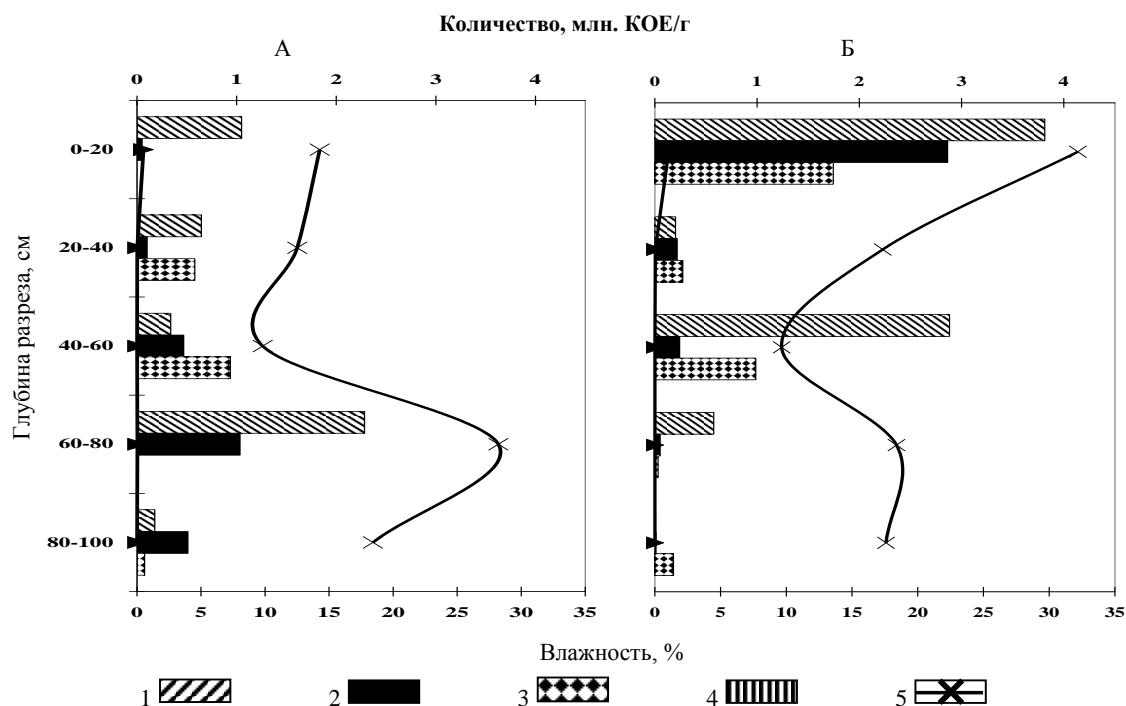
Количество микроорганизмов, населяющих эти почвы, колебалось от 4,03 тыс. до 3,81 млн. КОЕ/г почвы (табл. 2). В исследуемых микробных комплексах преобладали группы аммонификаторов и олигонитрофилов. Численность микроорганизмов в верхних слоях стратозема была меньше, чем в контрольной палевой темногумусовой почве. В верхнем слое 0–20 см намытого делювия стратозема аммонификаторов было обнаружено в 3 раза меньше ($1,05 \times 10^6$) по сравнению с темногумусовым горизонтом палевой почвы ($3,81 \times 10^6$). Содержание олигонитрофилов меньше на 2 порядка, мицелиальных грибов – на один порядок. В темногумусовом горизонте палевой почвы обнаружены микроорганизмы, использующие минеральный азот $1,74 \times 10^6$ КОЕ/г почвы, тогда как в стратоземе их нет (рисунок).

Уменьшение численности микроорганизмов в верхнем слое намытого делювия стратозема вероятно связано с отсутствием здесь доступного для разложения микроорганизмами органического вещества и минеральных форм азота. Как

уже отмечалось ранее, в палевой серой почве разреза 2п-12 мощность слоя рыхлой лесной подстилки О составляла всего 2 см, а в стратоземе разреза 1п-12 горизонт лесной подстилки вообще не сформирован.

В стратоземе в верхнем слое 0–20 см микроорганизмы, использующие минеральный азот, отсутствовали. Характерной особенностью криогенных почв лиственничников Эвенкии, в том числе подверженных воздействию огня, является практически полное отсутствие актиномицетов [16]. В нашем исследовании в стратоземе микроорганизмы, использующие минеральный азот, отсутствовали в верхнем 0–20 слое и на глубине 60–80 см. Их присутствие в слое 20–60 см можно объяснить тем, что микроорганизмы, использующие минеральный азот, размножаются не только вегетативно, но и спорами. Кроме того, актиномицеты обнаружены на глубине 80–100 см, что, вероятно, связано с захороненными на этой глубине темногумусовым (гор. АУ) и палево-метаморфическим (гор. ВРЛ) горизонтами первичной почвы. В то же время в этой почве обнаружено на порядок больше целлюлозолитических бактерий, а дрожжей липомицетов в 7 раз больше, чем в контрольной почве.

