

*А. П. Чевычелов*Институт биологических проблем криолитозоны – обособленное научное учреждение
в составе ФИЦ ЯНЦ СО РАН, г. Якутск, Россия**ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ В ЯКУТИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОЧВЕННЫЙ
ПОКРОВ В АСПЕКТЕ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА**

Аннотация. Признавая огромное влияние лесных пожаров на изменение состава, свойств и режимов автоморфных почв мерзлотной области, мы предложили термин «Пирогенез», понимая под ним совокупность процессов и явлений, возникающих в природных ландшафтах под действием огня. В лесных фитоценозах Южной Якутии отмечаются большие запасы лесных горючих материалов, которые составляют 14,92-42,20 т/га, при этом на долю мхов и лишайников, а также опада, относимых к проводникам горения I группы, приходится 37-62 % от общей фитомассы. Вследствие высокой грозовой активности доля грозовых пожаров в регионе в среднем составляет 49 % от их общего числа. На основе изучения особенностей географического распространения, формирования свойств и состава пирогенно-трансформированных мерзлотных почв с полициклическим профилем Якутии выявлены их географо-генетические признаки. Показано, что в составе пирогенных погребенных гумусовых горизонтов отмечается увеличение содержания гумуса и азота, а также фракций физической глины, ила и обменных оснований Ca^{+2} и Mg^{+2} . В составе гумуса данных погребенных горизонтов отчетливо наблюдается возрастание количества гумусовых кислот, связанных с кальцием (ГК-2). При этом тип гумуса данных горизонтов изменяется с фульватного до фульватно-гуматного и гуматного. В мерзлотно-таежной области Якутии, особенно в горных гумидных районах, лесные пожары оказывают негативное влияние на состояние почвенного покрова.

Ключевые слова: лесные пожары, мерзлотные почвы Якутии, состав и свойства, пирогенные трансформации.

А. П. Чевычелов

Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Yakut Scientific Center, SB RAS, Yakutsk, Russia

**FOREST FIRES IN YAKUTIA AND THEIR IMPACT ON SOIL COVER
IN TERMS OF PREDICTED CLIMATE CHANGE**

Abstract. Considering the significant impact of wildfires on properties, content and regime of automorphic soils of the permafrost area, we have suggested the term ‘Pyrogenesis’, which describes processes and events that occur in natural landscapes under the influence of fire. In the forest phytocenoses of South Yakutia also characterized by the increased amount of forest fuels (14.92-42.20 tons/ha). Mosses, lichens and litter that belong to the 1st group of fire conductors make up 37-62 % of the total phytomass. Frequent summer thunderstorms are common in the studied area. Thus, the average number of wildfires caused by lightning during summer period makes up 49 % of the total number of wildfires. Basing on the study of the patterns on geographical distribution, development of properties and composition of pyrogenically transformed cryogenic soils with a polycyclic profile in Yakutia their geographic-genetic traits were found. It was demonstrated that pyrogenic buried humus horizons were characterized by the increased content of humus and nitrogen, as well as clay fractions, silt and Ca^{+2} and Mg^{+2} exchangeable bases. In the humus composition of these buried horizons, one can clearly observe the increase in calcium-bound humic acids (HA-2). The type of humus in such horizons change from fulvatic to fulvate-humic and humatic. In the frozen taiga region of Yakutia, especially in humid mountain regions, wildfires have negative effect on soil cover.

Keywords: forest fires, frozen soils of Yakutia, composition and properties, pyrogenic transformations.

ЧЕВЫЧЕЛОВ Александр Павлович – д.б.н., г.н.с., Институт биологических проблем криолитозоны – обособленное научное учреждение в составе ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

E-mail: chev.soil@list.ru

CHEVYCHELOV Aleksandr Pavlovich – Doctor Biological Sciences, Senior Researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Yakut Scientific Center, SB RAS.

E-mail: chev.soil@list.ru

Введение

Признавая огромное влияние лесных пожаров на изменение состава, свойств и режимов автоморфных почв мерзлотной области, мы предложили термин «Пирогенез», понимая под ним совокупность процессов и явлений, возникающих в природных ландшафтах под действием огня [1, 2]. При этом, приступая к изучению влияния пирогенеза на состав, свойства и эволюцию мерзлотных почв, мы полностью разделяем слова основателя Якутской школы почвоведения В.Г. Зольникова [3, с. 47] о том, что каждому процессу, протекающему в почве, в каждом данном случае нужно придавать то значение, которое он занимает в природе.

В лесном покрове Якутии, как и всего Северо-Востока России в условиях значительного сокращения лесозаготовок пирогенез стал главным фактором сукцессионных процессов в лесных сообществах. Гари пятнами и полосами разбросаны по всей лесопокрытой площади, охватывая пространства от речных долин до водоразделов [4]. Одна из самых повреждаемых огнем – территория с многолетнемерзлыми и длительно – сезонномерзлотными почвами, включая подзону северной тайги, зоны лесотундры и тундры. Эта мерзлотная область пока наименее освоена, поэтому бороться с пожарами здесь трудно, а последствия их нелегко прогнозировать [5].

Огонь в лесных районах распространения многолетней мерзлоты рассматривают как важный фактор, моделирующий поверхность и оказывающий влияние на геоморфологические процессы. Очевидно, с не меньшим основанием лесные пожары и вообще огонь следует включать в число важных факторов почвообразования, учет влияния которого обязателен при рассмотрении вопросов генезиса и географии лесных почв [6]. В связи с этим целью настоящей статьи являлось изучение природы лесных пожаров в Якутии и оценка их влияния на состояние почвенного покрова мерзлотно-таежной области.

Материалы и методы исследований

Наши исследования проводились на территории Центральной и Южной Якутии. Область исследований примерно может быть ограничена координатами 120°-132° в.д. и 56°-62° с.ш. (рис. 1). Исходные материалы для данной статьи получены как посредством проведения

