 © Авторы статьи / Authors of the article

ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ, ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ/FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY, LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.43 EDN: WHXKXE

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОЧАГОВ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Научная статья

Куксин Г.В.[1], Секерин И.М.[2], Залесов С.В.[3,] *

[2] ORCID : 0000-0003-3493-4322;

[3] ORCID : 0000-0003-3779-410X;

[1, 2, 3] Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Предложена: 29.01.2024; Принята: 16.02.2024; Опубликована: 18.03.2024

Аннотация

Собраны экспериментальные данные о развитии торфяных пожаров в зимний период. Установлено, что зимующие пожары не развивались на участках, где уровень грунтовых вод в осенний период был расположен выше, чем в 60 см от поверхности почвы. Условиями, способствующими развитию зимних очагов тления и их переходу в следующий сезон, являются: осенний уровень грунтовых вод, расположенный ниже, чем в 60-70 см от поверхности почвы, задернованная почва над очагами, корни деревьев, закрывающие зимующие очаги от осадков и создающие условия для активного почвенного горения (зона вокруг корней наиболее осушена корневыми волосками и разрыхлена корнями), уплотненный грунт над очагами, например, полотно дороги. Длительные (в течение более 60 дней) наблюдения за действующими очагами тления при помощи фотоловушек, позволили установить, что такие очаги при усилении морозов стремятся принять форму с энергетически наиболее выгодным соотношением объема и площади поверхности – приближенную к окружности по поверхности и к сфере в глубине почвы. Также для лесной зоны подтверждено наблюдениями, что очаги, вырабатывая в течение длительного времени (несколько недель) все топливо под корнями одного дерева, по корневой системе относительно быстро (за несколько дней) переходят под корни следующего дерева, где снова приобретают максимально сферическую форму. Данные измерений влажности торфа, в примыкающем к зимующим очагам тления слоях, показали, что очаги тления подсушивают их до влажности ниже 300% по массе сухого вещества, что создает условия для тления. Сделано предположение о том, что в зимний период из-за обычного для осушенных болот зимнего падения уровня грунтовых вод, вода, испаренная торфяным очагом в примыкающей к нему зоне (так называемой зоне подсушки), не восполняется фильтрацией в грунте. Таким образом, очаг в зимнее время получает более благоприятные возможности развития в глубину. На основании полученных результатов исследования сделан вывод о недостаточной изученности проблемы зимующих торфяных пожаров, сформулированы задачи для следующего этапа исследования.

Ключевые слова: торфяной пожар, тление, зимний период, уровень грунтовых вод, ликвидация.

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF PLOT FIRES IN WINTER

Research article

Kuksin G.V.[1], Sekerin I.M.[2], Zalesov S.V.[3,] *

[2] ORCID : 0000-0003-3493-4322;

[3] ORCID : 0000-0003-3779-410X;

[1, 2, 3] Ural State Forestry Engineering University, Ekaterinburg, Russian Federation

* Corresponding author (zalesovsv[at]m.usfeu.ru)

Suggested: 29.01.2024; Accepted: 16.02.2024; Published: 18.03.2024

Abstract

The article touches upon the data on the development of plot fires in winter. It was established that winter fires develop in the area where the groundwater level was located higher than 60 cm from the soil surface in autumn. Conditions conductive to the development of winter foci of decay and their transition to the next season are: autumn groundwater level located lower than 60-70 cm from the soil surface, turfed soil above the fires tree roots covering wintering areas from precipitation and creating conditions for active soil combustion (the area around the roots is the most drained by root hairs and loosened by roots), compacted soil over hot spots, e.g. roadbed. Long (for more than 60 days) observation of active smouldering sources made it possible to establish that sources under frost strengthening strive to take a form with the most energetically favorable ratio of volume and surface area of the soil, approximated to the circle on the fur face and the sphere in the depth. Also for the forest zone, it is confirmed by observations that the outbreaks having produced all the full under the roots of one tree over the course of several weeks over the roots' system, relatively quickly in a few days pass under the roots of the next tree where they again acquire the most spherical shape measuring data on the importance of soil moisture measurements adjacent to winter smouldering centers showed that the smouldering areas are dried the adjacent layers of plot to a moisture content below 300% based on the mass of dry matter that creates the conditions for the smouldering adjacent plot layers. It as assumed that in winter due to the usual winter drop in groundwater levels for drained swamps, the water evaporated by plot center in the adjacent

 © Авторы статьи / Authors of the article

zone (the so-called drying zone) is not replenished by filtration in the ground. Based on the research results obtained, it was concluded that the problem of wintering plot fires has been insufficiently studied, there have been formulated the task for the next stage of research.