В целом в наших исследованиях максимальное количество микроорганизмов в мерзлотной палевой темногумусовой почве (3,8 млн. КОЕ/г) оказалось на 3 порядка меньше, чем в исследо-



Распределение микроорганизмов и влажности по профилям почв Центральной Якутии: А – стратозем светлогумусовый на погребенной почве; Б – палевая темногумусовая (контрольная); 1–4 – микроорганизмы: 1 – аммонификаторы, 2 – олигонитрофилы, 3 – микроорганизмы, использующие минеральный азот, 4 – мицелиальные грибы; 5 – влажность

ванных ранее палевых лесных почвах Центральной Якутии (3–8,5 млрд. КОЕ/г) [17], и на четыре порядка меньше, чем в почвах средней и южной тайги (28–50 млрд. КОЕ/г) европейской территории России [18, 19].

Профильное распределение микроорганизмов в стратоземе и палевой темногумусовой почве прямо противоположно. В стратоземе пик численности микроорганизмов приходился на погребенный гумусовый горизонт АУ первичной почвы на глубине 60–80 см (рисунок, А), где обнаружено 2,28 млн. КОЕ/г аммонификаторов, 1,03 млн. КОЕ/г олигонитрофилов и 30 тыс. КОЕ/г мицелиальных грибов. В палевой почве пик численности микроорганизмов приходился на темногумусовый горизонт 0–20 см, где обнаружили 3,81 млн. КОЕ/г аммонификаторов, 2,86 млн. КОЕ/г олигонитрофилов, 1,74 млн. КОЕ/г микроорганизмов, использующих минеральный азот, 1,05 млн. КОЕ/г мицелиальных грибов, 6 тыс. КОЕ/г целлюлозолитических бактерий и 8 % дрожжей липомицетов (рисунок, Б).

В исследуемых почвах с глубиной температура постепенно падала, тогда как изменение влажности носило S-образный характер. Особенно это четко выражено в стратоземе, где изменение численности микроорганизмов следует за влажностью данной почвы (рисунок, А). В контрольной почве корреляция между влажностью и численностью микроорганизмов заметна в верхних горизонтах.

Оценка корреляции численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов с такими факторами, как содержание гумуса, температура и влажность почвы, показала, что в палевой серой почве естественного ландшафта она имела положительную связь ($r =$ от 0,40 до 0,90) с содержанием данных факторов. Тогда как с величиной рН водной вытяжки численность микроорганизмов в контрольной почве была строго отрицательной, значение r здесь колебалось от –0,60 до –0,95. При этом значение критического коэффициента корреляции составляло $r = 0,88$ при $p = 0,95$.

Таким образом, статистически значимые корреляционные связи получены в стратоземе между содержанием аммонификаторов и гумуса ($r = 0,98$), а в палевой темногумусовой почве – положительная между количеством мицелиальных грибов и влажностью ($r = 0,90$), а также отрицательные связи между содержанием олигонитрофилов ($r = -0,92$) и мицелиальных грибов ($r = -0,95$) и влажностью. При этом температура почвы в августе в мерзлотных почвах не является лимитирующим фактором для жизнедеятельности микроорганизмов [20, 21].

Заключение

После сильного низового пожара, имевшего место в 2003 г. в Центральной Якутии и полностью уничтожившего напочвенный растительный покров, на водоразделе активизировались экзогенные геоморфологические процессы. В результате этого в нижней части водораздельного склона сформировался стратозем светлогумусовый на погребенной палевой темногумусовой почве. Стратозем отличался от исходной палевой почвы в поверхностном (0–60 см) слое большей плотностью, меньшим содержанием гумуса, более легким гранулометрическим составом и более низкой полевой влажностью.