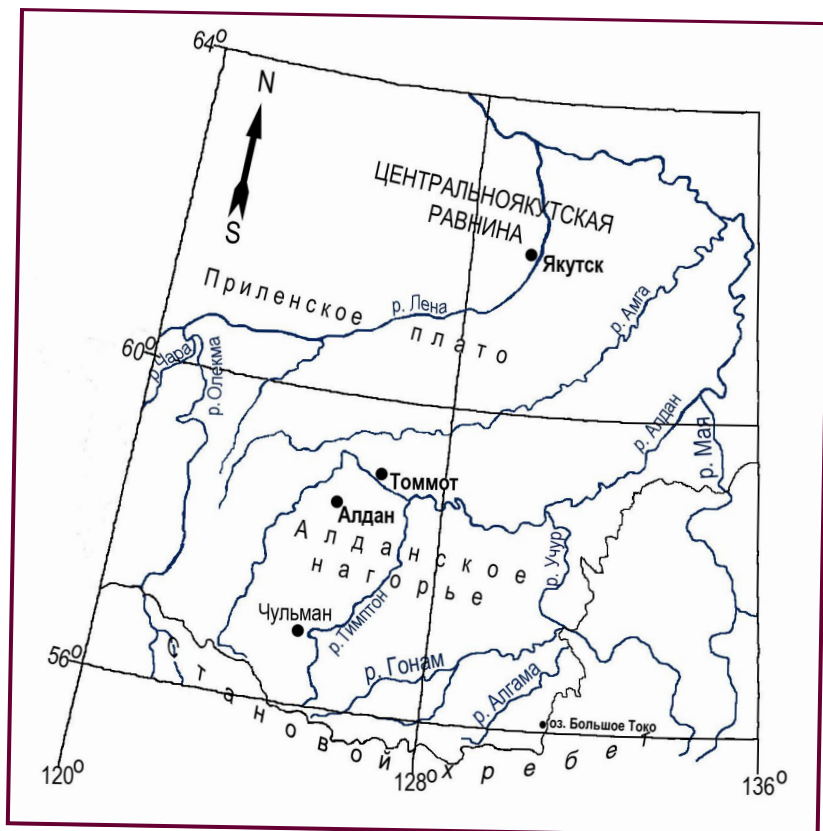


Рис. 1. Регион проведения исследований

собственных исследований, так и привлечения всех опубликованных данных, имеющихся в нашем распоряжении. Определение запасов и состава фитомассы напочвенного растительного покрова исследуемых фитоценозов выполнено в соответствии с методами изучения биологического круговорота в различных природных зонах [7]. При учете запасов лесных горючих материалов, в том числе проводников горения различных групп, были использованы рекомендации Н.П. Курбатского [8]. Оценка частоты и возраста лесных пожаров произведена по огневым поражениям на стволах деревьев, сохранившихся на горях в постпирогенный период. При определении пирогенных трансформаций мерзлотных почв использовались общепринятые в почвоведении профилно-генетический и сравнительно-аналитический методы, при этом почвенные показатели определялись по стандартным методикам [9].

Результаты и обсуждение

Как уже отмечалось, наши исследования проводились на территории Центральной и Южной Якутии. В целом Южная Якутия характеризуется преимущественно горным рельефом, тогда как Центральная Якутия – равнинным. Во всех изучаемых районах в растительном покрове преобладает среднетаежная растительность. В Южной Якутии многолетняя мерзлота имеет прерывистое, а в Центральной Якутии – сплошное распространение. Климат Центральной Якутии характеризуется недостаточным, в то время как Южной Якутии – нормальным и избыточным увлажнением.

В условиях резко континентального гумидного климата Южной Якутии отчетливо проявляется неравномерность увлажнения в сезонном и многолетнем циклах, что способствует созданию пожароопасных условий в лесных фитоценозах при достижении пожарной “спелости” напочвенных горючих материалов. При этом пожароопасные годы чередуются с частотой $\approx 15-20$ лет, пары пожароопасных лет \approx раз в 33 года, годы с минимальным увлажнением \approx один раз в столетие. В данном регионе пожары в лесах сухих местопроизрастаний повторяются через 10-15 лет, в средневлажных – через 60-70 лет, сырых – через 100-150 лет. В течение 110-120-летнего периода действию огня подвергается вся исследуемая территория.

Анализ огневых поражений на стволах лиственницы, проведенный в лиственничниках брусничной группы Центральной Якутии, свидетельствует о высокой частоте лесных пожаров. Примерно каждые 14–23 года леса здесь подвергаются воздействию огневого фактора [10]. При этом возобновительный цикл лиственницы на горях, скорее всего, растягивается на 2,5–3,0 ревизионных периода, то есть на 12–15 лет, замедляясь в северных районах и на крупных горях [11].

В климатическом сезонном цикле территории максимум недостатка насыщения водяного пара в июле совпадает по времени с сезонным максимумом грозовых явлений и наибольшей непрерывной продолжительностью гроз (рис. 2) следствием чего является проявление сухих гроз, не сопровождаемых выпадением атмосферных осадков. Юг Якутии характеризуется максимальной частотой грозовых явлений, составляющей 15-18 дней в году, вследствие чего основным источником лесных пожаров здесь (в 75 % случаев) являются сухие грозы. Для Якутии доля грозовых пожаров в среднем составляет $49 \pm 3,8$ %, а отношение площади грозовых пожаров к общей площади лесных пожаров $\approx 67 \pm 5$ %, изменяясь от минимального значения 10 % до максимального – 99 % [12].

В лесном покрове исследуемого региона исключительно преобладают светлохвойные леса из лиственницы Каяндера, на долю которых приходится 91 % лесопокрытой площади [13]. Интенсивность «работы» гетеротрофов, или второго трофического уровня системы, в лесах геокриогенной области значительно ослаблена как в живом, так и в детритном пищевых потоках. Вследствие этого, превышение запасов лесных подстилок над годичным опадом в часто подвергавшихся пожарам лесах Центральной Якутии достигает 4–10 кратных значений, а в давно негоревших, с менее благоприятным гидротермическим режимом, – в десятки раз. Последнее в условиях криоаридного климата исследуемой территории в засушливые периоды и в сухие сезоны определяет также высокую пожароопасность в таких лесах [14].

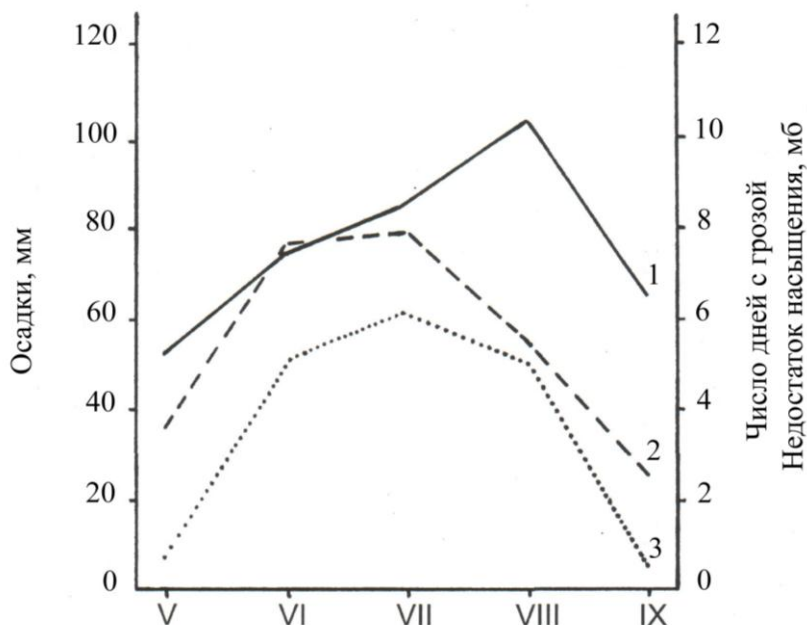


Рис. 2. Сезонный ход: осадков (1), недостатка насыщения (2) и частоты гроз (3) в Южной Якутии по данным метеостанции Алдан

Биологический круговорот в лесах Южной Якутии характеризуется, как мало- и среднепродуктивный, сильнозаторможенный, низко- и среднезольный с малой емкостью, что приводит к накоплению значительного количества горючих материалов в виде мощных лесных подстилок, сухостоя и валежа. В составе напочвенных горючих материалов весьма значима доля мхов и, в особенности, лишайников, способных достигать состояния пожарной “спелости” уже на 2-3 день после очередного дождя. При этом на долю последних и ветоши, относимых по классификации Н.П. Курбатского [8], к проводникам горения I группы, приходится 37-62 % от общей массы напочвенных горючих материалов (табл. 1).

