

21-1455-5

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

# ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ПОДАВЛЕНИЕ ГОРЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВИАЦИИ



21-01455

**МИНИСТЕРСТВО  
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

## **ЛОКАЛИЗАЦИЯ И ПОДАВЛЕНИЕ ГОРЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВИАЦИИ**

**Ответственный редактор  
доктор физико-математических наук,  
профессор О. П. Коробейников**



**НОВОСИБИРСК  
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
2020**

УДК 630\*43:[004+614.842.612+536]

ББК 43.488

Л73

Л73 Локализация и подавление горения лесных материалов с применением авиации / Д. О. Глушков, Н. П. Копылов, С. С. Кропотова, Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак; Мин-во науки и высшего образования РФ, Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2020. – 337 с.

ISBN 978-5-7692-1675-6

Монография посвящена анализу современных методов исследований процессов локализации и подавления горения типичных лесных горючих материалов различными по компонентному составу огнетушащими и огнесдерживающими жидкостями. Приводятся наиболее проработанные модели и теоретические следствия. Рассматриваются современные экспериментальные методики, а также подходы к проведению полевых и стендовых испытаний. Обсуждаются наиболее перспективные подходы к сдерживанию распространения фронтов горения за счет использования заградительных полос, рвов, каналов, встречного пала и др. Анализируются результаты тестирования специализированных водных составов на примере суспензий, эмульсий и растворов для локализации и ликвидации очагов степных, низовых, верховых и комбинированных лесных пожаров.

Для специалистов, занимающихся задачами предотвращения, локализации и тушения низовых, верховых и комбинированных лесных пожаров, научных сотрудников, аспирантов и студентов старших курсов вузов.

*Авторы:*

Д. О. Глушков, Н. П. Копылов, С. С. Кропотова,  
Г. В. Кузнецов, П. А. Стрижак

Утверждено к печати Ученым советом

Национального исследовательского Томского политехнического университета

*Рецензенты*

д-р физико-математических наук, профессор *Катаева Л. Ю.*  
д-р технических наук, профессор *Гаращенко А. Н.*

Исследования авторов и издание монографии  
выполнены за счет средств Российского научного фонда  
(проект № 18-19-00056)

ISBN 978-5-7692-1675-6

© Глушков Д. О., Копылов Н. П., Кропотова С. С.,  
Кузнецов Г. В., Стрижак П. А., 2020  
© Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет, 2020  
© Оформление. Издательство СО РАН, 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                                                                                 | 6   |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК К ВВЕДЕНИЮ .....                                                                                                                                                      | 7   |
| ГЛАВА 1. СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ .....                                                                                                                             | 9   |
| 1.1. Горючие характеристики .....                                                                                                                                                              | —   |
| 1.2. Теплофизические характеристики .....                                                                                                                                                      | 12  |
| 1.3. Термокинетические характеристики пиролиза и окисления .....                                                                                                                               | 25  |
| Библиографический список к главе 1 .....                                                                                                                                                       | 32  |
| ГЛАВА 2. АВИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ СТЕПНЫХ И НИЗОВЫХ<br>ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ .....                                                                                                              | 36  |
| 2.1. Трансформация капель жидкостей при сбросе с воздушных судов .....                                                                                                                         | —   |
| 2.1.1. Подавление термического разложения и пламенного горения конденсированных<br>веществ при разных высотах начала движения не распыленного в начальный момент<br>времени массива воды ..... | —   |
| 2.1.2. Определение характеристик трансформации не распыленных на начальной стадии<br>массивов огнетушащих жидкостей при свободном падении с большой высоты .....                               | 42  |
| 2.1.3. Измельчение капель, струй и массивов жидкости в условиях свободного падения<br>в воздушной среде .....                                                                                  | 50  |
| 2.1.4. Влияние компонентного состава огнетушащих жидкостей на распределения капель<br>в аэрозольном облаке .....                                                                               | 60  |
| 2.1.5. Интегральные характеристики движения капель жидкостей в газовых средах<br>с разной скоростью движения, температурой и концентрацией паров .....                                         | 67  |
| 2.1.6. Об отличии аэродинамических следов капель с учетом скорости движения<br>и температуры газов .....                                                                                       | 74  |
| 2.1.7. Определение оптимальных расстояний между каплями в аэрозольном облаке для<br>исключения их соударений .....                                                                             | 76  |
| 2.1.8. Сравнительный анализ характеристик трансформации массивов огнетушащего<br>состава ОС-5 при использовании двух типичных схем сброса в очаг горения .....                                 | 79  |
| 2.1.9. Экспериментальное исследование свободного падения жидкости в заградительную<br>полосу при локализации лесных пожаров .....                                                              | 82  |
| 2.2. Взаимодействие жидкостных составов с лесными материалами .....                                                                                                                            | 88  |
| 2.2.1. Продвижение капель воды в слое лесного горючего материала в процессе его<br>термического разложения .....                                                                               | —   |
| 2.2.2. Термические условия замедления и локализации пиролиза лесного горючего материала .....                                                                                                  | 94  |
| 2.2.3. Подавление термического разложения лесного горючего материала с использованием<br>различных схем распыления воды .....                                                                  | 98  |
| 2.2.4. Особенности распространения капель воды и специальных водных композиций<br>в слое лесного горючего материала .....                                                                      | 102 |
| 2.2.5. Характеристики выхода влаги из слоев лесных горючих материалов с типичными<br>огнетушащими составами .....                                                                              | 108 |
| 2.2.6. Скорости высокотемпературного испарения капель перспективных огнетушащих<br>жидкостей при разных схемах подвода теплоты .....                                                           | 115 |
| 2.2.7. Экспериментальное исследование особенностей взаимодействия огнетушащих<br>составов с твердыми поверхностями: подложки, древесина, хвоя, листья .....                                    | 125 |
| 2.3. Локализация горения степных и низовых лесных пожаров при орошении материалов<br>с воздушных судов .....                                                                                   | 128 |

