

Проблемы борьбы с пожарами в лесах Севера

Л.Н. Бердникова

Красноярский государственный аграрный университет, Мира, 90, Красноярск, Россия

Vlaga26@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1132-9296>

Статья поступила 26.03.2021, принята 10.04.2021

В статье рассмотрено, что леса на вечной мерзлоте отличаются специфическими для этих мест пирологическими свойствами, спровоцированными пониженными темпами естественного разложения органики и, как следствие, увеличением количества запасов лесных горючих материалов в 3 - 5 раз по сравнению с лесами, произрастающими за пределами криолитозоны. В статье установлено, что тушение природных пожаров в районах вечной мерзлоты по общепринятым, не учитывающим специфику данного региона технологиям, наносит окружающей среде вред, соизмеримый с вредом от самого пожара и часто значительно его превосходящий. Так же установлено, что развитие термокарста вокруг потушенного пожарища при расположении его на участке со склоном более 8-15° приводит к перемещению континентальных почв лесных массивов вниз по склону в границах полосы заградительной (солифлюкция). Из статьи следует, что тушение лесных пожаров в пределах криолитозоны необходимо осуществлять на ранних стадиях его развития при максимально быстром прибытии бригады лесных пожарных, оснащённых высокопроизводительными техническими средствами, адаптированными к работе в условиях многолетней мерзлоты.

Ключевые слова: лес, пожар, мерзлота, тушение, почвенный покров, технологии, агрегат, термокарст, заградительные полосы.

Problems of fire control in the forests of the north

L.N. Berdnikova

Krasnoyarsk State Agrarian University; 90, Mira Ave., Krasnoyarsk, Russia

Vlaga26@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1132-9296>

Received 26.03.2021, accepted 10.04.2021.2021

The article discusses that forests on the permafrost differ in the pyrological properties specific for these places, which is provoked by the reduced pace of natural decomposition of the organics and, as a result, an increase in the number of stocks of forest combustible materials in 3-5 times compared to forests growing outside of the permafrost. The article establishes that the extinguishing of natural fires in the regions of the permafrost on generally accepted, not taking into account the specifics of the region technologies, damages the environment. This damage is equal to the fire itself and often significantly exceeds it. It is determined that the development of a thermokarst around the extinguished fire, when it is located on a site with a slope more than 8-15°, leads to the movement of continental soils of forest arrays down the slope within the fire lines (solifluction). The article concludes that the extinguishing of forest fires within the cryolitozone needs to be carried out in the early stages of its development with the rapid arrival of the brigade of forest fire-fighters equipped with high-performance technical means adapted to work in the permafrost conditions.

Keywords: forest, fire, permafrost, extinguishing, soil cover, technologies, aggregate, thermokarst, fire lines.

Введение. На площадь земель, охваченных многолетней мерзлотой, приходится около 64 % территории Российской Федерации (17 125 191 км²), из них 815 млн. га покрыто лесами. Эта часть северной лесной зоны, с преобладающим распространением хвойных лесов (бореальные леса), является зоной с высокой уязвимостью в экологическом плане и подразумевает проведение особых мероприятий по их сохранению [1].

Бореальные леса криолитозоны РФ имеют запас стволовой древесины более 20 млрд. м³, но, кроме источника сырья, они являются естественным регулятором биологического климата и природной среды, поддерживающим экологическим каркасом весьма экологически неустойчивое равновесие Севера Евразии. На вечной мерзлоте более 80 % лесом покрытых земель -

преобладающие лиственничные насаждения, которые регулируют теплообмен между почвой, мёрзлой литосферой и атмосферой, участвуют в круговороте влаги, поглощают СО₂ и вырабатывают кислород, аккумулируют огромный запас углерода, что свидетельствует об их существенной роли в углеродном балансе. Эти леса являются исторически сложившейся для коренного населения Крайнего Севера средой проживания, источником получения материалов для обеспечения их теплом, пищей, одеждой и средствами передвижения [2]. Согласно новой парадигме устойчивого управления лесами, лес и проживающее в нём население являются одной целой экосистемой и должны соответственно рассматриваться в совокупности.

Проблемы тушения пожаров в лесах севера. Леса в зоне вечной мерзлоты отличаются специфическими для этих мест пирологическими свойствами, спровоцированными пониженными темпами естественного разложения органики и, как следствие, увеличением количества запасов лесных горючих материалов в 3 - 5 раз по сравнению с лесами, произрастающими за пределами криолитозоны.

