

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ОТ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ

L.N. Berdnikova

THE DEFINITION OF ECOLOGICAL DAMAGE FROM NATURAL FIRES

Бердникова Л.Н. – канд. с.-х. наук, доц. каф. безопасности жизнедеятельности Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: Vlaga26@mail.ru

Berdnikova L.N. – Cand. Agr. Sci., Chair of Health and Safety, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: Vlaga26@mail.ru

Предложена методика определения экологического ущерба от природных пожаров (лесных, степных и почвенных (торфяных)). Разработан метод определения выбора средств механизации для борьбы с лесными пожарами на основе минимизации затрат на тушение, экономического и экологического ущерба. Он базируется на выведенных исходных аналитических формулах, позволяющих по параметрам пожара и затратам времени, сил и средств на его тушение рассчитывать экономические затраты на тушение, а также определять экологический ущерб, выражающийся в массовых размерах выбросов диоксида углерода и поглощении кислорода при лесных пожарах. Используется предложенный автором доступный и понятный математический аппарат. Получены простые формулы для решения задачи определения площади лесного пожара, его периметра, времени прибытия лесных пожарных и локализации очага горения, а также выгоревшей площади. Разработана методика расчётов затрат на тушение пожара, экологического ущерба. Анализ размеров выгоревших лесных площадей в массиве полученной при выполнении расчётов информации поможет выбрать оптимальные технологии тушения в соответствии с заданными критериями. Приведён пример сравнительного расчёта тушения конкретного лесного пожара по двум различным технологиям на основе существующих средств механизации на конкретной местности в заданных дорожных и лесорастительных условиях. Использование предлагаемой методики определения экологического ущерба от природных пожаров в различных условиях и удалённости позволит службам лесной охраны организовать выполнение

работ с рациональным количеством сил и средств, а также с минимальными затратами и ущербом.

Ключевые слова: природные пожары, тушение, технологии, площади, периметры, выбросы, диоксид углерода, кислород, анализ.

The technique of definition of ecological damage from wildfires (forest, steppe and soil (peat) is offered. The method of definition of the choice of means of mechanization is developed for fight against forest fires on the basis of minimization of costs of firefighting, economic and ecological damage. It is based on the removed initial analytical formulas allowing in parameters of the fire and expenses of time, forces and funds for firefighting to count economic costs of suppression, and also to define ecological damage expressed in the mass amount of emissions of carbon dioxide and absorption of oxygen at forest fires. Available and clear mathematical apparatus offered by the author is used. Simple formulas for the solution of the problem of determination of the area of forest fire, its perimeter, arrival time of forest firefighters and the localization of the center of burning, and also burned-out area are received. The technique of calculations of costs of fire extinguishing ecological damage is developed. The analysis of the sizes of burned-out forest areas in the array of information received when performing calculations will help to choose optimum technologies of suppression according to the set criteria. The example of comparative calculation of concrete forest firefighting for two various technologies on the basis of existing means of mechanization is given in concrete district in the set road and forest vegetation conditions. The use of offered technique of definition of ecological damage from wildfires in various conditions and re-

moteness will allow services of forest protection to organize the performance of work with rational number of forces and means, and also with minimum expenses and damage.

Keywords: *wildfires, firefighting, technology, areas, perimeters, emissions, carbon dioxide, oxygen, analysis.*

Введение. Общая площадь лесов Российской Федерации (РФ) составляет 1179 млн га, или около 31 % площади лесов земного шара [1]. Запас древесины в них – 82,8 млрд м³, причем 75 % общего запаса сосредоточено на территории азиатской части страны.

Одним из самых многолесных регионов России является Сибирь – обширная территория площадью 10 млн км². На большей части Восточной Сибири господствует тайга. Для неё характерны большая захлапленность, наличие сухостойного леса, ветровала и бурелома, что отрицательно сказывается на пожарном состоянии лесов.