Keywords: plot fire, smouldering, winter season, groundwater level, liquidation.

Введение

Меняющиеся климатические условия повышают продолжительность пожароопасного сезона, а также увеличивают вероятность развития беглых низовых пожаров в торфяные или почвенные [1], [2], [3], [4]. Последние могут тлеть не только в течение всего зимнего периода (рис. 1), но и в течение нескольких лет. Не случайно в зарубежных источниках зимующие торфяные пожары называют «зомби пожарами». Особенно опасны данные пожары на осушенных, но в дальнейшем заброшенных торфяниках. Площадь последних только в Свердловской области превышает 80 тыс. га [5]. При этом минимизация ущерба от торфяных пожаров может быть обеспечена при условии их своевременного обнаружения и продуманной технологии выполнения работ по их ликвидации [6], [7]. Особенно важно осуществлять тушение торфяных пожаров в зимний период, поскольку эффективность тушения в этот период возрастает. Кроме того, если указанные пожары до весны не будут потушены, то они могут развиться в низовые, а затем даже в верховые и существенно осложнят пожарную обстановку на следующий год. В то же время, разработка рекомендаций по тушению торфяных пожаров в зимний период сдерживается недостатком данных о специфике тления торфа при минусовых температурах на поверхности торфяной залежи [8], [9].

Рисунок 1 - Торфяной пожар, тлеющий в зимний период
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.43.1

Описание возникновения и развития торфяных пожаров и общие подходы к их ликвидации изложены в работах Е.С. Арцыбашева [10].

С начала XX века вопросы горения торфа и торфяного кокса, влияние влажности и зольности топлива на температуру и режим сжигания таких видов топлива исследовались учеными [11]. Свойствам торфа как топлива было посвящено множество научных работ, которые легли в основу методов получения более качественного (прежде всего более сухого) топлива [12], [13], но эти работы затрагивали в первую очередь торф как продукт добычи и переработки, а не как природный лесной горючий материал.

Горение торфа при пожарах в советский период рассматривалось прежде всего для двух категорий случаев: при тушении пожаров в местах добычи, когда основное внимание уделялось тушению фрезерной торфяной крошки в расстиле, а также тушению горящих караванов (отсюда идут рекомендации про тушение распыленной водой, пеной, расчеты расхода воды для остановки кромки такого пожара и т.п.), а также для случаев лесных торфяных пожаров, когда горит почва, покрытая другими видами лесных горючих материалов. Различия в этих случаях и, соответственно, в предлагаемых подходах, во многом определили и различия в последующих направлениях исследований.

На настоящий момент свойства торфа как топлива для природных пожаров описаны достаточно подробно. Известен химический состав растений-торфообразователей [14]. Макро- и микроэлементный состав торфов довольно разнообразен и сильно зависит от вида торфа, от особенностей его водного питания. Низинные торфяники значительно богаче по составу микроэлементов, чем верховые. Все это отчасти может влиять и на свойства торфа как топлива [15]. Но диапазон возможных вариантов хорошо изучен и основные свойства торфа как топлива зависят прежде всего от его влажности, плотности, зольности. В лабораторных условиях изучены физико-химические процессы происходящие при различных фазах горения различных видов торфа [16]. Созданы математические модели развития торфяных пожаров [17]. Изучено влияние состава, зольности, плотности, влажности торфа на особенности