Территории с вечной мерзлотой являются в настоящее время, в связи с развитием на них хозяйственной деятельности человека, одними из самых горимых, поэтому возникновение лесных пожаров в количестве, многократно превышающем естественные загорания, вызывает нарушение существующего природного равновесия [3].

Тушение природных пожаров в районах вечной мерзлоты по общепринятым, не учитывающим специфику данного региона технологиям, наносит окружающей среде вред, соизмеримый с вредом от самого пожара и часто значительно его превосходящий. Летом к очагу лесного пожара проезд тяжёлых тракторов с плугами, гусеничных бульдозеров, прокладка с применением данной техники минерализованных, заградительных полос или прокладка данных полос взрывчатыми веществами являются необратимыми источниками повреждения мохово-лишайникового покрова данной местности [4]. Как результат – вмешательство в тепловой режим грунтов, залегающих под напочвенным живым покровом и природной подстилкой грунтов, их подтаивание, просадка с образованием провальной формы рельефа (термокарста), сопровождающиеся в дальнейшем заболачиванием территории.

Развитие термокарста вокруг потушенного пожара при расположении его на участке со склоном более 8-15° приводит к перемещению континентальных почв лесных массивов вниз по склону в границах полосы заградительной (солифлюкция) [5]. Данное явление сопряжено с массовым вывалом деревьев массовым, оттаиванием обнажённого минерального грунта и водной эрозией почв в процессе таяния законсервированной влаги, ранее содержавшейся в мёрзлом грунте. Усиленный сток её в водоёмы приводит к загрязнению нерестилищ ценных пород рыб.

Нетрудно подсчитать, что в случае большой дальности очагов возникновения природных пожаров от мест дислокации техники даже при своевременном её прибытии и оперативном тушении размер повреждённой термокарстом территории может составлять площадь десятки гектаров только в начальной стадии развития по пути следования пожара [6].

Уничтожая с таким трудом развивающиеся леса Севера, природные пожары во время прохождения поглощают кислород, выбрасывают CO₂ и угарный газ в атмосферу Земли. В Эвенкии за последние годы от лесных пожаров выгорело 7 млн. га древостоев. При этом прямой ущерб от потерь древесины превысил 1 млрд. руб., кроме того, поглощено 390 млн. т. кислорода из атмосферы Земли, а также в неё выброшено 152,5 млн. т. углекислого газа, создающего парниковый эффект и нежелательное потепление климата всей планеты [7].

В указаниях и руководствах по тушению природных пожаров не выделяется особенность специфики

работ на территориях с многолетней мерзлотой. Отсутствуют ограничения на применение и использование механизированных средств по показателям допустимого давления на опорную поверхность, определяющим степень её повреждаемости [8]. Не отмечается потребность в защите мерзлых грунтов от проникания в них тепла при реализации работ по тушению природных пожаров, предотвращения необратимых явлений термокарста и солифлюкции. Наряду с тем, имеется необходимость восстановления целостности по трассе опорной полосы мохового покрова после тушения пожара, хотя на практике в рамках применяемых технологий и средств механизации это трудно выполнимо [9].

Преодолеть сложившуюся ситуацию можно только посредством разработки современных методов тушения природных пожаров в условиях многолетней мерзлоты, создания орудий и машин для их реализации, принимая во внимание существующие ограничения [10]. Ограничениями будут являться:

- необходимость своевременного обнаружения очагов загорания на ранней стадии развития лесных пожаров;
- устранение повреждений напочвенного покрова по пути движения спасательной техники к месту природного пожара;
- термическая изоляция открытой поверхности грунта после удаления с него мохового слоя при прокладке полос минерализованных или заградительных;
- внедрение способов тушения природных пожаров, которые обеспечивают минимальное повреждение живого растительного напочвенного слоя при выполнении работ по тушению лесных пожаров;
- предупреждение и снижение в технологиях тушения негативных воздействий термокарста, солифлюкции и водной эрозии на лесной массив.

Оперативность обнаружения пожаров ввиду безграничности размеров северных территорий и практической их незаселённости, исключающих наличие пожарных наблюдательных пунктов с обслуживающим персоналом, должна обеспечиваться системами спутникового, авиационного и работающего в автоматическом режиме автономного наземного мониторинга [11].