Красноярский край владеет древесными ресурсами в объеме 7,4 млрд м³ (хвойных пород 80 %), что составляет около 8 % от общероссийских запасов. Доля лесопокрытой площади РФ в глобальной эмиссии углекислого газа составляет около 10 %. Заготовка древесины от рубок главного пользования в 2013 году составила 110 млн м³, от рубок промежуточного пользования и рубок ухода – 60 млн м³ [2].

Одной из важнейших причин сокращения покрытых лесом площадей являются лесные пожары. Они способны в кратчайшие сроки негативно изменить и преобразовать окружающую природную среду, состояние лесного биогеоценоза, динамику и тенденции дальнейшего его развития. Проблема борьбы с лесными пожарами является одной из наиболее актуальных.

В Красноярском крае самые ранние пожары начинаются на территории республик Тыва и Хакасия, где наиболее распространены травяные типы растительности. Задержки по доставке средств механизации к удаленным от населенных пунктов очагам горения, а также недостаточная производительность приводят к запаздыванию развертывания лесопожарных работ и перерастанию загораний в крупные лесные пожары.

Открытые безлесные пространства, где активатором горения является травянистая расти-

тельность или стерня сельскохозяйственных культур, занимают в Сибири десятки миллионов гектар земли. Под влиянием погодных условий и антропогенного фактора весной эти площади обладают максимальной пожарной опасностью. Третья часть весенних лесных пожаров возникает от сельскохозяйственных палов.

В огне степных пожаров гибнут семена однолетних трав и насекомые-опылители, что приводит к замещению их на малоценные в кормовом отношении многолетние травы (репей, крапива, конопля и т.п.). Лесные пожары являются одним из факторов, приводящих к нарушениям окружающей среды, поглощению кислорода и выбросам огромного количества углекислого газа, вызывающего парниковый эффект и связанные с ним негативные глобальные изменения климата [2].

Необходимо изучение вопросов выбора оптимальных по ряду критериев технологий тушения лесных пожаров и расчетов оптимальных параметров лесопожарной техники. Борьба с лесными, степными и торфяными пожарами является важной проблемой, решение которой позволит сохранить природу нашей страны, повысить эффективность лесопожарных работ, снизить горимость лесов и ущерб от лесных пожаров.

Цель исследований. Разработать методику определения экологического ущерба от природных пожаров по критериям минимизации выгоревших лесных площадей.

Задачи исследований. Выбрать технические средства, применение которых позволит локализовать и потушить лесной пожар с максимальной эффективностью. Вывести аналитические формулы, позволяющие по параметрам пожара и технологии его тушения рассчитывать сроки прибытия людей и техники к очагу горения, время тушения, размеры выгоревших лесных площадей.

Поскольку ущерб от лесных пожаров проявляется не только в повреждении или уничтожении древесного яруса и других компонентов лесных фитоценозов, снижении и ухудшении различных социально-экологических функций леса, но и в выбросах больших количеств оксида и диоксида углерода, необходимо разработать методику учёта выбросов продуктов пиролиза, поглощения кислорода, интенсивно

влияющих на климат отдельных регионов и планеты в целом.

Методы исследований. До настоящего времени создан ряд методик определения комплексного экономического и экологического ущерба, причиняемого огнём лесным экосистемам [1–2], одной из последних в этом ряду является методика ДальНИИЛХ. В ней экологический ущерб от общего числа пожаров ($U_{эк.об}$), возникших за пожаро-опасный сезон, определяется по формуле

$$U_{эк.об} = U_{др.п} \cdot K_{гл} \cdot K_{кз}, \quad (1)$$

где $U_{др.п}$ – ущерб от потерь древесины на покрытых лесом площадях, пройденных пожарами, тыс. руб.; $K_{гл}$ – коэффициент, учитывающий горные леса; $K_{кз}$ – коэффициент, учитывающий категории земель (не покрытые лесом и не лесные).