 © Авторы статьи / Authors of the article

его горения как в беспламенном режиме (тление), так и в пламенном режиме (в потоке воздуха). Установлено, что минимальные значения влажности (около 7%) могут увеличивать способность торфа загораться от источника внешнего огня за счет увеличения теплопроводности в сравнении с абсолютно сухим торфом, но дальнейшее увеличение влажности, напротив, ведет как к резкому снижению вероятности воспламенения, так и к снижению удельной теплоты сгорания, то есть снижает вероятность высушивания примыкающих слоев торфа [16]. В лабораторных экспериментах по изучению горения и тления торфа под наблюдением тепловизионных камер установлено [18], что критически важными факторами для зажигания торфа является влажность и температура образцов. Понижение температуры и повышение влажности приводило к тому, что образцы не воспламенялись и не поддерживали тление под воздействием источников тепла и теплового излучения, которые при более высокой температуре и низкой влажности приводили к горению. Влажность образцов, при которой процесс тления останавливался, составляла около 300%. Также в ходе экспериментов установлено, что торф при отсутствии внешнего окислителя (кислорода в составе воздуха) не воспламеняется и не поддерживает горение даже при воздействии на него источника высокой температуры. Например, в атмосфере инертного газа стандартный источник зажигания не может воспламенить образец торфа. Таким образом, можно считать, что содержащегося в составе торфа воздуха (как в клеточной структуре неразложившихся растительных остатков, так и заполненных воздухом порах почвы) недостаточно для возникновения или поддержания тления в торфе торфяников бореальной зоны. Определены основные фазы подсушки, пиролиза и горения. Изучены процессы высыхания торфа до достижения значений, при которых любой внешний источник огня может привести к воспламенению торфа. При этом в ходе работ отмечалась очень большая роль размера исследуемого образца торфа на его теплопроводность, влагообмен и воздухообмен [19]. Таким образом, можно утверждать, что, применяя данные лабораторных экспериментов к реальным природным объектам, нужно учитывать множественные дополнительные факторы, одновременно и разнонаправленно действующие на объект исследования (суточные колебания температуры и влажности, микрорельеф, воздействие животных и людей на плотность напочвенного покрова и т.п).

При этом известно, что торф мощный водопоглотитель, 1 кг сухого вещества торфа может удержать до 15 кг воды, то есть колебания его возможной влажности лежат в очень широком диапазоне [20]. Влагометрии торфа посвящено множество научных работ. Научно обоснованы несколько способов определения влажности торфа. В настоящей работе, говоря о влажности торфа как о характеристике, влияющей на возможность его воспламенения, на протекающие в процессе пиролиза и горения реакции и на удельную теплотворность торфа, мы будем говорить прежде всего о массовой влажности (абсолютной влажности) торфа, рассчитанной как отношение массы воды в пробе к массе сухого вещества в соответствии с ГОСТом [22]. Кроме этого, в некоторых случаях, говоря о влажности как характеристике торфяной залежи или какого-то слоя в осушенном или неосушенном болоте, мы будем использовать понятие относительная влажность или такие понятия как предельная влагоемкость почвы.

Цель исследований – анализ специфики развития очагов тления в зимний период для повышения эффективности их ликвидации.

Объекты и методики исследований

В основу исследований положен анализ торфяных пожаров не на действующих торфопредприятиях, а на заброшенных осушенных торфяниках, поскольку характер пожаров существенно изменился с прекращением массовой добычи торфа. В подавляющем большинстве случаев в России при торфяных пожарах, действующих в условиях заброшенных бывших торфоразработок, горит не свежедобытый и измельченный торф, а торфяная залежь.

Исходя из цели исследований, в качестве основных объектов были использованы осушенные торфяники, расположенные в Свердловской области, с доминированием верхового торфа. На части опытных объектов произрастали сосновые насаждения V класса бонитета. Все 28 обследованных торфяных пожаров расположены в Средне-Уральском таежном лесном районе. Исследования особенностей их развития проводились при разведке и тушении. Способ тушения указанных пожаров подробно описан в ранее опубликованных работах [5], [8], [9].

В целях создания методов эффективной профилактики и тушения «зомби-пожаров» (зимующих, потенциально транссезонных торфяных пожаров) требуются теоретические и экспериментальные исследования, направленные на выявление особенностей их развития, установление параметров факторов, влияющих на прекращение тления в зимних условиях или, наоборот, способствующих сохранению тления в очагах таких пожаров до следующего пожароопасного сезона.

На основе наблюдений и инструментальных измерений требовалось получить необходимые данные об особенностях развития очагов тления торфа в зимний период, о влиянии на развитие очагов тления таких факторов как глубина снегового покрова, уровень грунтовых вод, температура воздуха, влажность торфа, наличие уплотненной почвы и корней деревьев над очагом тления для последующего создания научно обоснованных методик профилактики и тушения транссезонных торфяных пожаров и предотвращения их перехода в следующий пожароопасный сезон.

В ходе исследования применен сравнительный и описательный методы анализа и изложения методов выявления и обследования зимующих торфяных пожаров, их характеристик, а также результатов научных трудов исследователей, посвятивших свои работы рассматриваемой проблеме.