В существенном пересмотре нуждается экономическая оценка принятых технологий тушения. В немерзлотных районах доставка техники своим ходом и перевозка рабочих автомобилями повышенной проходимости на расстояние 50 - 70 км целесообразна и движение её на 80 - 90 % осуществляется по дорогам. На Севере, при отсутствии дорог, такой перегон техники и доставка людей гусеничными вездеходами не вписываются в поставленные ограничения [12].

Тушение в пределах криолитозоны лесных пожаров необходимо осуществлять на ранних стадиях его развития при максимально быстром прибытии бригады лесных пожарных, оснащённых высокопроизводительными и адаптированными к условиям работы в районах с многолетней мерзлотой техническими средствами [13]. Устранить по пути движения техники травмирование напочвенного покрова возможно двумя путями.

Во-первых, транспортированием лесопожарных агрегатов допустимой массы и габаритов в фюзеляже или на внешней подвеске вертолёта Ми – 8 или его аналога,

за один рейс который должен перевозить технику, оборудование и расходные материалы, а также полный численный состав лесных пожарных.

Во-вторых, при передвижении на объекте тушения и по пути следования к нему удельное давление лесопожарного агрегата на опорную поверхность не должно превышать критериев устойчивости мохового покрова.

С применением огнестойких полимерных пен реально достижение термоизоляции минерального открытого грунта [14]. Предложенный способ борьбы с природными пожарами в криолитозоне заключается в окружении горящего массива барьером заградительным из пены огнестойкой и быстротвердеющей, а также подаче химических компонентов на полосу, прорезаемую в лесном покрове до грунта минерального, с последующей полимеризацией. Учитывая, что коэффициент теплопроводности опорной полосы из пены составляет 0,096 Вт/м и соизмерим с коэффициентом теплопроводности мохово-лишайникового покрова 0,070 - 0,087 Вт/м·град, можно заметить, что при толщине слоя пены 0,15 - 0,20 м исключается ощутимое проникание тепла с верхнего слоя в массив мёрзлого грунта [3]. Возможен способ прокладки опорной полосы ручным моторизованным орудием на базе бензопилы с удалением мохового покрова в виде непрерывной ленты в сторону, противоположную пожару, и последующей его укладкой на полосу после окончания работ по окарауливанию [15]. Экологически безопасными способами тушения лесных пожаров можно считать:

- сбивание на кромке пожара пламени с применением воздуходувок на базе бензопил воздушно-жидкостной высокоскоростной струей;

- смачивание напочвенного покрова ретардантами или водой, прокладку таким образом опорных полос для повышения влажности лишайников и мхов до состояния пожарной безопасности (более 40 %), учитывая их специфику водопоглощения при примерном расходе жидкости 3 дм³/м². Для этой операции необходимо применять оборудование и машины, оснащенные устройствами для вдувания жидкости распылённой до мелкодисперсного состояния в напочвенный моховой покров безопасными и экологичными движителями;

- тушение границы низового природного пожара водой или огнетушащими составами с подачей их от насосной установки;

- слив огнегасящей жидкости с летательных аппаратов, прокладка заградительных полос с гидросамолетов или самолетов типа АН - 2;

- тушение пожаров на оленьих пастбищах в тундровой зоне с применением существующих малогабаритных аппаратов амфибийного типа на воздушной подушке, обеспечивающих забор воды с акваторий рек или озёр и смачивание заградительных полос воздушно-жидкостной струёй, образуемой при подаче воды в воздушную турбину базового аппарата.

Предупреждение и снижение возникновения термокарста и солифлюкции может предотвращаться дренажем подтаявших участков на выгоревшей территории при помощи специализированных орудий, которые могут обеспечить прорезание щелей в земле без крити-

ческих нарушений мохового покрова [16]. Указанная щель может также выполнять функции заградительной полосы. Экскавированный при прокладке щели на слой лесных горючих материалов (ЛГМ) грунт обеспечит снижение интенсивности горения. Адсорбция ЛГМ влаги из щели и грунта повысит их пожарную безопасность и обеспечит остановку распространения пламени лесного пожара [17].