Таблица 1

Запасы и состав проводников горения в лесах Южной Якутии (над чертой – т/га, под чертой – %)

Тип леса	Лишайники	Мхи	Ветошь	Подстилка	Всего
Сосняк бруснично-лишайниковый, 150 лет	<u>6,52</u> 44	<u>1,54</u> 10	<u>1,16</u> 8	<u>5,70</u> 38	<u>14,92</u> 100
Листвяг бруснично-лишайниковый, 140 лет	<u>9,68</u> 35	-	<u>3,16</u> 12	<u>14,50</u> 53	<u>27,34</u> 100
Сосняк с лиственницей толокнянково-лишайниковый, 165 лет	<u>1,62</u> 13	<u>0,46</u> 4	<u>2,54</u> 20	<u>7,80</u> 63	<u>12,42</u> 100
Листвяг с елью бруснично-моховой, 120 лет	<u>2,02</u> 5	<u>10,68</u> 25	<u>4,16</u> 10	<u>25,34</u> 60	<u>42,20</u> 100

За последние десятилетия среднетаежные леса Якутии претерпевают существенные нагрузки из-за частых лесных пожаров и увеличения, охватываемых пожарами территорий. Так, с 1990 по 2010 г. на всей территории республики зарегистрировано более 10 тыс. лесных пожаров на общей площади около 4,6 млн.га. За этот период ежегодно регистрировалось от 194 до 1169 возгораний на площади от 12,8 до 719,5 тыс. га. В среднем ежегодно на охраняемой территории происходило 610 лесных пожаров на площади более 310 тыс. га [15].

Постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв показаны нами на примере изменения показателей дерново-карбонатной выщелоченной почвы, имевших место в послепожарный период (1985-1992 гг.). Данная почва сформирована на территории Южной Якутии, на абсолютной высоте 590 м, в верхней части пологого склона юго-восточной экспозиции крутизной 5-10° под листвягом с кедром зеленомошно-кустарничковым. В 1992 г., через 7 лет после прохождения сильного низового пожара, по послепожарной зачистке разреза 11-84 был описан разрез 3-92А. В его морфологическом строении отмечены существенные от допожарного состояния изменения (табл. 2), сопровождаемые уменьшением мощности почвенного профиля (М) с 60 до 39 см. В частности, горизонт лесной подстилки А0 полностью выгорел, от гумусово-аккумулятивного горизонта А осталась только поверхностная пленка более минерализованного вторичного (послепожарного) гумусового горизонта. Уменьшилась также и мощность горизонта АВ, и в целом подгумусовой части почвенного профиля. Изменились также физико-химические показатели исследованного разреза. Так, более чем на единицу сдвинулось значение рН в щелочную сторону поверхностного горизонта А, при этом одновременно почти втрое уменьшилось содержание органического вещества. В составе почвенно-поглощающего комплекса данного почвенного горизонта при общем незначительном изменении суммы обменных оснований почти в 1,5 раза уменьшилось содержание обменного кальция и в 2 раза увеличилось количество поглощенного магния [2].

Таблица 2

Изменение физико-химических свойств мерзлотной дерново-карбонатной выщелоченной почвы Южной Якутии в послепожарный период

Горизонт	Глубина, см	рН _{Н₂О}	Гумус, %	Обменные катионы, смоль (экв)/кг почвы		Фракции, %		СО ₂ карбонатов, %
				Са ⁺²	Мg ⁺²	<0,001 мм	<0,01 мм	
До пожара, разрез 11-84								
А	0-9	6,1	31,5	53,5	17,8	-	-	Н.о.*
АВ	9-25	6,8	5,2	26,9	17,9	38,0	65,0	-/-
Вm	25-45	7,4	2,7	24,8	15,6	44,6	81,0	0,7
ВСса	45-60	7,7	1,2	-	-	41,5	77,0	2,2
После пожара, разрез 3-92 А								
А	0-2	7,3	9,4	33,4	35,7	-	-	Н.о.
АВ	2-11	6,8	5,1	22,1	16,8	32,4	63,4	-/-
Вm	11-27	7,2	2,4	26,8	13,2	49,0	83,2	0,8
ВСса	27-39	7,8	1,2	-	-	34,9	60,5	2,5

*Здесь и далее: Н.о. – содержание не обнаружено.

Все выше отмеченные изменения свойств данной почвы, на наш взгляд, связаны с одновременным влиянием в послепожарный период следующих процессов: 1) прямого выгорания органического вещества поверхностных горизонтов; 2) поверхностного смыва почвенного мелкозема с оголенной поверхности почвы; 3) внутрипочвенного, в том числе и надмерзлотного, выноса (криоэлювация) глинистых суспензий из переувлажненной почвы; 4) термпросадок почвенного мелкозема при разрушении и опускании уровня многолетней мерзлоты (табл. 3).

При уничтожении огнем лесного полога глубина проникания теплового потока в почву возрастает в 1,5-2 раза от исходного, что приводит к аналогичному увеличению сезонного протаивания почвогрунтов [16]. В связи с этим в мерзлотной палевой среднесуглинистой почве, развитой под лиственничником брусничным в условиях Центральной Якутии, глубина сезонноталого слоя составляла около 80 см, тогда как на свежей 2-летней гари на данной почве она возрастала уже в 1,5 раза, на 10-12-летней гари – максимально в 1,8 раза и далее незначительно

понижалась на 21-23-летней гари. При этом растительный покров здесь почти полностью восстанавливается в течение 50 лет после пожара, а уровень многолетней мерзлоты стабилизируется гораздо медленнее [17].