При наземном обследовании торфяных пожаров, тлеющих в зимний период, ставились задачи верификации данных, полученных по космическим снимкам и по итогам работы беспилотных летательных аппаратов (БЛА) с тепловизором, а также задачи измерения размеров очагов, их глубины, температуры, уровня грунтовых вод под очагами, влажности торфа в примыкающей к очагам зоне, глубины снегового покрова, описание особенностей нависающих над очагами участков почвы.

Измерение глубины очагов тления торфа проведено с использованием торфяных щупов-термометров. Температура в очагах тления оценивалась ручными тепловизорами и пирометрами, влажность предварительно влагомерами ИВ-4 и

 © Авторы статьи / Authors of the article

в лабораторных условиях уточнялась взвешиванием образцов после высушивания в соответствии с ГОСТом. Глубина снегового покрова измерялась мерной рейкой и рулеткой.

Для пожаров 2002-2021 годов, которые анализировались ретроспективно, по имеющимся данным, анализировались отчеты и воспоминания участников тушения, а также фото, видео съемка, треки из навигаторов и другая доступная информация, по которой можно было объективно установить искомые параметры.

Результаты и обсуждение

В результате исследования собраны экспериментальные данные о некоторых особенностях развития торфяных пожаров в зимний период, определены параметры условий, позволяющие делать предположения о том, каков риск того, что зимующий пожар перейдет действующим в следующий пожароопасный сезон и даст начало новым ландшафтным пожарам на поверхности почвы.

Установлено, что зимующие пожары не развивались на участках, где уровень грунтовых вод в осенний период был расположен выше, чем в 60 см от поверхности почвы.

При развитии зимующих пожаров под сформировавшимся древостоем, на площадях, где после обгорания корней происходил вывал деревьев, горение прекращалось и очаги не смогли пережить зимний период.

Условиями, способствующими развитию зимних очагов тления и их переходу в следующий сезон, являются:

- осенний уровень грунтовых вод, расположенный ниже 70 см от поверхности почвы,
- задернованная почва над очагами,
- корни деревьев, закрывающие зимующие очаги от осадков,
- уплотненный грунт над очагами, например, полотно дороги (рис. 2).

Рисунок 2 - Очаги под полотном грунтовой дороги
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.43.2

Длительные (в течение более 60 дней) наблюдения за действующими очагами тления при помощи фотоловушек, позволили выявить некоторые особенности развития таких очагов в зимнее время. В частности, по данным фотоловушек, установленных на зимующих очагах тления при усилении морозов они стремятся принять форму с энергетически наиболее выгодным соотношением объема и площади поверхности - приближенную к окружности по поверхности и к сфере в глубине почвы. При этом очаги до 3,5 м заглублялись в нижние слои торфа. Также для лесной зоны подтверждено наблюдениями, что очаги, вырабатывая в течение длительного времени (несколько недель) все топливо под корнями одного дерева, относительно быстро (за несколько дней) переходят под корни следующего дерева, где снова приобретают максимально сферическую форму. Впоследствии с наступлением весенних оттепелей до схода снежного покрова, эти очаги языками распространялись на расстояние до 30 метров вглубь площади, занятой древостоем (рис. 3, 4).

 © Авторы статьи / Authors of the article

Рисунок 3 - Расползание языков перезимовавших торфяных пожаров в марте
DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.141.43.3

Данные измерений влажности торфа в слоях, примыкающих к зимующим очагам тления, показали, что очаги тления подсушивают примыкающие слои торфа до влажности ниже 300% по массе сухого вещества, что создает условия для тления. Сделано предположение о том, что в зимний период из-за обычного для осушенных болот зимнего падения уровня грунтовых вод, вода, испаренная торфяным очагом в примыкающей к нему зоне (так называемой зоне подсушки), не восполняется фильтрацией в грунте. Таким образом, очаг в зимнее время получает более благоприятные возможности развития в глубину. Также, на основании наблюдений за поведением очагов при их тушении подтоплением, сделано предположение, требующее дальнейшей проверки, о том, что именно момент восстановления фильтрации воды в почве и подъем уровня грунтовых вод ближе к поверхности почвы, в том числе на уровень действующих очагов в весенний период, может за счет образования и движения пара приводить к возникновению открытого горения на поверхности почвы, что становится причиной развития низового лесного или иного ландшафтного пожара в новом пожароопасном сезоне.