Недостатком данного подхода является отсутствие учёта выбросов оксида и диоксида углерода, а также поглощения кислорода. Вполне очевидно, что методика определения экологического и экономического ущерба от лесных пожаров в целом должна отвечать следующим научно-техническим и прикладным требованиям:

- достоверность, воспроизводимость и минимум исходной информации для оценки;
- доступность практического применения для работников лесного хозяйства;
- объективность оценки ущерба как от одного конкретного пожара, так и их совокупности.

Методика должна позволять проводить сравнение новых лесопожарных агрегатов, орудий и технологий, поскольку их экономическое обоснование по приведённым затратам или сроку

окупаемости в условиях колебаний рыночных цен недостаточно достоверно.

Согласно предлагаемой методике, предотвращённый экологический эффект от применения новых технических средств или технологий борьбы с лесными пожарами определяется: в стоимостном выражении сокращением площадей выгоревшего леса, выбросов оксида углерода и продуктов пиролиза, в количественном – сокращением объёма поглощённого кислорода и непоступлением в атмосферу диоксида углерода, выделением кислорода и поглощением диоксида углерода сохранёнными лесами. Ущерб от лесных пожаров оценивается по упрощенному варианту методики без сравнения альтернативных вариантов тушения.

Расчет величины предотвращённого ущерба производится на основании следующих исходных данных:

P – количество пожаров в сезон на одну команду*, шт.;

S – средняя площадь пожара к началу тушения, га* [2];

V_p – средняя скорость прироста периметра пожара*, м/ч;

$P^б, P^н$ – производительность тушения по базовой и новой технологиям или средствам механизации (паспортные или расчётные данные), м/ч;

N – число рабочих в бригаде, чел.;

$Q_г$ – запас леса на гектаре, м³;

$Q_п$ – количество подстил на гектаре, т;

C_d – цена крупной, средней, мелкой и дровяной древесины на корню, руб/м³;

P_c – полнота сгорания, %.

* – среднестатистические данные по региону или базе авиалесоохраны.

Время прибытия к месту лесного пожара определяется по формуле [2]

$$T_{\Sigma} = \frac{L_0 \left(\frac{P_{грав}}{V_{грав}} + \frac{P_{грунт}}{V_{грунт}} + \frac{P_{пр}}{V_{пр}} + \frac{P_{лес}}{V_{лес}} \right)}{100} + t_{обн} + t_{позр} + t_{выгр}, \quad (2)$$

где $t_{обн}$ – время обнаружения лесного низового пожара с момента его возникновения по сравнимым вариантам, ч; $t_{позр}$ – время получения известия об обнаружении лесного пожара, передачи приказа, погрузки людей и оборудова-

ния, выезда, ч; $t_{выгр}$ – время выгрузки оборудования в конечном пункте доставки, ч; P – процент дорог от общего расстояния доставки по видам покрытия (гравийное, грунтовое, автотрассы, или просеки, по лесу) на маршруте

движения; $V_{\text{грав}}$, $V_{\text{грунт}}$, $V_{\text{пр}}$, $V_{\text{лес}}$ – скорости движения на тех же участках дорог, км/ч.

Периметр пожара P (км) определяется по выражению [3]

$$P = 0,5 \sqrt{S}, \quad (3)$$

где S – площадь пожара, га [2].