Таблица 3

Изменение морфологических показателей мерзлотной дерново-карбонатной выщелоченной почвы Южной Якутии в послепожарной период

Процесс	Горизонт	Потеря мощности	
		см	%
Выгорание ОВ	A	5,4	26
Поверхностный смыв мелкозема	A+AB	5,8	28
Термопросадка мелкозема	A+AB+Bm+Bca	9,8	46
Суммарно	M ₁ – M ₂	21	100

Также постпирогенные трансформации отмечались нами на примере мерзлотной палеовой серой почвы Центральной Якутии, сформированной в нижней части склона местного водораздела. В послепожарный период вследствие уничтожения лесного растительного покрова, увеличения глубины сезонного протаивания мерзлотных почв, произошло интенсивное развитие экзогенных геоморфологических процессов (термоэрозия, солифлюкция, поверхностный смыв). Вследствие этого мерзлотная палеовая серая почва, формирующиеся в нижней части данного склона под смешанным лиственнично-березовым кустарничково-разнотравным лесом, оказалась погребенной мощным наносом мелкозема, смытого в постпирогенный период с поверхности пирогенно-трансформированного водораздела и переотложенного в нижней части данного водораздельного склона.

Вследствие этого почва разр. 1п-12 оказалась сверху погребена слоем слабощелочного, супесчано-легкосуглинистого гравелистого и уплотненного делювия мощностью 72 см. Нижерасположенные погребенные гумусовый (гор. А) и подгумусовый (гор. АВ) горизонты первичной почвы хорошо выявляются здесь по увеличению содержания гумуса (до 6,3 %), уменьшению значений рН (до 6,0 – 6,2) (табл. 4), а также содержания частиц физической глины и ила на глубине 60–100 см данной почвы (табл. 5). Так, если в слое 0–40 см палеовой серой почвы разр. 2п-12 естественного ландшафта содержание частиц физической глины составляло 23,0–29,9 %, то в данном погребенном слое на глубине 60–100 см палеовой пирогенно-транс-

Таблица 4

Физико-химические свойства мерзлотных палеовых серых почв

Глубина, см	рН		Гумус, %	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы			
	H ₂ O	KCl		Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺	Сумма
Палеовая серая пирогенно-трансформированная, разрез 1п-12							
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
Палеовая серая, разрез 2п-12							
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

формированной почвы разр. 1п-12 только 15,1–20,6 %, то есть произошло изменение гранулометрического состава данного слоя этой почвы с легкосуглинистого до супесчаного. При этом также в данном слое почвы происходит уменьшение содержания гумуса с 7,9–9,5 % до 2,1–6,3 %, то есть снижение в среднем в 2,1 раза (см. табл. 4).

Отметим также, что если в профиле палевой серой почвы естественного ландшафта внутрипрофильное отношение содержания частиц глины (< 0,01 мм) к илу (< 0,001 мм) изменяется от 2,2 до 3,0, то в палевой серой пирогенно-трансформированной таковое уже составляет 1,5–1,9, то есть снижается в среднем в 1,5 раза. Последнее обусловлено по нашему мнению вымыванием из состава мелкозема поверхностных горизонтов (гор. А + гор. АВ) почвы разр. 1п-12 в начальный период её пирогенной трансформации с поверхностным стоком частиц крупной (0,01–0,005 мм) и мелкой (0,005–0,001 мм) пыли и затем их погребением на глубину 60–100 см привнесённым слоем свежего делювия (см. табл. 5). С выносом из поверхностных горизонтов первичной почвы разр. 1п-12 в постпирогенный период с поверхностным стоком частиц средней и мелкой пыли мы также связываем и отмечаемое здесь снижение содержания гумуса.

Таблица 5

Гранулометрический состав мерзлотных палевых серых почв

Глубина, см	Удельная масса, г/см ³	Количество частиц, %: размер, мм					Сумма частиц, %		Глина:ил
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001 мм	<0,01 мм	
Палевая серая пирогенно-трансформированная, разрез 1п-12									
0-20	2,62	17,9	44,5	14,8	2,8	5,3	14,7	22,8	1,5
20-40	2,62	15,6	45,0	19,4	2,4	4,9	12,7	20,0	1,6
40-60	2,61	16,6	38,3	20,3	4,0	5,9	14,9	24,8	1,7
60-80	2,42	9,2	43,3	32,4	2,9	4,3	7,9	15,1	1,9
80-100	2,62	9,7	39,8	29,9	3,6	5,3	11,7	20,6	1,8
Палевая серая, разрез 2п-12									
0-20	2,50	7,5	44,6	24,9	5,8	7,0	10,2	23,0	2,2
20-40	2,56	8,0	41,3	20,8	8,8	10,2	10,9	29,9	2,7
40-60	2,61	10,3	44,1	17,9	5,5	11,4	10,8	27,7	2,6
60-80	2,63	11,0	33,7	22,2	9,3	12,8	11,0	33,1	3,0
80-100	2,64	10,4	38,6	18,8	5,9	13,0	13,3	32,2	2,4

При пирогенной трансформации мерзлотных почв Центральной и Южной Якутии нами также наблюдалось образование почв с полициклическим профилем сложного строения, включающего в своем составе 2-3 погребенных деградированных пирогенных гумусовых горизонта с обильным включением черных древесных углей. Подобная мерзлотная палевая серая пирогенно-трансформированная почва (разрез 2Ч-14) была описана нами в окрестностях г. Якутск, в нижней части склона коренного берега р. Лена, на делювиальном шлейфе, на поляне в смешанном березово-сосновом лесу разнотравно-злаковым и имела следующее морфологическое строение почвенного профиля: Ad(0-2) – A(2-17) – BC(17-31) – [ABC](31-40) – [A](40-50) – [BC](50-70) – [ABC](70-130) – C(130-160 см).

Значения актуальной почвенной кислотности данной почвы изменяются сверху-вниз от нейтральных до слабощелочных. Внутрипрофильное распределение гумуса, азота и обменных оснований Ca⁺² и Mg⁺² (табл. 6), а также фракций физической глины и ила (табл. 7) также однозначно указывает на слоистость ее состава [18].

При этом увеличение содержания гумуса в современном и погребенных гумусовых горизонтах сопровождается синхронным возрастанием здесь количества азота и обменных оснований Ca⁺² и Mg⁺² и указывает на то, что эта тенденция носит биогенный характер, то есть является следствием педогенеза данной почвы. Во всех 3 погребенных почвенных профилях [A-BC] по сравнению с современным A-BC и почвообразующей породой С также происходит расширение отношения C:N, это вероятно указывает, что в процессе пиролиза почвенного органического

Таблица 6

Химические свойства и физико-химические показатели почвы

Горизонт	Глубина, см	pH водн.	Гумус, %	Азот, %	C:N	Обменные катионы мг-экв/100 г почвы		
						Ca ⁺²	Mg ⁺²	Сумма
Палевая серая, разрез 2Ч-14								
A	4-14	6,7	5,6	0,28	20	23,4	7,4	30,8
BC	18-28	6,7	0,6	0,04	15	8,4	1,4	9,8
[A]	31-40	7,2	3,1	0,12	26	20,8	6,9	27,7
[BC]	31-40	7,5	0,8	0,03	27	8,2	2,7	10,9
[A]	40-50	7,5	3,2	0,13	25	20,5	4,7	25,2
[BC]	55-65	7,9	0,5	0,02	25	7,9	1,4	9,3
[A]	70-130	7,8	5,5	0,26	21	30,5	6,6	37,1
[BC]	70-130	8,3	0,8	0,03	27	10,9	2,2	13,1
C	140-150	8,3	0,1	0,02	5	9,2	1,3	10,5

вещества (ПОВ) газообразные потери N происходят в большей степени, чем C, вследствие чего пирогенные горизонты почв относительно обедняются N.