В качестве базовых орудий и агрегатов для выполнения перечисленных выше способов локализации и тушения лесных пожаров представляется целесообразным использование следующих уже существующих разработок:

- воздуходувки лесопожарной переносной ВЛП - 20 для сбивания на кромке пожара пламени высокоскоростной воздушно - жидкостной струей или воздушной, а также прокладка опорной полосы пеной. Масса воздуходувки должна быть снижена до 7 - 8 кг для обеспечения её переноски от объекта тушения к месту базирования при эвакуации бригады лесных пожарных без применения транспортных средств;

- агрегата лесопожарного АЛП-0,2 на базе трактора Т-02.03 "Уралец" в комплектации резиново - металлическими гусеницами. Расчёты показывают, что при удельном давлении на опорную поверхность 14-20 кПа агрегат не будет повреждать моховой покров. Скорость движения трактора от 3 до 15 км/ч, мощность двигателя 8,8 кВт, что позволяет развивать тяговое усилие на гусеницах до 700 кг, транспортировать прицепную мягкую ёмкость-каток для доставки к очагу горения огнетушащей жидкости с эксплуатационной массой от 1000 до 400 кг на уклонах от 5° до 20° соответственно. В агрегате с ёмкостью трактор может обеспечить прокладку смоченной или покрытую пеной опорной или заградительной полосы с рабочей скоростью до 3,6 км/ч. Оснащение трактора дисковой фрезой позволит выполнять в талом грунте щели глубиной до 0,5 м и шириной 0,05 - 0,1 м с рабочей скоростью 60 - 120 м/ч. Дополнение трактора уже прошедшей приёмочные испытания воздуходувкой ВН - 22 позволит подавать воздушно - водяную струю со скоростью до 30 м/с на мохово-лишайниковый покров, обеспечивая повышение его влажности по всей глубине слоя ЛГМ. Воздуходувка в комплекте с пеногенерирующей насадкой также может использоваться для прокладки опорных полос из пены.

Конструкция предлагаемой прицепной ёмкости должна обеспечивать транспортировку воды, огнегасящих составов или химических компонентов огнестойких быстротвердеющих пен к кромке лесного пожара. Возможно использование ёмкости как для дозаправки баков трактора водой или огнегасящим пенным составом в стационарном режиме, так и для прокладки заградительных барьеров из огнестойкой быстротвердеющей пены. Система автоматической компенсации давления воздуха во внутренней полости ёмкости позволит снизить сопротивление перекачиванию, повысить боковую устойчивость при работе на склонах [18].

Создание перечисленных выше лесопожарных орудий и агрегатов связано с необходимостью прорезания живого напочвенного покрова и минерального грунта при прокладке опорных полос и заградительных барье-

ров [19]. В процессе резания пассивными рабочими органами мхов их волокна, имеющие достаточно большую прочность, не перерезаются, а, сбиваясь в валки, забивают рабочее пространство под грядилем, что приводит к выглублению самопроизвольному орудия. Прорезание мохового покрова должным образом обеспечивают дисковые ножи плугов, однако они имеют достаточно большой вес и могут работать только с тракторами. Обеспечивают прорезание волокон мха активные рабочие органы при скорости прорезания 25-32 м/с. При данной скорости единственно возможным рабочим органом может стать дисковая фреза, имеющая относительно высокую энергоёмкость. Возможно применение на данной операции лёгких моторизированных малоэнергоёмких комбинированных орудий с канатно-лебедочной тягой, включающих дисковые фрезы и отвальную поверхность [20].

Заключение. Автором установлено, что мохово-лишайниковый покров и подстилающий его минеральный грунт являются, как объекты механической обработки, материалами сложными и неоднородными. Наличие в нем пней, корней, линз льда, а также захороненного валежа, древесины на поверхности и регу-

лярно изменяющиеся структурно - механические свойства мохового покрова приводят к неустановившемуся характеру нагрузок на рабочем органе орудия, к значительным перегрузкам двигателя, снижению надёжности и КПД базовой машины и увеличению расхода топлива. Преодоление перегрузок агрегатов в данных условиях может быть достигнуто за счёт использования кинетической энергии динамической системы "двигатель - рабочий орган" при оптимизации её параметров к сопротивлениям разрабатываемой среды.