Скорость роста периметра пожара $V_{\text{п}}$ (км/ч) по базовой $V_{\text{пб}}$ и новой $V_{\text{пн}}$ технологиям определяется по выражению

$$V_{\text{п}} = \frac{P}{T}. \quad (4)$$

Скорость локализации периметра пожара $V_{\text{л}}$ (м/ч) по вариантам определяется по выражению

$$V_{\text{л}^{\delta}} = \Gamma^{\delta} N; \quad V_{\text{л}^{\text{н}}} = \Gamma^{\text{н}} N. \quad (5)$$

Время локализации $T_{\text{л}}$ (ч)

$$T_{\text{л}^{\delta}} = \frac{m_{\epsilon \pm}}{V_{\text{л}^{\delta}} - 0,5V_{\text{п}}}; \quad T_{\text{л}^{\text{н}}} = \frac{m_{\epsilon \pm}}{V_{\text{л}^{\text{н}}} - 0,5V_{\text{п}}}. \quad (6)$$

$$Ц_{\text{др}} = \frac{(Q_{\text{к}} \cdot Ц_{\text{к}} + Q_{\text{с}} \cdot Ц_{\text{с}} + Q_{\text{м}} \cdot Ц_{\text{м}} + Q_{\text{д}} \cdot Ц_{\text{д}}) \cdot Q_{\text{г}}}{Q_{\text{ср}}}, \quad (10)$$

где $Ц_{\text{др}}$ – цена древесины за 1 га, руб.

Величина предотвращённого ущерба Y (руб.) определяется с учётом потерь древесины по породам P (%) по выражению [3–5]

$$Y = Y_{\text{ср}} \cdot \Delta S \cdot \Pi_{\text{o}}, \quad (11)$$

где $Y_{\text{ср}}$ – ущерб от пожара на площади 1 га, руб; $Y_{\text{ср}} = Ц_{\text{д}} \cdot З_{\text{л}}$; Π_{o} – отпад древостоев после устойчивого низового пожара (0,3); $Ц_{\text{д}}$ – цена древесины на корню, руб/м³; $З_{\text{л}}$ – запас леса на гектаре, м³/га.

Количество выбросов в атмосферу Земли диоксида углерода M_{CO_2} и выгорание кислорода M_{O_2} (кг/га) определяется по выражениям [2, 6]:

$$M_{\text{CO}_2} = C_{\text{CO}_2} \cdot 100 \cdot Q_{\text{п}} \cdot \Pi_{\text{с}}; \quad (12)$$

$$M_{\text{O}_2} = C_{\text{O}_2} \cdot 100 \cdot Q_{\text{п}} \cdot \Pi_{\text{с}}, \quad (13)$$

Периметр пожара к концу тушения $P_{\text{к}}$ (км)

$$P_{\text{к}^{\delta}} = V_{\text{л}^{\delta}} T_{\text{л}^{\delta}}; \quad P_{\text{к}^{\text{н}}} = V_{\text{л}^{\text{н}}} T_{\text{л}^{\text{н}}}. \quad (7)$$

Выгоревшие площади S (га) по вариантам

$$S^{\delta} = 4P_{\text{к}^{\delta}}; \quad S^{\text{н}} = 4P_{\text{к}^{\text{н}}}. \quad (8)$$

Сокращение выгоревших площадей ΔS (га)

$$\Delta S = S^{\delta} - S^{\text{н}}. \quad (9)$$

Исходя из запаса древесины на гектаре ($Q_{\text{г}}$, м³) и таксы на неё при отпуске на корню в конкретном субъекте Российской Федерации, определяем по сортиментным и товарным таблицам средний объём древостоя $Q_{\text{ср}}$ (м³) и его количество в виде крупной $Q_{\text{к}}$, средней $Q_{\text{с}}$, мелкой $Q_{\text{м}}$ и дровяной $Q_{\text{д}}$ древесины. Согласно нормативным документам на пользование лесными фондами для различных регионов (или 5 % рыночной стоимости круглого леса), определяется цена древесины по видам ($Ц_{\text{к}}$, $Ц_{\text{с}}$, $Ц_{\text{м}}$, и $Ц_{\text{д}}$) руб/м³ на гектаре по выражению

где C_{CO_2} и C_{O_2} – количество выделяющегося при сгорании 1 кг ЛГМ диоксида углерода и поглощение кислорода в расчетах соответственно 0,5 и 1,24 кг;

$Q_{\text{п}}$ – запас подстилки на 1 м² (в расчетах для низовых пожаров 3 кг/м², для верховых – 7, степных – 0,1 кг/м² при высоте травостоя 15 см; 0,2 кг/м² – при высоте травостоя от 15 до 30 см; 0,3 кг/м² – при высоте травостоя более 30 см);

$\Pi_{\text{с}}$ – полнота сгорания (в расчетах 50 процентов для низового пожара, 75 – для верхового, 100 – для степного и торфяного).