|                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.3.1. Аналитическое описание спектров капель воды при сбросе воды с самолета..... | 129 |
| 2.3.2. Моделирование авиационного способа тушения лесных пожаров .....             | 132 |
| Библиографический список к главе 2.....                                            | 136 |

## ГЛАВА 3. АВИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВЕРХОВЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ..... 141

|                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Унос капель жидкости восходящими потоками разогретого воздуха и продуктов сгорания. ....                                                                                                                                 | –   |
| 3.1.1. Температурные следы водных аэрозолей, эмульсий, растворов и суспензий, движущихся в обратном потоке высокотемпературных газов .....                                                                                    | –   |
| 3.1.2. Экспериментальные и численные исследования подавления пиролиза лесных горючих материалов под воздействием паров воды .....                                                                                             | 147 |
| 3.1.3. Взаимодействие жидкостного аэрозоля с фронтом горения лесного горючего материала при движении потока воздуха параллельно поверхности ЛГМ.....                                                                          | 149 |
| 3.1.4. Характеристики разлета фрагментов пиролизующихся лесных горючих материалов перед заградительной полосой при воздействии воздушного потока .....                                                                        | 153 |
| 3.1.5. Экспериментальное исследование уноса капель воды из зоны локализации горения и пиролиза лесных горючих материалов воздушным потоком .....                                                                              | 157 |
| 3.2. Продвижение жидкости.....                                                                                                                                                                                                | 163 |
| 3.2.1. Экспериментальные исследования закономерностей разлета термически разлагающихся фрагментов лесных горючих материалов при падении нераспыленного водяного массива в модельный очаг горения низового лесного пожара..... | –   |
| 3.3. Перспективные решения в области распределенной подачи жидкости в зону горения лесного массива.....                                                                                                                       | 167 |
| 3.3.1. Влияние удельного расхода воды на подавление пламенного горения и термического разложения лесных горючих материалов.....                                                                                               | –   |
| 3.3.2. Экспериментальное исследование условий тушения смеси лесных горючих материалов пленкой и малой группой капель.....                                                                                                     | 169 |
| 3.3.3. Подавление пиролиза лесного горючего материала водяным туманом.....                                                                                                                                                    | 179 |
| Библиографический список к главе 3.....                                                                                                                                                                                       | 184 |

## ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАГРАДИТЕЛЬНЫХ ПОЛОС В ВИДЕ УВЛАЖНЕННОГО ЛЕСНОГО МАТЕРИАЛА ПЕРЕД ФРОНТОМ ГОРЕНИЯ ..... 188

|                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. Лабораторные экспериментальные исследования.....                                                                                                                                                          | –   |
| 4.1.1. Предотвращение распространения фронта горения лесного горючего материала с применением водной заградительной полосы: экспериментальные исследования .....                                               | –   |
| 4.1.2. Экспериментальное определение размеров заградительной полосы и удельного расхода воды, обеспечивающих эффективную локализацию и полную остановку движения фронта типичного низового лесного пожара..... | 196 |
| 4.1.3. Численное моделирование уноса фрагментов воды из зоны локализации горения и пиролиза лесных горючих материалов воздушным потоком .....                                                                  | 202 |
| 4.1.4. Локализация термического разложения типичных лесных горючих материалов при образовании буферных полос за счет встречного пала и пролива воды.....                                                       | 206 |
| 4.1.5. Взаимодействие типичных огнетушащих жидкостей с фронтом горения лесных материалов .....                                                                                                                 | 210 |
| 4.1.6. Обобщение результатов экспериментов с целью определения условий локализации горения хвои и смеси лесных материалов с применением комбинированных полос .....                                            | 215 |
| 4.2. Стендовые и полевые испытания .....                                                                                                                                                                       | 219 |
| 4.2.1. Экспериментальное исследование процессов подавления верхового и низового лесных пожаров .....                                                                                                           | –   |
| 4.2.2. Закономерности тепломассообменных процессов при локализации модельных очагов низовых лесных пожаров с применением заградительных полос: полевые испытания .....                                         | 224 |
| 4.2.3. Анализ эффективных условий локализации горения лесных массивов по результатам полевых испытаний.....                                                                                                    | 239 |
| 4.3. Математическое моделирование.....                                                                                                                                                                         | 253 |
| 4.3.1. Определение массы воды, достаточной для подавления термического разложения лесных горючих материалов.....                                                                                               | –   |
| 4.3.2. Численное исследование процессов подавления термического разложения лесных горючих материалов в условиях воздействия пленок и капель воды.....                                                          | 261 |

|                                                                                                                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.3. Численное моделирование процессов теплообмена в слое влажного лесного горючего материала с лучистым нагревом его поверхности источниками разной высоты .....                | 263        |
| 4.3.4. Математическое моделирование процессов испарения капель воды .....                                                                                                          | 265        |
| 4.3.5. Характеристики подавления пламенного горения и термического разложения лесных горючих материалов .....                                                                      | 270        |
| 4.3.6. Математическое моделирование процессов локализации пламенного горения и термического разложения лесных горючих материалов .....                                             | 275        |
| Библиографический список к главе 4 .....                                                                                                                                           | 282        |
| <b>ГЛАВА 5. ПРИМЕНЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ЖИДКОСТНЫХ СОСТАВОВ ПРИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ГОРЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....</b>                                                                  | <b>286</b> |
| 5.1. Растворы, суспензии и эмульсии .....                                                                                                                                          | –          |
| 5.1.1. Изменение времен подавления пламенного горения и термического разложения лесных горючих материалов при использовании водных составов со специализированными примесями ..... | –          |
| 5.1.2. Влияние специализированных добавок на эффективность локализации пламенного горения и термического разложения лесных горючих материалов .....                                | 289        |
| 5.1.3. Закономерности подавления пламенного горения и термического разложения лесных горючих материалов с использованием аэрозолей различной дисперсности .....                    | 295        |
| 5.1.4. Анализ эффективности использования комбинированных заградительных полос для локализации горения хвои и листвы .....                                                         | 302        |
| 5.2. Многокомпонентные смеси .....                                                                                                                                                 | 306        |
| 5.2.1. Взрывной распад двухкомпонентных капель как способ интенсификации процессов распыления жидкостей .....                                                                      | –          |
| 5.2.2. Влияние специализированных добавок и примесей на условия подавления лесного пожара с применением аэрозоля .....                                                             | 310        |
| 5.2.3. Взаимодействие капель огнетушащих жидкостных составов при соударениях в газовой среде .....                                                                                 | 315        |
| 5.2.4. Интенсификация парообразования и вторичного измельчения капель огнетушащих составов .....                                                                                   | 324        |
| Библиографический список к главе 5 .....                                                                                                                                           | 326        |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>                                                                                                                                                            | <b>329</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Выдержки из методических указаний по применению специальных жидкостных составов в условиях авиационного тушения и локализации лесных пожаров .....</b>            | <b>330</b> |
| Библиографический список к приложению 1 .....                                                                                                                                      | 333        |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Список патентов на полезные модели, подготовленных авторами по тематике локализации и тушения пожаров .....</b>                                                   | <b>334</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Список свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, полученных авторами на программные коды с алгоритмами локализации и тушения пожаров .....</b> | <b>335</b> |