Гранулометрический состав мелкозема исследуемой почвы песчано-супесчаный (табл. 7). При этом современный и погребенные горизонты BC характеризуются более легким песчаным составом, тогда как гумусовые горизонты A, как правило – супесчаным. Мы уже отмечали, что повышение содержания гумуса в горизонтах A исследуемой почвы сопровождается синхронным возрастанием в них количества мелкодисперсных фракций физической глины и ила. Вместе с тем с ростом содержания гумуса в данных погребенных горизонтах также одновременно происходит увеличение общего количества фракций крупной (0,05-0,01 мм) и средней (0,01-0,005 мм) пыли. Последнее вероятно обусловлено тем, что в состав данных гранулометрических фракций почвенного мелкозема частично входят мелкие древние угольки, которые в пирогенно-трансформированных почвах также составляют часть ПОВ.

Таблица 7

Гранулометрический состав почвы

Горизонт	Глубина, см	Количество частиц, % диаметром в мм					Сумма частиц, %	
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001 мм	< 0,01 мм
Палевая серая, разр. 2Ч-14								
Ad	0-2	43,4	41,7	9,1	0,2	1,0	4,6	5,8
A	4-14	34,4	44,7	12,5	0,5	1,2	6,7	8,4
BC	18-28	42,3	49,7	1,7	0,5	1,6	4,2	6,3
[A]	31-40	36,2	45,1	8,4	1,9	1,5	6,9	10,3
[BC]	31-40	47,4	42,8	3,4	0,5	1,4	4,5	6,4
[A]	40-50	27,3	52,3	7,5	1,5	3,3	8,1	12,9
[BC]	55-65	32,9	56,1	3,5	0,5	1,0	6,0	7,5
[A]	70-130	29,6	45,5	8,8	3,6	2,9	9,6	16,1
[BC]	70-130	33,2	52,2	5,1	0,9	1,9	6,7	9,5
C	140-150	19,8	70,0	2,6	0,3	1,3	6,0	7,6

Изучение фракционно-группового состава гумуса данной палевой серой почвы позволяет утверждать, что тип гумуса современного и погребенных горизонтов BC, а также C определяется как фульватный (Сг.к.:Сф.к. = 0,3-0,5), в то время как таковой гумусовых горизонтов A – как фульватно-гуматный и гуматный. Причем рост значений отношения Сг.к.:Сф.к. в данных горизонтах сопровождается, как правило, одновременным увеличением содержания фракций ГК-1 и, главным образом, ГК-2, то есть гуминовых кислот, связанных с Ca (табл. 8).

Состав гумуса, % к общему С почвы

Горизонт	Глубина, см	Гуминовые кислоты (ГК)				Фульвокислоты (ФК)					НО*	С _{ГК} . С _{Ф.к.}
		ГК-1	ГК-2	ГК-3	Сумма	ФК-1а	ФК-1	ФК-2	ФК-3	Сумма		
Палевая серая, разр. 2Ч-14												
Ad	0-2	9,8	10,3	9,7	29,8	3,0	11,0	8,1	5,8	27,9	42,3	1,1
A	4-14	14,0	26,1	9,7	49,8	3,6	5,8	5,5	3,9	18,8	31,4	2,6
BC	18-28	7,9	5,3	0	13,2	7,9	5,3	10,5	15,8	39,5	47,3	0,3
[A]	31-40	15,4	34,1	9,3	58,8	7,1	8,2	9,3	6,0	30,6	10,6	1,9
[BC]	31-40	12,2	10,2	0	22,4	12,2	6,1	10,2	12,2	40,7	36,9	0,5
[A]	40-50	9,1	28,5	8,1	45,7	7,5	2,7	5,9	1,6	17,7	36,6	2,6
[BC]	55-65	7,4	11,1	0	18,5	14,8	0	14,8	18,5	48,1	33,4	0,4
[A]	70-130	13,4	33,9	5,6	52,9	8,1	3,4	7,2	1,9	20,6	26,5	2,6
[BC]	70-130	11,5	3,2	7,3	22,0	20,1	3,9	14,7	23,3	62,0	16,0	0,3
C	140-150	0	20,0	0	20,0	20,0	0	36,0	12,0	68,0	12,0	0,3

*Н.о. – негидролизующий остаток.

Это обстоятельство обусловлено педогенной природой гумусообразования в палевых серых почвах в ландшафтно-климатических условиях центральной Якутии, когда палевые серые почвы рассматриваются в зональном аспекте как переходный подтип от мерзлотных черноземов к мерзлотным палевым почвам [19].

Вопросам влияния изменения климата на лесные пожары посвящен целый ряд исследований [20-24]. В этих работах, как правило, показано увеличение числа пожаров на территории России, США и Канады, вызванное потеплением климата. В этом случае при прогнозировании количественных оценок влияния потепления климата на лесные пожары используются принципы моделирования, то есть построения моделей GGC, ECH, GFD, CSM, HAD, CSI и других на основе ранее установленных зависимостей между показателями, характеризующими пожароопасную обстановку, частоту, продолжительность и масштабность лесных пожаров в регионах с различной ландшафтно-климатической обстановкой. При этом отмечается, что определенные преимущества при проведении подобных оценок дает по сравнению с использованием данных каждой отдельной модели использование данных, полученных по ансамблю моделей

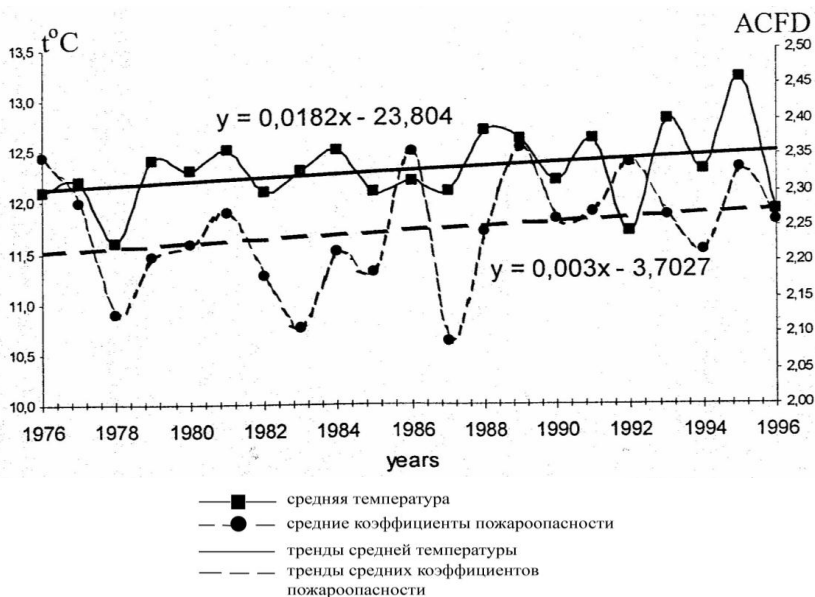


Рис. 3. Ежегодные изменения средней температуры вегетационного периода и средних коэффициентов пожароопасности

