

Краткое сообщение

УДК 614.841.2; 614.841.3; 614.842

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-2-172-182

Основные направления предупреждения чрезвычайных лесопожарных ситуаций

Ю.В. Подрезов, *д-р с.-х. наук, доц.*; Researcher ID: [GPF-4864-2022](https://orcid.org/0000-0001-6807-9083),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6807-9083>

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, ул. Давыдовская, д. 7, Москва, Россия, 121352

Поступила в редакцию 03.02.22 / Одобрена после рецензирования 10.05.22 / Принята к печати 11.05.22

Аннотация. Исследованы основные существующие на сегодняшний день проблемы борьбы с чрезвычайными лесопожарными ситуациями в организационном и техническом аспектах. Анализ проблем в области лесной пирологии на основе принципов системного подхода и методов логического анализа и синтеза протекающих процессов свидетельствует о необходимости разработки современных подходов к организации борьбы с лесными пожарами разных видов, которые нередко являются источниками чрезвычайных лесопожарных ситуаций различных масштабов. Установлено, что научно-обоснованные подходы к организации и реализации мероприятий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных лесопожарных ситуаций должны основываться на создании и функционировании адекватной системы поддержки научно-обоснованных управленческих решений. В основе такой системы должны лежать процессы организации комплексного мониторинга и прогнозирования лесопожарной обстановки, динамики и последствий лесных пожаров – источников чрезвычайных лесопожарных ситуаций различных видов – и непосредственно самих чрезвычайных лесопожарных ситуаций. Существует множество характеризующихся различной степенью эффективности, экологичности, экономичности и оперативности отработанных на практике за многолетний период способов тушения лесных пожаров. Однако анализ результативности (с точки зрения снижения количества пожаров и пройденных огнем лесных площадей) этих, как правило, традиционных способов показывает необходимость их совершенствования, а также разработки и реализации новых современных способов борьбы с лесными пожарами (прежде всего, с их поражающими факторами). Предложено снижать класс пожарной опасности погодных условий, используя экологически чистый и эффективный способ, основанный на электрофизических методах коррекции погодных условий. Данный способ и технология прошли многократную натурную экспериментальную проверку в различных географических условиях Российской Федерации и в ряде зарубежных стран. Следует отметить хорошие перспективы способа и основанных на нем технологий предупреждения и тушения крупных лесных пожаров, борьбы с поражающими факторами источников чрезвычайных лесопожарных ситуаций.

Ключевые слова: лесопожарная обстановка, лесной пожар, мониторинг лесов, прогнозирование лесных пожаров, управленческие решения, ущерб от лесных пожаров, чрезвычайная лесопожарная ситуация

Для цитирования: Подрезов Ю.В. Основные направления предупреждения чрезвычайных лесопожарных ситуаций // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 2. С. 172–182. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-2-172-182>

Brief presentation

Principal Directions for Prevention of Emergency Fire Situations in Forests

Yury V. Podrezov, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.; Researcher ID: [GPF-4864-2022](https://orcid.org/0000-0001-6807-9083),
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6807-9083>

All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergency Situations of the Ministry of Emergency Situations of Russia (Federal Center for Science and High Technologies), ul. Davydkovskaya, 7, Moscow, 121352, Russian Federation

Received on February 03, 2022 / Approved after reviewing on May 10, 2022 / Accepted on May 11, 2022

Abstract. The study investigates the central current issues in extreme forest fire extinction from organizational and technological perspectives. An analysis of the problems in the field of forest pyrology is established on the principles of systematic approach, methods of logical analysis and synthesis of ongoing processes. It indicates the need to develop modern mechanisms against forest fires of various types, which are often the origins of emergency forest fires of various scales. It has been determined that the scientifically substantiated ways of arrangement and implementation of measures for fire prevention and elimination should be supported by an adequate functioning system for scientifically based management decisions. Such a system should be grounded on the processes of the integrated fire monitoring and predicting of the forest fire situation, supervising and estimating the dynamics as well as consequences of the forest fires, their sources of various types and emergency scenarios with gradated threat scales. There are multiple fire extinguishing techniques with various productivity, environmental friendliness, cost efficiency, speed response that have been practically proven over a long period of time. Although the elevation of the results, according to the parameters of the reduced number of burns and the forest areas covered by fire, shows the need for improvement, as well as the generation and realization of the new modern methods against burns on wooded areas especially with the damaging factors. It is recommended to reduce the fire hazard class caused by weather conditions by using an environmentally compatible and efficient electrophysical principals. Such response procedures have gone through an extensive practical examination in different geographical conditions of the Russian Federation and in several foreign countries. It should be mentioned that this approach has a great potential for prevention and termination of large forest fires, reducing the damaging factors coming from the sources of emergency fire situations.