Из сказанного следует, что для повышения эффективности природоохранных работ в лесах вечной мерзлоты необходимо применять технологии и оборудование, рационально вписывающиеся в наложенные специфической природной средой ограничения. Целесообразно в качестве механизированных средств повсеместно для выполнения данных видов работ применение транспортабельных, относительно недорогих, лёгких и многофункциональных агрегатов, гарантирующих выполнение производственных процессов со сведенными к минимуму энергозатратами без ощутимых нарушений окружающей среды.

Литература

1. Абаимов А.П., Матвеев П.М. Мерзлотное лесоведение. Красноярск: СибГТУ, 1999. 249 с.
2. Абаимов А.П., Прокушкин С.Г., Зырянова О.А. Эколого-фито-ценотическая оценка воздействия пожаров на леса криолитозоны Средней Сибири // Сиб. экологический журнал. 1996. № 1. С. 51-60.
3. Нац. атлас России / гл. редкол. А.В. Бородко. М.: Роскартография, 2004. Т. 1. 496 с.
4. Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Страхов В.В. Аналитический обзор методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов атмосферы. // Лесохозяйственная информ. 2016. № 3. С. 36-84. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>
5. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck M., Jonas M., Obersteiner M. Full Carbon Account for Russia (Revised 18 December 2000). IIASA: Interim Report. August, 2000.
6. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Углеродный бюджет лесов России // Сиб. лесной журнал. 2014. № 1. С. 69-92.
7. Абаимов А.П. Лиственничные леса и редколесья севера Сибири (Разнообразие, особенности экологии и лесообразовательного процесса): автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1997. 32 с.
8. Filipchuk A., Moiseev B., Malysheva N., Strakhov V. Russian Forests: A New Approach to the Assessment of Carbon Stocks and Sequestration Capacity // Environmental Development. 2018. V. 26. P. 68-75.
9. Malysheva N., Zolina T., Filipchuk A., Moiseev B. GIS contribution an objective assessment of carbon sink in the Russian forests // 7-th International Conference on Cartography & GIS Proceedings (18-23 June 2018). Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association, 2018. V. 1. P. 122-130.
10. Об утверждении перечня лесорастительных зон Рос. Федерации и лесных районов Рос. Федерации: приказ М-ва природных ресурсов и экологии Рос. Федерации № 367 от 18.08.2014 (ред. № 83 от 21.03.2016).
11. Мартынюк А.А., Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Малышева Н.В., Страхов В.В., Золина Т.А., Югов А.Н., Паленова М.М. Методика учёта поглощения CO₂ в лесах Рос. Федерации. Пушкино: ВНИИЛМ, 2017. 82 с.
12. Филипчук А.Н. Теоретические основы системы гос. инвентаризации лесов России: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1996. 48 с.
13. Страхов В.В., Филипчук А.Н., Швиденко А.З. Устойчивое развитие лесного хоз-ва России и стратегия лесохозяйственных работ // Лесное хоз-во. 2001. № 1. С. 7-10.
14. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Что мы знаем о лесах России сегодня? // Лесная таксация и лесоустройство. 2011. Вып. 1-2 (4546). С. 154-173.
15. Pan Y., Birdsey R.A., Fang J. Carbon Budget 2018. URL: <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019-2019> 3. A large and persistent carbon sink in the world's forests / [et al.] // Science. 2011. V. 333 (6045). P. 988-993. URL: <https://doi.org/10.1126/science.1201609>
16. Бердникова Л.Н. Охрана лесов от природных пожаров в нац. парке «Шушенский бор» // Современные проблемы землеустройства, кадастров и природообустройства: материалы Нац. науч. конф. (17 мая 2019 г.) / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2019. 331 с.
17. Филипчук А.Н., Моисеев Б.Н., Югов А.Н. Сравнительная оценка стат. данных о запасах древостоев в лесах Рос. Федерации // Лесохозяйственная информ. 2017. № 2. С. 16-25.
18. Готье С., Бернье П., Куувилайнен Т., Швиденко А., Щепашенко Д. Бореальные леса и глобальные изменения // Устойчивое лесопользование. 2016. № 2 (46). С. 2-7.
19. Орловский С.Н. Борьба с лесными, степными и торфяными пожарами // LAMBERT AcademicPublishing. ФРГ, 2016. 493 р.
20. Карнаухов А.И. Лесопожарный агрегат с торцевой фрезой. Концепция энергосбережения: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2010. 214 с.