[21]. Примером таких зависимостей может служить линейная зависимость, установленная между длительностью пожароопасных сезонов (y) и продолжительностью вегетационных периодов (x), полученная для 8 широтных поясов ($40-72^\circ$), по формуле: $y=1,0902x-18,928$ при $R^2=0,9551$. Другим примером таких зависимостей также является зависимость, установленная между ежегодным изменением средней температуры вегетационного периода (t) и средних коэффициентов пожароопасности (ACDF) в период 1976-1996 гг. (рис. 3) [20].

В России в 1985-2004 гг. увеличилось в целом как общее количество лесных пожаров, так и лесная площадь, пройденная пожарами (рис. 4) [25].

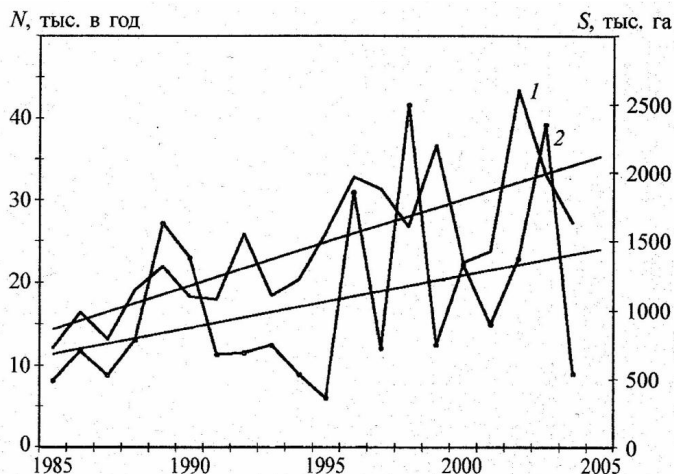


Рис. 4. Число лесных пожаров в России N (1) и лесная площадь S (2), пройденная пожарами в 1985-2004 гг. [26]. Прямые линии – линейные тренды

Существенные различия в сценариях изменения климата по модели общей циркуляции атмосферы GDFL и палеоаналоговой модели М.И. Будыко приводят к значительной разнице в оценках соответствующих им длительностей пожароопасных сезонов (ДПС). Поэтому мы определяли прогнозы влияния климатических изменений на лесные пожары в России по модели GDFL, которая показывает более высокие оценки, то есть по сути максимальные при глобальном повышении температуры воздуха на 1°C . По этому сценарию в северных районах страны продолжительность пожароопасного сезона увеличится на 30-50 дней, в средних широтах – на 50-60 дней и в южных районах – на 60-70 дней. При этом доминирующее влияние на рост числа и площади лесных пожаров в России будет оказывать увеличение ДПС в средних широтных поясах ($52-62^\circ$ с.ш.).

Рассматриваемый сценарий изменения климата предполагает увеличение молниевых разрядов между широтами 50° с.ш. и 70° с.ш. от 30 до 40 %, без деления их по типам «облако-земля» или «облако-облако». При этом будет отмечаться рост общего числа лесных пожаров в России на 3,6-4,8 %, а лесных пожаров от гроз с 12,1 до 16,9 %. Для европейской части страны число таких пожаров возрастет с 5,0 % до 7,0 %, а в ее азиатской части – с 19,0 % до 26,6 %. Увеличение количества грозовых пожаров на 30-40 % приведет к росту доли пожаров от молний в общей охватываемой огнем площади до 52-56 %, отмечаемых для периода 1987-2000 гг.

Указанное выше увеличение длительности пожароопасных сезонов по широтным поясам за счет повышения температуры воздуха, без учета изменения их суровости, может сопровождаться ростом числа и площади лесных пожаров в России на 30-40 %. Активизация грозовой деятельности в бореальной зоне может привести к увеличению общего числа лесных пожаров в стране на 3,6-4,8 % и размеров охватываемой площади на 12-16 %. Площадь пожаров от гроз достигнет при этом 52-56 % общей площади лесных пожаров на активно охраняемой территории Российской Федерации. В целом увеличение длительности и суровости (напряженности) пожароопасных сезонов, активизация грозовой деятельности в рамках рассмотренных сценариев изменения климата могут привести в 21 веке к росту числа и площади лесных пожаров в России в 1,5-2,0 раза [20].

Влияние прогнозируемых изменений климата на лесные пожары в глобальном аспекте можно определить согласно климатической модели ИФА РАН [27]. Согласно данной модели средняя по ансамблю глобальная площадь выгорания из-за природных пожаров увеличится с 2,1 млн. км² год⁻¹ до 2,4-3,2 млн. км² год⁻¹, а годовые глобальные эмиссии углекислого газа в атмосферу из-за природных пожаров возрастут с 1,4 ПгС/год до 1,6-2,7 ПгС/год соответственно. Основной вклад в изменение глобальных значений площади природных пожаров и соответствующих эмиссий CO₂ в атмосферу в XXI веке вносят регионы средних и субполярных широт Евразии и Северной Америки. Для бореальной Евразии ежегодная площадь выгорания из-за природных пожаров в XXI веке в среднем по ансамблю изменяется с 0,2 млн км² год⁻¹ до 0,3-1,0 млн км² год⁻¹, а соответствующие эмиссии углекислого газа в атмосферу с 0,07 ПгС до 0,14-0,39 ПгС/год. Интенсификация эмиссии CO₂ в атмосферу из-за природных пожаров связана как с климатическими изменениями (прежде всего с удлинением сезона с природными пожарами), так и с увеличением запаса углерода в наземной растительности [27].

Таким образом, отмечаемое и прогнозируемое потепление климата как на глобальном, так и на региональном уровнях однозначно приведет к увеличению количества лесных пожаров и площади выгорания в 21 веке по разным оценкам в 1,5-5 раз. Это обстоятельство необходимо обязательно учитывать при организации и проведении почвенных исследований, особенно в мерзлотно-таежной области криолитозоны.

Заключение

Леса Якутии, формирующиеся на мерзлотных почвах, характеризуются высокой горимостью, так как в них отмечаются большие запасы лесных горючих материалов (14,92-42,20 т/га). На долю мхов и лишайников, а также опада, относимых к проводникам горения I группы, приходится 33-57 % от общей массы лесных горючих материалов. Для Якутии доля грозовых пожаров в среднем составляет 49±3,8 %, а отношение площади грозовых пожаров к общей площади лесных пожаров ≈ 67±5 %. В данном регионе пожары в лесах сухих местопроизрастаний повторяются через 10-15 лет, в средневлажных – через 60-70 лет, сырых – через 100-150 лет. В течение 110-120 летнего периода действию огня подвергается вся исследуемая территория.