Keywords: forest fire situation, forest fire, forest monitoring, prediction forest fires, management decisions, damage form forest fires, emergency fire situations

For citation: Podrezov Yu.V. Principal Directions for Prevention of Emergency Fire Situations in Forests. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 2, pp. 172–182. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-2-172-182>

Введение

Лесные пожары (ЛП) являются источниками серьезной природной опасности во многих странах мира, в том числе в России с ее огромными лесными площадями. Чрезвычайные лесопожарные ситуации (ЧЛС) различных масштабов – развившиеся и трансформировавшиеся ЛП – представляют еще большую опасность для населения и территорий нашей страны [6, 7, 14, 15, 17].

Исследованию особенностей возникновения и развития различных видов ЛП посвящено множество работ ученых и специалистов из разных стран мира, прежде всего, из стран с большими лесопокрытыми площадями, включая СССР и Россию. Это труды И.С. Мелехова, Э.Н. Валендика, Н.П. Курбатского, Г.А. Доррера, R.C. Rothermel, С.Е. Van Wagner, G.M. Byram. Труды [1–4, 12, 14, 20, 22, 28, 30] стали классикой лесной пирологии. Крупных теоретических работ, посвященных исследованию особенностей возникновения и динамики именно ЧЛС различных масштабов, на базе системного подхода на данный момент насчитывается немного, хотя теория и практика лесной пирологии и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) настоятельно требуют создания и развития новых методологических подходов, новых знаний в указанной области.

Проблематика борьбы с ЧЛС представляет собой комплекс крупных научных проблем, требующих всестороннего исследования и включающих ряд базовых аспектов, касающихся мониторинга и прогнозирования, а также планирования и реализации мероприятий по предупреждению и ликвидации ЛП, прежде всего, источников ЧЛС, и в настоящее время проанализирована не полностью. На основе многолетних исследований автора целесообразно выделить направления и проблемные аспекты борьбы с ЧЛС – мониторинг, прогнозирование, планирование и реализацию мероприятий по предупреждению и ликвидации не только ЛП, но и, в первую очередь, вызываемых ими ЧЛС. От своевременности и полноты выявления источников ЧЛС (посредством лесопожарного мониторинга), от достоверности и качества прогнозирования динамики ЛП и вызываемых ими ЧЛС, планирования и последующей реализации предупредительных противопожарных мероприятий и мероприятий по борьбе с ЧЛС зависят масштабы и тяжесть последствий ЛП и вызываемых ими ЧЛС.

Подтверждением факта нерешенности ряда проблем в области лесной пирологии, защиты населения и территорий от поражающих факторов ЧЛС являются значительные площади, ежегодно проходимые в нашей стране ЛП, а также их трансформация в ЧЛС различных масштабов. Примером может служить сложная лесопожарная обстановка в Республике Саха (Якутия) летом 2021 г., когда вследствие тяжелых в лесопожарном отношении погодных условий (жара, почти полное отсутствие осадков, сильные ветра и т. п.) возникло множество ЛП, в том числе достаточно опасных и быстро распространяющихся – верховых, – которые переросли в ряд ЧЛС регионального масштаба с реагированием федерального уровня. Подобным ситуациям способствуют: ряд упущений в организации планирования и проведения предупредительных (профилактических) мероприятий и мероприятий по борьбе с ЛП и ЧЛС, отсутствие целостной межведомственной системы поддержки управленческих решений по предупреждению ЛП и борьбе с ними и вызываемыми ими ЧЛС, а также отсутствие в современной практике лесопожарных служб высокоэф-

фективных и достаточно оперативных способов и технологий борьбы с ЛП. Все это свидетельствует об актуальности исследуемой проблематики.

Цель исследования – анализ проблем борьбы с ЧЛС и путей их решения.

Для достижения цели были обозначены проблемы, которые призвана решить данная статья. В частности, среди современных актуальных проблем борьбы с ЧЛС целесообразно выделить следующие проблемы, требующие всестороннего исследования [1–30]:

комплексного мониторинга и прогнозирования лесопожарной обстановки (далее – ЛПО) на различных территориях лесного фонда и земель, не входящих в лесной фонд нашей страны;

мониторинга и прогнозирования динамики и последствий ЛП различных видов и ЧЛС;

математического моделирования динамики и последствий ЛП различных видов и вызываемых ими ЧЛС;

организации эффективной борьбы с ЛП и ЧЛС;

разработки новых эффективных и экологически чистых способов и технологий борьбы с ЛП и ЧЛС, совершенствования существующих.