На основании полученных результатов исследования сделан вывод о необходимости дальнейшего изучения проблемы зимующих торфяных пожаров для выработки оптимальных способов их предотвращения и тушения, сформулированы задачи для следующего этапа исследования. В частности, очень важным и перспективным представляется разработка научно обоснованного метода прогнозирования поведения зимующего торфяного пожара в зависимости от условий, в которых он действует (прогнозируемого уровня грунтовых вод, рельефа, плотности грунта над краями очага и т.п.) для выбора оптимальной технологии его тушения.

Заключение

1. Изменения климата, наблюдающиеся в последние годы, способствуют увеличению доли торфяных пожаров за счёт развития в них устойчивых низовых на участках с торфяными почвами.
2. Наиболее опасны, в плане развития торфяных пожаров, заброшенные осушенные торфяники.
3. Специфика горения торфяных пожаров обуславливает возможность их тления в течение круглого года и даже нескольких лет.
4. Особенности горения торфа в лабораторных условиях, а также добытого торфа, достаточно хорошо изучены и разработаны рекомендации по эффективному тушению последнего. При этом процессы тления в заброшенных осушенных торфяниках изучены недостаточно.
5. Установлено, что в зимний период торфяной пожар приближается по форме к окружности по поверхности и к сфере в глубине торфяной залежи.
6. Перезимовавшие торфяные пожары на участках с древесной растительностью распространяются языками вдоль корней деревьев.
7. Развитию торфяных пожаров в зимний период способствуют низкий уровень грунтовых вод осенью, задернение поверхности почвы, наличие древесной растительности и уплотнение почвы над очагами тления.
8. В целях совершенствования методов тушения торфяных пожаров в зимний период необходимо продолжение исследований факторов, влияющих на их распространение.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Список литературы / References

1. Швиденко А.З. Климатические изменения и лесные пожары в России / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепащенко // Лесоведение. — 2013. — № 5. — С. 50-61.

2. Залесов С.В. Лесная пирология. Термины, понятия, определения / С.В. Залесов, Е.С. Залесова. — Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2014. — 54 с.

3. Залесов С.В. Пожары и их последствия в Западной Сибири / С.В. Залесов, Е.П. Платонов, Е.Ю. Платонов. — Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. — 191 с.

4. Ерицов А.М. Особенности пожароопасного сезона 2022 года в Курганской области / А.М. Ерицов, И.М. Секерин, А.А. Кректунов [и др.] // Лесной вестник. — 2023. — Т. 27. — № 4. — С. 73-80. — DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80.

5. Секерин И.М. Эффективный способ тушения торфяных пожаров в зимний период / И.М. Секерин, А.М. Ерицов, А.А. Кректунов [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. — 2023. — Вып. 245. — С. 23-35. — DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.23-35.

6. Залесов С.В. Обнаружение и тушение лесных пожаров / С.В. Залесов, М.П. Миронов. — Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. — 138 с.

7. Залесов С.В. Лесная пирология / С.В. Залесов. — Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2021. — 396 с.

8. Секерин И.М. Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период / И.М. Секерин, Г.А. Годовалов, А.М. Ерицов [и др.] // Лесной вестник. — 2023. — Т. 26. — № 5. — С. 64-70. — DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-64-70.

9. Секерин И.М. Опыт тушения торфяных пожаров на Среднем Урале / И.М. Секерин, А.М. Ерицов, А.А. Кректунов [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2022. — № 5 (199). — Ч. 2. — С. 81-85. — DOI: doi.org/10.23670/IRJ.2022.119.5.014.

10. Арцыбашев Е.С. Лесные пожары и борьба с ними / Е.С. Арцыбашев. — М.: Лесная промышленность, 1974. — 152 с.

11. Гаврилов Н.Н. О воспламенении торфа и торфяного кокса / Н.Н. Гаврилов, М.М. Журавлева // Труды научно-исследовательского торфяного института. — М.: Гос. н.-техн. изд-во, 1931. — Вып. 6. — С. 18-27.

12. Горфин О.С. Технология переработки торфа / О.С. Горфин, В.С. Зайцев. — М.: Недра, 1983. — 143 с.

13. Наумович В.М. Искусственная сушка торфа / В.Н. Наумович. — М.: Недра, 1984. — 115 с.

14. Раковский В.Е. Химия и генезис торфа / В.Е. Раковский, Л.В. Пигулевская. — М.: Недра, 1978. — 31 с.