Основное число лесных пожаров на территории Якутии классифицируется как устойчивые низовые или подстилочно-гумусовые. В результате воздействия огня происходит полное уничтожение напочвенного покрова, полностью или частично выгорают поверхностные органогенные горизонты, и, как следствие, резко изменяется гидротермический режим почв.

Итоговые результаты исследований послепожарных изменений свойств мерзлотной дерново-карбонатной выщелоченной почвы Южной Якутии показали, что суммарное послепожарное уменьшение (на 21 см) мелкоземистой мощности данной почвы обусловлено в большей мере термопросадкой (46 % от общей потери мощности) почвенного мелкозема и в меньшей мере – его поверхностным смывом (28 %) и выгоранием (минерализацией) органогенной части почвенного профиля (26 %).

Сравнительный анализ результатов собственных наблюдений и литературных данных показал, что одновременно с активизацией геоморфологических процессов (термоэрозия, солифлюкция, поверхностный смыв), вызванных лесными пожарами, в мерзлотных ландшафтах наступает перерыв в почвообразовании. Этот процесс впоследствии продолжается на новом чехле делювиальных отложений и приводит к формированию автоморфных почв с полициклическим профилем, вмещающим один, два, а иногда и три погребенных деградированных послепожарных гумусовых горизонта с включениями черных древесных углей. Слоистость состава почвенных профилей исследованных почв и наличие в них погребенных послепожарных гумусовых горизонтов хорошо просматривается также по ряду других почвенных показателей и, прежде всего, по содержанию гумуса, погребенного органического вещества, валового N и по слоистости их гранулометрического состава.

В условиях гумидных горно-таежных ландшафтов и маломощных зональных почв смыв мелкозема в постпирогенный период может привести к полной утрате почвенного профиля и выходу на поверхность горных пород. В мерзлотной области Якутии, особенно в горных районах, лесные пожары оказывают негативное влияние на состояние почвенного покрова.

Литература

1. Чевычелов А.П. Пирогенез и горно-таежное континентальное гумидное почвообразование на Северо-Востоке Азии (на примере Южной Якутии). – Новосибирск: СО РАН, 1997. – 34 с.
2. Чевычелов А.П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв / А.П. Чевычелов // Сибирский экологический журнал. – 2002. – № 3. – С. 273-277.
3. Зольников В.Г. Почвы и природные зоны земли. – Л.: Наука, 1970. – 338 с.
4. Тихменев Е.А. Роль пирогенного фактора в формировании лесного покрова побережья Тайской губы (Охотское море) / Е.А. Тихменев, А.А. Пугачев, П.Е. Тихменев // Вестник Северо-Восточного государственного университета. – 2009. – том 11, № 11. – С. 85-91.
5. Сапожников А.П. Современные отечественные и зарубежные тенденции изучения пирогенеза почв мерзлотной зоны / А.П. Сапожников // География и природные ресурсы. – 1982. – № 1. – С. 88-94.
6. Арефьева З.Н. Динамика аммиачного и нитратного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах / З.Н. Арефьева, Б.П. Колесников // Почвоведение. – 1964. – № 3. – С. 30-46.
7. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова, В.В. Смирнов, Л.Е. Родин, Н.Т. Нечаева, Ф.И. Левин. – М.: Изд-во «Мысль», 1978. – 183 с.
8. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск, 1970. – С. 5-59.
9. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 272 с.
10. Исаев А.П. Естественная и антропогенная динамика лиственных лесов криолитозоны (на примере Якутии): автореф. дис. ... д.б.н.: 03.02.08 – Якутск: ИБПК СО РАН, 2011. – 51 с.
11. Уткин А.И. Леса Республики Саха (Якутия) – феномен таежного пояса северной Евразии / А.И. Уткин // Хвойные бореальные зоны. – 2006. – том XXIII, № 3. – С. 7-14.
12. Козлов В.И. Лесные пожары в Якутии от гроз / В.И. Козлов, В.А. Муллаяров, В.С. Соловьев // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2009. – том 6, № 2. – С. 388-393.
13. Тимофеев П.А. Леса Якутии: состав, ресурсы, использование и охрана. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 194 с.
14. Уткин А.И. Лесные биогеоценозы геокриогенной области как специфические системы / А.И. Уткин // Экология. – 1976. – № 3. – С. 15-22.
15. Протопопова В.В. Местная шкала пожарной опасности лесов по условиям погоды для Центральной Якутии / В.В. Протопопова // Наука и образование. – 2011. – № 2. – С. 74-77.
16. Тарабукина В.Г., Саввинов Д.Д. Влияние пожаров на мерзлотные почвы. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 120 с.
17. Лыткина Л.П. Лесовосстановление на горях Лено-Амгинского междуречья: Центральная Якутия. – Новосибирск: Наука, 2010. – 118 с.
18. Чевычелов А.П. Пирогенные трансформации свойств и состава мерзлотной палеовой серой почвы Центральной Якутии / А.П. Чевычелов // Наука и образование. – 2016. – № 1. – С. 95-100.
19. Коноровский А.К. Зональность и мерзлотность почв Якутии. – Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1990. – 44 с.
20. Коровин Г.Н., Зукерт Н.В. Влияние климатических изменений на лесные пожары в России // Климатические изменения: взгляд из России. – М.: ТЕИС, 2003. – 416 с.
21. Малевский-Малевиц С.П. К оценке изменений пожароопасной обстановки в лесах России при ожидаемом потеплении климата в XXI веке / С.П. Малевский-Малевиц, Е.К. Молькентин, Е.Д. Надежина, О.Б. Шкляревич // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 3. – С. 36-44.
22. Flannigan M.D., Van Wagner C.E. Climate change and wild fire in Canada // Can. J. Forest Rec. 1991. Vol. 21. P. 66-72.
23. Torn M.S., Fried J.S. Predicting the impact of global warming on wildland fire // Climatic change. 1992. Vol. 21. P. 257-274.
24. Kasishke E.S., Christensen N.L.Jr., Stocks B.J. Fire, global warming and the carbon balance of boreal forests // Ecol. Appl. 1995. Vol. 5. P. 437-451.
25. Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б. Климатические условия потенциальной горимости леса в России в XX и XXI веках // Труды ВНИ-ИГМИ-МЦД, 2007. – С. 137-151.
26. Думнов А.Д., Максимов Ю.И., Рошупкина Ю.В., Аксенова О.А. Лесные пожары в Российской Федерации (статистический справочник) / Под ред. А.Д. Думнова, Н.Г. Рыбальского. – М.: НИИ-Природа, 2005. – 229 с.
27. Елисеев А.В., Мохов И.И., Аржанов М.М. Климатические изменения XX-XXIII веков в Евразии при сценариях антропогенных воздействий RCP по расчетам с моделью ИФА РАН // Десятое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Тез. рос. конф. – Томск: Изд-во Агроф-Пресс, 2013. – С. 50-51.