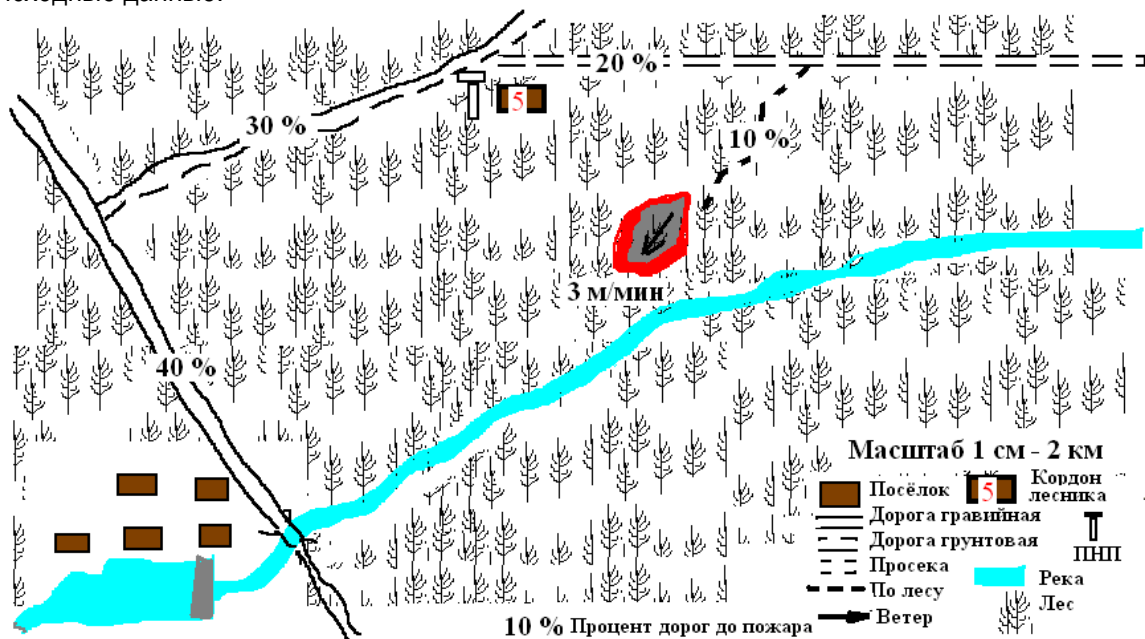
Кроме того, сохранённый от пожара лес выделяет в атмосферу Земли в год 2,5 т/га кислорода и поглотит 1 т/га диоксида углерода на гектар (для лесов Ангаро-Енисейского региона при приросте 3 м³/га). Поступление в воздух оксида углерода при лесных пожарах составляет 0,006 % от диоксида углерода и в стоимостном выражении (размер нанесённого ущерба) – 533 руб/га [7]. Выбросы диоксида углерода и выгорание

кислорода в миллионах тонн не могут не оказывать влияния на климат региона и планеты в целом.

Результаты исследований и их обсуждение. Рассмотрим тушение пожара в Ярцевском авиаотделении Красноярской базы авиационной охраны лесов (2014 год). Скорость кромки пожара 3 м/мин, время обнаружения 2 ч 48 мин на площади 26,4 га. Лесхоз направил на тушение бульдозер Б-170 и рабочих на автомобиле ЗиЛ-131.