15. Езупенов Е.Э. Макро- и микроэлементный состав торфов южно-таежной подзоны Западной Сибири / Е.Э. Езупенов // Химия растительного сырья. — 2003. — № 3. — С. 21-28.

16. Гришин А.М. Экспериментальное исследование процессов зажигания и горения торфа / А.М. Гришин, А.М. Голованов, Я.В. Сухов [и др.] // Инженерно-физический журнал. — 2006. — Т. 79. — № 3. — С. 1-6.

17. Гришин А.М. Общие математические модели лесных и торфяных пожаров и их приложения / А.М. Гришин // Успехи механики. — 2002. — Т. 1. — № 4. — С. 41-89.

18. Кузнецов В.Т. Экспериментальное исследование воспламенения торфа под воздействием лучистой энергии / В.Т. Кузнецов, Е.Л. Лобода // Физика горения и взрыва. — 2010. — Т. 46. — № 6. — С. 86-92.

19. Борисов А.А. Экспериментальное исследование и математическое моделирование торфяных пожаров / А.А. Борисов, А.Л. Борисов, Р.С. Горелик // Теплофизика лесных пожаров. — Новосибирск: ИФТСО АН СССР, 1984. — С. 5-22.

20. Наумович В.М. Искусственная сушка торфа / В.М. Наумович. — М.: Недра, 1984. — 130 с.

21. Гатих М.А. Влагометрия торфа / М.А. Гатих, Л.С. Лис. — Минск: Наука и техника, 1986. — 238 с.

22. ГОСТ 5180-84 Межгосударственный стандарт «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик»

Список литературы на английском языке / References in English

1. Shvidenko A.Z. Klimaticheskie izmeneniya i lesnye pozhary v Rossii [Climatic Changes and Forest Fires in Russia] / A.Z. Shvidenko, D.G. Shchepashchenko // Lesovedenie [Forest Science]. — 2013. — No. 5. — p. 50-61. [in Russian]

2. Zalesov S.V. Lesnaya pirologiya. Terminy, ponyatiya, opredeleniya [Forest Pyrology. Terms, Concepts, Definitions] / S.V. Zalesov, E.S. Zalesova. — Yekaterinburg: Ural State Forestry Engineering. Univ., 2014. — 54 p. [in Russian]

3. Zalesov S.V. Pozhary i ih posledstviya v Zapadnoj Sibiri [Fires and Their Consequences in Western Siberia] / S.V. Zalesov, E.P. Platonov, E.Y. Platonov. — Yekaterinburg: USLTU, 2022. — 191 p. [in Russian]

4. Yeritsov A.M. Osobennosti pozharoopasnogo sezona 2022 goda v Kurganskoj oblasti [Features of the 2022 Fire Season in the Kurgan Region] / A.M. Yeritsov, I.M. Sekerin, A.A. Krektunov et al. // Forestry Bulletin. — 2023. — Vol. 27. — No. 4. — p. 73-80. — DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-73-80. [in Russian]

5. Sekerin I.M. Effektivnyj sposob tusheniya torfyanyh pozharov v zimnij period [An Effective Way to Extinguish Peat Fires in Winter] / I.M. Sekerin, A.M. Yeritsov, A.A. Krektunov [et al.] // Izvestiya Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoj akademii [Proceedings of St. Peters-burg Forestry Academy]. — 2023. — Issue 245. — p. 23-35. — DOI: 10.21266/2079-4304.2023.245.23-35. [in Russian]

6. Zalesov S.V. Obnaruzhenie i tushenie lesnyh pozharov [Detection and Extinguishing of Forest Fires] / S.V. Zalesov, M.P. Mironov. — Yekaterinburg: Ural State Forestry Engineering. Univ., 2004. — 138 p. [in Russian]

7. Zalesov S.V. Lesnaya pirologiya [Forest Pyrology] / S.V. Zalesov. — Yekaterinburg: Ural State Forestry Engineering. Univ., 2021. — 396 p. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

8. Sekerin I.M. Specifika rasprostraneniya i tusheniya torfyanyh pozharov v zimnij period [Specificity of the Spread and Extinguishing of Peat Fires in Winter] / I.M. Sekerin, G.A. Godovalov, A.M. Yeritsov [et al.] // Forestry Bulletin. — 2023. — Vol. 26. — No. 5. — p. 64-70. — DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-64-70. [in Russian]