По прошествии 9 лет после интенсивного лесного подстилочно-гумусового пожара, несмотря на значительный послепожарный период, в результате пирогенно-индуцированных геоморфологических процессов, в стратоземе, в отличие от контрольной почвы, отмечалось заметное уменьшение численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов. Так в этой почве не были обнаружены микроорганизмы, использующие минеральный азот в верхнем 0–20 см слое и на глубине 60–80 см. Численность аммонификаторов уменьшилась в 3 раза в слое 0–20 см, мицелиальных грибов и олигонитрофилов – на 1 и 2 порядка соответственно. При этом возросла на порядок численность целлюлозолитиков и в 7 раз увеличилось количество дрожжей липомицетов. Численность микроорганизмов в погребенном темногумусовом горизонте стратозема сравнима с таковой в темногумусовом горизонте контрольной палевой почвы. Распределение микроорганизмов по профилю почв также изменилось. В контрольной почве наибольшая численность микроорганизмов отмечалась в верхнем темногумусовом горизонте. В стратоземе пик микроорганизмов наблюдали в нижнем погребенном темногумусовом горизонте первичной почвы на глубине 60–80 см. Экзогенные геоморфологические процессы, активизировавшиеся после сильного низового пожара 9-летней давности в таежной зоне Центральной Якутии, нанесли большой ущерб лесной экосистеме и привели, в конечном счёте, к изменению распределения микроорганизмов по профилю почвы и количественным изменениям микробного пула исследуемого мерзлотного стратозема.

Работа выполнена в рамках фундаментальных исследований по проекту VI.54.1.2. «Механизмы трансформации и закономерности функционирования почв криолитозоны в условиях глобальных изменений: факторы, современное состояние и прогноз». № гос. регистрации 01201282191.

Литература

1. *Тарабукина В.Г., Саввинов Д.Д.* Влияние пожаров на мерзлотные почвы. Новосибирск: Наука, 1990. 120 с.
2. *Сорокин Н.Д.* Влияние лесных пожаров на биологическую активность почв // *Лесоведение*. 1983. № 4. С. 24–28.
3. *Сорокин Н.Д., Евграфова С.Ю.* Биологическая активность почв лесов криолитозоны Центральной Эвенкии // *Почвоведение*. 1999. № 5. С. 634–638.
4. *Сорокин Н.Д., Евграфова С.Ю., Гродницкая И.Д.* Влияние низовых пожаров на биологическую активность криогенных почв Сибири // *Почвоведение*. 2000. № 3. С. 315–319.
5. *Богородская А.В., Сорокин Н.Д.* Микробиологическая диагностика состояния пирогенно-измененных почв сосняков Нижнего Приангарья // *Почвоведение*. 2006. № 10. С. 1258–1266.
6. *Сапожников А.П.* Роль огня в формировании лесных почв // *Экология*. 1976. № 1. С. 43–46.
7. *Еловская Л.Г., Коноровский А.К.* Районирование и мелиорация мерзлотных почв Якутии. Новосибирск: Наука, 1978. 176 с.
8. *Добровольский В.В., Урусевская И.С.* География почв. М.: Изд-во МГУ; Колос, 2004. 460 с.
9. *Исаев А.П.* Естественная и антропогенная динамика лиственничных лесов криолитозоны (на примере Якутии): Автореф. дис. ... д.б.н. Якутск, 2011. 51 с.
10. *Чевычелов А.П.* Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // *Сибирский экологический журнал*. 2002. № 3. С. 273–277.
11. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
12. *Роде А.А.* Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
13. *Методы почвенной микробиологии и биохимии* / Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 303 с.
14. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования агрофизических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
15. *Классификация и диагностика почв России* / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
16. *Сорокин Н.Д.* Микробиологическая диагностика лесорастительного состояния почв Средней Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 222 с.
17. *Иванова Т.И., Кононова Н.П., Николаева Н.В., Чевычелов А.П.* Микроорганизмы лесных почв Центральной Якутии // *Почвоведение*. 2006. № 6. С. 735–740.
18. *Головченко А.В., Полянская Л.М.* Сезонная динамика численности и биомассы микроорганизмов по профилю почвы // *Почвоведение*. 1996. № 10. С. 1227–1233.
19. *Головченко А.В., Полянская Л.М.* Особенности годовой динамики микроорганизмов в почвах южной тайги // *Почвоведение*. 2000. № 4. С. 471–477.
20. *Иванова Т.И., Кузьмина Н.П., Саввинов Д.Д.* Сообщества микроорганизмов аласных почв Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии // *Почвоведение*. 2013. № 4. С. 459–473.
21. *Иванова Т.И., Кузьмина Н.П., Саввинов Д.Д.* Микробценозы мерзлотных почв долины Туймаада Центральной Якутии // *Известия РАН. Серия биологическая*. 2014. № 6. С. 573–585.

Поступила в редакцию 13.10.2016