Объекты и методы исследования

Анализ современных особенностей борьбы с ЧЛС позволяет сделать выводы о том, что в основе решения большинства проблем должны лежать методические подходы, обеспечивающие обоснование и научную поддержку управленческих решений по предупреждению ЧЛС и борьбе с ними с учетом динамики их источников [14, 15, 18].

Борьба с ЧЛС начинается с выявления очагов возгораний на лесной площади и заканчивается ликвидацией источника ЧЛС. Между двумя этими этапами борьба с ЧЛС проходит ряд стадий, в основе которых лежит преодоление проблем, требующих решений со стороны органов управления, ответственных за борьбу с поражающими факторами источников ЧЛС.

Результаты анализа научной лесопирологической литературы и литературы в области защиты населения и территорий от ЧС природного характера свидетельствуют о том, что динамика ЧЛС во многом определяется динамикой источников ЧЛС – ЛП [12–14].

Рассмотрение основных современных проблемных аспектов борьбы с ЧЛС показывает целесообразность выделения 2 основных направлений: необходимость адекватной организации борьбы с ЧЛС через создание системы поддержки управленческих решений и разработка эффективных экономически обоснованных, не загрязняющих окружающую среду способов и средств предупреждения и борьбы с ЛП – источниками ЧЛС.

Исследование проблемы поддержки управленческих решений при борьбе с ЧЛС свидетельствует о том, что в основе такой поддержки должно лежать моделирование динамики источников ЧЛС – ЛП различных видов. Известны различные виды классификаций ЛП. Наиболее признанная классификационная схема выделяет низовые, верховые и подстилочные (лесоторфяные) ЛП. Именно эти разновидности ЛП являются, в зависимости от своей динамики, источниками ЧЛС различных масштабов. Каждый ЛП имеет особенности развития, что связано как со средой его распространения, так и с условиями, в которых он

действует и развивается. Для эффективной борьбы с указанными источниками ЧЛС необходимо предвидеть их динамику и последствия, отсюда вытекает проблема адекватного моделирования и прогнозирования динамики и последствий ЧЛС. Последнее возможно посредством использования ряда современных и классических методов: системного подхода; анализа и синтеза процессов; логического, вероятностного и статистического моделирования; математической статистики; факторного анализа; исследования операций; экспертных оценок; экспериментальных методов и ряда других [7–9, 12–17, 24–27].

Поскольку область исследования проблем борьбы с ЧЛС достаточно обширна и предполагает изучение динамики их источников – ЛП различных видов, которые являются стохастическими процессами, а также непосредственно моделирования динамики и последствий ЧЛС, то в каждом конкретном случае исследователь выбирает метод исследования в зависимости от конкретной решаемой задачи: возможны разработка аналитических, статистических, вероятностных, логических (в том числе на основе булевой алгебры) и ряда других математических моделей, а также применение факторного анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

Как показывают материалы выполненного на основе методов системного и логического анализа исследования, научная поддержка управленческих решений при организации борьбы с ЧЛС должна базироваться на результатах математического моделирования, в том числе с использованием комплекса динамических математических моделей, описывающих динамику различных видов ЛП, а также на комплексе динамических математических моделей, характеризующих последствия ЛП.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что в основе выбора метода исследования лежит необходимость адекватного моделирования с точки зрения как полноты, так и точности описания моделируемого процесса. При разработке прогнозных моделей требуется учитывать возможности сбора мониторинговых данных, которые будут использоваться в указанных моделях.

Анализируя процесс моделирования динамики ЧЛС, следует рассматривать моделирование динамики ЛП и их последствий, причем ЛП различных видов, так как каждый вид имеет свои особенности распространения. Общим для всех видов ЛП при разработке моделей для систем поддержки управленческих решений при организации борьбы с ЧЛС является необходимость выбора характеристики (параметра) пожара, которая должна лежать в основе моделирования динамики и последствий ЧЛС. Результаты исследований показывают, что в качестве такой достаточно интегральной характеристики или параметра ЛП следует рассматривать динамику его площади или периметра. Подобный подход использован в ряде лесопирологических исследований автора статьи [12–14].