References

1. Abaimov A.P., Matveev P.M. Permafrost forest science. Krasnoyarsk: SibGTU, 1999. 249 p.
2. Abaimov A.P., Prokushkin S.G., Zyryanova O.A. Ecological and phytocenotic assessment of the impact of fires on the forests of the cryolithozone of Central Siberia // Contemporary Problems of Ecology. 1996. № 1. P. 51-60.

3. National Atlas of Russia / gl. redkol. A.V. Borodko. M.: Roskartografiya, 2004. V. 1. 496 p.
4. Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Moiseev B.N., Strahov V.V. An Analytical review of methods for accounting for emissions and absorption of greenhouse gases by forests in the atmosphere // *Lesohozyajstvennaya inform.* 2016. № 3. P. 36-84. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>
5. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck M., Jonas M., Obersteiner M. Full Carbon Account for Russia (Revised 18 December 2000). IIASA: Interim Report. August, 2000.
6. SHvidenko A.Z., SHCHepashchenko D.G. Carbon budget of Russian forests // *Contemporary Problems of Ecology.* 2014. № 1. P. 69-92.
7. Abaimov A.P. Larch forests and woodlands of the North of Siberia (Diversity, features of ecology and forest formation process): avtoref. diss. ... d-ra biol. nauk. Novosibirsk, 1997. 32 p.
8. Filipchuk A., Moiseev V., Malysheva N., Strakhov V. Russian Forests: A New Approach to the Assessment of Carbon Stocks and Sequestration Capacity // *Environmental Development.* 2018. V. 26. P. 68-75.
9. Malysheva N., Zolina T., Filipchuk A., Moiseev V. GIS contribution an objective assessment of carbon sink in the Russian forests // *7-th International Conference on Cartography & GIS Proceedings (18-23 June 2018).* Sofia. Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association, 2018. V. 1. P. 122-130.
10. On approval of the list of forest zones of the Russian Federation and the forest districts of the Russian Federation: prikaz M-va prirodnyh resursov i ekologii Ros. Federacii № 367 ot 18.08.2014 (red. № 83 ot 21.03.2016).
11. Martynyuk A.A., Filipchuk A.N., Moiseev B.N., Malysheva N.V., Strahov V.V., Zolina T.A., YUgov A.N., Palenova M.M. The methodology of accounting for the absorption of CO₂ in the forests of the Russian Federation. Pushkino: VNIILM, 2017. 82 p.
12. Filipchuk A.N. Theoretical foundations of the system of state forest inventory in Russia: avtoref. dis. ... d-ra s.-h. nauk. M., 1996. 48 p.
13. Strahov V.V., Filipchuk A.N., SHvidenko A.Z. Sustainable development of forestry in Russia and strategy of forest accounting works // *Lesnoe hoz-vo.* 2001. № 1. P. 7-10.
14. SHvidenko A.Z., SHCHepashchenko D.G. What do we know about the forests of Russia today? // *Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo.* 2011. Vyp. 1-2 (4546). P. 154-173.
15. Pan Y., Birdsey R.A., Fang J. Carbon Budget 2018. URL: <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019-2019> 3. A large and persistent carbon sink in the world's forests / [et al.] // *Science.* 2011. V. 333 (6045). P. 988-993. URL: <https://doi.org/10.1126/science.1201609>.
16. Berdnikova L.N. Protection of forests from natural fires in the national park "Shushenskiy bor" // *Sovremennye problemy zemleustrojstva, kadastrav i prirodobustrojstva: materialy Nac. nauch. konf. (17 maya 2019 g.) / Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2019.* 331 p.
17. Filipchuk A.N., Moiseev B.N., YUgov A.N. Comparative assessment of statistical data on the stocks of forest stands in the forests of the Russian Federation // *Lesohozyajstvennaya inform.* 2017. № 2. P. 16-25.
18. Got'e S., Bern'e P., Kuuvilajnen T., SHvidenko A., SHCHepashchenko D. Boreal forests and global changes // *Ustojchivoe lesopol'zovanie.* 2016. № 2 (46). P. 2-7.
19. Orlovskij S.N. Fighting forest, steppe and peat fires // *LAMBERT AcademicPublishing. FRG, 2016.* 493 p.
20. Karnauhov A.I. Fire fighting machine with end mill. Energy saving concept: monogr. Krasnoyarsk: SibGTU, 2010. 214 p.