Альтернативный вариант тушения – доставка на пожар трактора ЛХТ-4 с клином КРП-2,5 и плугом для прокладки минерализованных полос ПЛК-2.

Исходные данные:



Карта местности и расположения очага горения

Технология тушения – прокладка минерализованных заградительных полос бульдозером. Его производительность на прокладке заградительных полос 0,8 км/ч. Доставка людей и оборудования – на автомобиле ЗиЛ-131.

Подставляя численные значения в выражение (2), получим T_B (ч) для базовой и T_H (ч) для новой технологий:

$$T_B = \frac{15 \cdot \frac{45}{8} + \frac{25}{7} + \frac{8}{5} + \frac{22}{0,8}}{100} + 3 + 0,2 + 0,15 = 9,09 \text{ ч,}$$

$$T_H = \frac{15 \cdot \frac{45}{8} + \frac{25}{7} + \frac{8}{5} + \frac{22}{2}}{100} + 0,2 + 0,2 + 0,15 = 3,9 \text{ ч.}$$

Площади пожара S_B и S_H по таблицам [2] составят соответственно 250 и 48 га. Периметры пожаров при базовом варианте (P_B) и новом варианте (P_H) при известной его площади S определяются по выражению (3)

$$P_B = 0,5 \sqrt{250} = 7,91 \text{ км};$$

$$P_H = 0,5 \sqrt{48} = 3,46 \text{ км}.$$

Скорость роста периметра пожара V_p (км/ч) по базовой $V_{пб}$ и новой $V_{пн}$ технологиям определяется по выражению (4)

$$V_{пб} = \frac{7,91}{9,09} = 0,87 \text{ км/ч}; V_{пн} = \frac{3,46}{3,9} = 0,87 \text{ км/ч}.$$

Время локализации пожара T_l (ч) по базовому $T_{лб}$ и новому $T_{лн}$ вариантам:

$$T_{лб} = \frac{7,91}{0,8 - 0,5 \cdot 0,87} = 17,01 \text{ ч},$$

$$T_{лн} = \frac{3,46}{2,0 - 0,5 \cdot 0,87} = 2,2 \text{ ч}.$$

Периметр пожара к концу тушения P (км) по базовому $P_{кб}$ и новому $P_{кн}$ вариантам определяется по формуле (7)

$$P_{кб} = 0,8 \cdot 17,01 = 13,61 \text{ км}; P_{кн} = 0,8 \cdot 2,2 = 1,76 \text{ км}.$$

Выгоревшие площади S (га) по базовому S_B и S_H вариантам составят

$$S_B = 4 \cdot 13,61 = 54,44 \text{ га}, S_H = 4 \cdot 1,76 = 7,07 \text{ га}.$$

Общие выгоревшие площади S_{Σ} определяются как сумма выгоревших площадей к началу тушения и за время выполнения работ по локализации

$$S_{\Sigma B} = 250 + 54,44 = 304,44 \text{ га}; S_{\Sigma H} = 48 + 7,07 = 55,07 \text{ га}.$$

Сокращение выгоревших площадей составит $\Delta S = 304,44 - 55,07 = 249 \text{ га}$.

Величина предотвращенного ущерба

$$V_{cp} = 86 \cdot 200 = 13502 \text{ руб/га}.$$

$U = 13502 \cdot 249 \cdot 0,3 = 1008,59$ тыс. руб.

Затраты на тушение пожара слагаются из суммы затрат на доставку людей и техники к месту лесного пожара и на его тушение [2]

В результате применения проектируемого орудия сроки тушения пожара сокращаются на 15 часов и стоимость работ уменьшается на 22 тыс. руб.