9. Sekerin I.M. Opyt tusheniya torfyanyh pozharov na Srednem Urale [The Experience of Extinguishing Peat Fires in the Middle Urals] / I.M. Sekerin, A.M. Yeritsov, A.A. Krektunov [et al.] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Scientific Research Journal]. — 2022. — No. 5 (199). — Part 2. — p. 81-85. — DOI: 10.23670/IRJ. 2022. 119.5.014 [in Russian]

10. Artsybashev E.S. Lesnye pozhary i bor'ba s nimi [Forest Fires and Their Control] / E.S. Artsybashev. — M.: Forest industry, 1974. — 152 p. [in Russian]

11. Gavrilov N.N. O vosplamenenii torfa i torfyanogo koksa [On the Ignition of Peat and Peat Coke] / N.N. Gavrilov, M.M. Zhuravleva // Trudy nauchno-issledovatel'skogo torfyanogo instituta [Proceedings of the Scientific Research Peat Institute]. — M.: State Scientific and Technical Institute. Publishing house, 1931. — Issue. 6. — P. 18-27. [in Russian]

12. Gorfin O.S. Tekhnologiya pererabotki torfa [Technology of Peat Processing] / O.S. Gorfin, V.S. Zaitsev. — M.: Nedra, 1983. — 143 p. [in Russian]

13. Naumovich V.M. Iskusstvennaya sushka torfa [Artificial Peat Drying] / V.N. Naumovich. — M.: Nedra, 1984. — 115 p. [in Russian]

14. Rakovsky V.E. Himiya i genezis torfa [Chemistry and Genesis of Peat] / V.E. Rakovsky, L.V. Pigulevskaya. — M.: Nedra, 1978. — 31 p. [in Russian]

15. Yezupenov E.E. Makro- i mikroelementnyj sostav torfov yuzhno-taezhnoj podzony Zapadnoj Sibiri [Macro- and Microelement Composition of Peat in the South Taiga Subzone of Western Siberia] / E.E. Yezupenov // Himiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Raw Materials]. — 2003. — No. 3. —p. 21-28. [in Russian]

16. Grishin A.M. Eksperimental'noe issledovanie processov zazhiganiya i goreniya torfa [Experimental Study of Peat Combustion and Combustion Processes] / A.M. Grishin, A.M. Golovanov, Ya.V. Sukhov [et al.] // Inzhenerno-fizicheskij zhurnal [Engineering and Physics Journal]. — 2006. — Vol. 79. — No. 3. — p. 1-6. [in Russian]

17. Grishin A.M. Obshchie matematicheskie modeli lesnyh i torfyanyh pozharov i ih prilozheniya [General Mathematical Models of Forest and Peat Fires and Their Applications] / A.M. Grishin // Uspekhi mekhaniki [Successes of Mechanics]. — 2002. — Vol. 1. — No. 4. — p. 41-89. [in Russian]

18. Kuznetsov V.T. Eksperimental'noe issledovanie vosplameneniya torfa pod vozdejstviem luchistoj energii [Experimental Investigation of Peat Ignition under the Influence of Radiant Energy] / V.T. Kuznetsov, E.L. Loboda // Fizika goreniya i vzryva [Physics of Burning and Explosion]. — 2010. — Vol. 46. — No. 6. — p. 86-92. [in Russian]

19. Borisov A.A. Eksperimental'noe issledovanie i matematicheskoe modelirovanie torfyanyh pozharov [Experimental Research and Mathematical Modeling of Peat Fires] / A.A. Borisov, A.L. Borisov, R.S. Gorelik // Teplofizika lesnyh pozharov [Thermophysics of Forest Fires]. — Novosibirsk: IFTSO of the USSR Academy of Sciences, 1984. — p. 5-22. [in Russian]

20. Naumovich V.M. Iskusstvennaya sushka torfa [Artificial Peat Drying] / V.M. Naumovich. — M.: Nedra, 1984. — 130 p. [in Russian]

21. Gatikh M.A. Vlagometriya torfa [Moisture Measurement of Peat] / M.A. Gatikh, L.S. Lis. — Minsk: Science and Technology, 1986. — 238 p. [in Russian]

22. GOST 5180-84 Mezhgosudarstvennyj standart «Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskih harakteristik» [GOST 5180-84 Interstate standard "Soils. Methods of Laboratory Determination of Physical Characteristics"] [in Russian]