References

1. CHEVYCHELOV A.P. Pirogenез i gorno-taezhnoe kontinental'noe gumidnoe pochvoobrazovanie na Severo-Vostoke Azii (na primere Yuzhnoj Yakutii). – Novosibirsk: SO RAN, 1997. – 34 s.
2. CHEVYCHELOV A.P. Pirogenез i postpirogennye transformacii svojstv i sostava merzlotnyh pochv / A.P. Chevychelov // Sibirskij ehkologicheskij zhurnal. – 2002. – № 3. – S. 273-277.
3. Zol'nikov V.G. Pochvy i prirodnye zony zemli. – L.: Nauka, 1970. – 338 s.
4. Tihmenev E.A. Rol' pirogennogo faktora v formirovanii lesnogo pokrova poberezh'ya Tajskoj guby (Ohotskoe more)/E.A. Tihmenev, A.A. Pugachev, P.E. Tihmenev // Vestnik Severo-Vostochnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2009. – tom 11, № 11. – S. 85-91.
5. Sapozhnikov A.P. Sovremennye otechestvennye i zarubezhnye tendencii izucheniya pirogeneza pochv merzlotnoj zony /A.P. Sapozhnikov // Geografiya i prirodnye resursy. – 1982. – № 1. – S. 88-94.
6. Aref'eva Z.N. Dinamika ammiachnogo i nitratnogo azota v lesnyh pochvah Zaural'ya pri vysokih i nizkih temperaturah / Z.N. Aref'eva, B.P. Kolesnikov // Pochvovedenie. – 1964. – № 3. – S. 30-46.
7. Metody izucheniya biologicheskogo krugovorota v razlichnyh prirodnyh zonah / N.I. Bazilevich, A.A. Titlyanova, V.V. Smirnov, L.E. Rodin, N.T. Nechaeva, F.I. Levin. – M.: Izd-vo «Mysl'», 1978. – 183 s.
8. Kupbatskij H.P. Issledovanie kolichestva i svojstv lesnyh gopyuchih matepialov // Voppsy lesnoj pipologii. – Krasnoyarsk, 1970. – S. 5-59.
9. Vorob'eva L.A. Himicheskij analiz pochv. – M.: Izd-vo MGU, 1998. – 272 s.
10. Isaev A.P. Estestvennaya i antropogennaya dinamika listvennichnyh lesov kriolitozony (na primere Yakutii): avtoref. dis. ... d.b.n.: 03.02.08 – Yakutsk: IBPK SO RAN, 2011. – 51 s.
11. Utkin A.I. Lesa Respubliki Saha (Yakutiya) – fenomen taezhnogo poyasa severnoj Evrazii / A.I. Utkin // Hvojnye boreal'nye zony. – 2006. – tom XXIII, № 3. – S. 7-14.
12. Kozlov V.I. Lesnye pozhary v Yakutii ot groz / V.I. Kozlov, V.A. Mullayarov, V.S. Solov'ev // Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa. – 2009. – tom 6, № 2. – S. 388-393.
13. Timofeev P.A. Lesa Yakutii: sostav, resursy, ispol'zovanie i ohrana. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2003. – 194 s.
14. Utkin A.I. Lesnye biogeocenozy geokriogennoj oblasti kak specificheskie sistemy / A.I. Utkin // Ehkologiya. – 1976. – № 3. – S. 15-22.
15. Protopopova V.V. Mestnaya shkala pozharnoj opasnosti lesov po usloviyam pogody dlya Central'noj Yakutii / V.V. Protopopova // Nauka i obrazovanie. – 2011. – № 2. – S. 74-77.
16. Tarabukina V.G., Savvinov D.D. Vliyanie pozharov na merzlotnye pochvy. – Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1990. – 120 s.
17. Lytkina L.P. Lesovosstanovlenie na garyah Leno-Amginskogo mezhdurech'ya: Central'naya Yakutiya. – Novosibirsk: Nauka, 2010. – 118 s.
18. CHEVYCHELOV A.P. Pirogennye transformacii svojstv i sostava merzlotnoj palevoj seroj pochvy Central'noj Yakutii / A.P. Chevychelov // Nauka i obrazovanie. – 2016. – № 1. – S. 95-100.
19. Konorovskij A.K. Zonal'nost' i merzlotnost' pochv Yakutii. – Yakutsk: YANC SO AN SSSR, 1990. – 44 s.
20. Korovin G.N., Zukert N.V. Vliyanie klimaticheskikh izmenenij na lesnye pozhary v Rossii // Klimaticheskije izmeneniya: vzglyad iz Rossii. – M.: TEIS, 2003. – 416 s.
21. Malevskij-Malevich S.P. K ocenke izmenenij pozharoopasnoj obstanovki v lesah Rossii pri ozhidaemom potepenii klimata v XXI veke / S.P. Malevskij-Malevich, E.K. Mol'kentin, E.D. Nadezhina, O.B. Shklyarevich // Meteorologiya i gidrologiya. – 2005. – № 3. – S. 36-44.
22. Flannigan M.D., Van Wagner C.E. Climate change and wild fire in Canade // Can. J. Forest Rec. 1991. Vol. 21. P. 66-72.
23. Torn M.S., Fried J.S. Predicting the impact of global warming on wildland fire // Climatic change. 1992. Vol. 21. P. 257-274.
24. Kasishke E.S., Christensen N.L.Jr., Stocks B.J. Fire, global warming and the carbon balance of boreal forests // Ecol. Appl. 1995. Vol. 5. P. 437-451.
25. SHERSTYUKOV B.G., SHERSTYUKOV A.B. Klimaticheskije usloviya potencial'noj gorimosti lesa v Rossii v XX i XXI vekah // Trudy VNI-IGMI-MCD, 2007. – S. 137-151.
26. Dumnov A.D., Maksimov Yu.I. Roshchupkina Yu.V., Aksenova O.A. Lesnye pozhary v Rossijskoj Federacii (statisticheskij spravochnik) / Pod red. A.D. Dumnova, N.G. Rybal'skogo. – M.: NIA-Priroda, 2005. – 229 s.
27. Eliseev A.V., Mohov I.I., Arzhanov M.M. Klimaticheskije izmeneniya XX-XXIII vekov v Evrazii pri scenariyah antropogennyh vozdejstvij RCP po raschetam s model'yu IFA RAN // Desyatoe sibirskoe soveshchanie po klimato-ehkologicheskomu monitoringu: Tez. ros. konf. – Tomsk: Izd-vo Agrof-Press, 2013. – S. 50-51.