Количество выбросов в атмосферу Земли диоксида углерода M_{CO_2} и выгорание кислорода M_{O_2} на 1 га определяются по формулам (12) и (13):

$$M_{CO_2} = \frac{0,5 \cdot 10000 \cdot 3 \cdot 50}{100} = 7500 \text{ кг} \approx 7,5 \text{ т}.$$

$$M_{O_2} = \frac{1,24 \cdot 10000 \cdot 3 \cdot 50}{100} = 18600 \text{ кг} \approx 18,6 \text{ т}.$$

Количество сохраненного кислорода

$$M_{O_2} = M_{O_2} \cdot \Delta S = 18,6 \cdot 249 = 4631 \text{ т}.$$

Сокращения выброса диоксида

$$M_{CO_2} = 7,5 \cdot 249 = 1867 \text{ т}.$$

Кроме того, сохраненный от пожара лес выделяет в атмосферу Земли 623 т кислорода и поглотит 249 т диоксида углерода. Эта цифра ущерба, которую мы стараемся не допускать.

Выводы. Выбраны технические средства для локализации лесных пожаров по критериям минимизации экологического и экономического ущерба, разработан алгоритм расчетов.

Применение данного алгоритма расчетов позволяет:

- определить ущерб от лесного пожара в стоимостном выражении, зная характеристики древостоя (запас леса и количество подстилки на гектаре, породный состав);
- рассчитать количество выгоревшего кислорода и выбросов оксида и диоксида углерода;
- произвести сравнение эффективности технологий борьбы с лесными пожарами и средств механизации для их выполнения при наличии альтернативных вариантов как в реальных условиях, так и на стадии проектирования.

Негативное влияние выбросов диоксида углерода и поглощения кислорода при лесных пожарах сказывается как на климате региона, так и планеты в целом, и сокращение их – одна из важнейших задач лесной охраны.

Литература

1. Комиссаров С.В., Орловский С.Н., Ряполов В.Я. Прогноз горимости леса в Средней Сибири // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2005.
2. Орловский С.Н. Борьба с лесными, степными и торфяными пожарами / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016. – 299 с.

3. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 160 с.
4. Доррер Г.А., Ушанов С.В. Математическое моделирование процессов распространения лесных пожаров и борьбы с ними // Изв. вузов. Лесной журнал. – 2000. – № 2. – С. 31–36.
5. Dozier J. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution // Remote Sensing of Environment. – 1981. – № 11. – P. 221–229.
6. Демидов П.Г. Горение и свойства горючих веществ. – М., 1962. – 264 с.
7. Комиссаров С.В., Орловский С.Н., Ряполов В.Я. Подход к оптимизации тушения лесных пожаров // Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: тр. III Всерос. науч.-практ. конф. – Красноярск, 2003. – Т. 2. – С. 130–134.
2. Orlovskij S.N. Bor'ba s lesnymi, stepnymi i torfjanymi pozharami / Krasnojar. gos. agrar. un-t. – Krasnojarsk, 2016. – 299 s.
3. Dorrer G.A. Matematicheskie modeli dinamiki lesnyh pozharov. – М.: Lesn. prom-st', 1979. – 160 s.
4. Dorrer G.A., Ushanov S.V. Matematicheskoe modelirovanie processov rasprostraneniya lesnyh pozharov i bor'by s nimi // Izv. vuzov. Lesnoj zhurnal. – 2000. – № 2. – С. 31–36.
5. Dozier J. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution // Remote Sensing of Environment. – 1981. – № 11. – P. 221–229.
6. Demidov P.G. Gorenje i svojstva gorjuchih veshhestv. – М., 1962. – 264 s.
7. Komissarov S.V., Orlovskij S.N., Rjapolov V.Ja. Podhod k optimizacii tushenija lesnyh pozharov // Problemy zashhity naselenija i territorij ot chrezvychajnyh situacij prirodного i tehnogenного haraktera: tr. III Vseros. nauch.-prakt. konf. – Krasnojarsk, 2003. – Т. 2. – С. 130–134.

Literatura

1. Komissarov S.V., Orlovskij S.N., Rjapolov V.Ja. Prognoz gorimosti lesa v Srednej Sibiri //