Моделирование последствий ЧЛС представляет собой крупную сложную научную проблему, в основе которой лежит моделирование динамики ЛП и других поддающихся оценке составляющих последствий, иначе говоря, моделирование динамики ущерба, наносимого поражающими факторами ЛП.

В литературе, посвященной проблематике лесной пирологии, уделено к настоящему времени недостаточное внимание проблематике оценки ущерба при ЧЛС.

Как показывают результаты исследований, для поддержки и обоснования управленческих решений необходимо моделировать в общем случае величину всех составляющих ущерба: экономической, социальной, экологической – и общую (суммарную) величину ущерба. Нанесение ущерба при ЧЛС возможно при воздействии поражающих факторов источников таких ЧС на населенные пункты, объекты экономики и объекты окружающей природной среды. При ЛП лес теряет способность выполнять основные функции: экономическую (сырьевую), средозащитные (водоохранную и водорегулирующую, санитарно-гигиеническую, почво- и полезащитную), рекреационную – при этом уничтожаются или количественно сокращаются пищевые, лекарственные, технические и минеральные ресурсы [12–14].

В общем случае экономический ущерб складывается из потерь основных фондов и убытков пользователей (недобор прибыли). Ущерб, наносимый основным фондам экономики, в специальной литературе определяется как потери, ущерб оборотным фондам (затраты на превентивные и аварийно-спасательные, восстановительные (включая ремонтные) работы), а также недополучение прибыли предприятиями и организациями относятся к убыткам [12, 14].

Методически важно указать на то, что экономический ущерб включает ущерб от снижения или прекращения сырьевой функции леса и производственный ущерб (ущерб объектам экономики и обороны). Ущерб от снижения и прекращения сырьевой функции леса – это ущерб от потерь древесины и дров, а также недревесной продукции леса: грибов, ягод, пищевых продуктов, орехов, лекарственных, технических, кормовых трав, кустарников, живицы и т. п. [12, 14]. В производственный ущерб (ущерб объектам экономики) входит ущерб от уничтожения или повреждения промышленных и сельскохозяйственных зданий, сооружений и построек; готовой продукции, полуфабрикатов и сырья; промышленного и сельскохозяйственного оборудования, техники и аппаратуры; сельскохозяйственных животных и птиц, посевов, растений и т. п. Сюда в ряде случаев относят ущерб объектам обороны [12, 14].

При определении величины ущерба при ЧЛС целесообразно учитывать комплекс затрат, связанных с применением сил и средств, питанием работающих, их медицинским обеспечением, почтовыми расходами, организацией отдыха и проживания и т. п. [12, 14].

Составляющие социального ущерба, которые могут быть оценены, включают ущерб от причинения вреда жизни и здоровью людей; от повреждения или уничтожения жилых домов и построек населения, посевов и растений на приусадебных участках; уничтожения домашнего скота и птицы. Ряд факторов при этом трудно оценить в стоимостном выражении. Это ухудшение состояния здоровья населения, снижение продолжительности жизни и сроков трудовой деятельности, стрессовые состояния и т. п. К социальному ущербу необходимо относить и снижение или потерю рекреационных функций леса [12, 14].

Ущерб при ЧЛС, как и при ЧС других видов, можно разделить на прямой и косвенный. Прямой ущерб при ЧЛС складывается из потерь базиса производства – потерь древесины, государственных и коммерческих промышленных и

сельскохозяйственных предприятий, населения, величины экологического и социального ущерба. Прямой ущерб, как правило, можно оценить или спрогнозировать более или менее точно и полно. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что для поддержки управленческих решений принципиально важно, чтобы ущерб оценивался в стоимостном выражении, например в рублях. Косвенный ущерб – это ущерб, наносимый предприятиям и организациям, населению, находящемуся вне зоны прямого воздействия поражающих факторов ЛП. Косвенный ущерб является следствием прямого ущерба.

Оценка ущерба при ЧЛС, в том числе и прогнозная, диктуется, прежде всего, прикладными требованиями. В одних ситуациях необходима наиболее полная и точная оценка ущерба, в других – оперативные или ориентировочные прогнозные оценки, пригодные для адекватной поддержки и обоснования управленческих решений по борьбе с ЧЛС.

По результатам проведенных исследований следует сделать вывод о том, что критериями по отнесению ЛП к ЧЛС, необходимыми для принятия решений по борьбе с ЧЛС, являются [12, 14]: угроза жизни или гибель людей, нарушение нормальных условий жизнедеятельности и угроза здоровью людей, угроза уничтожения (или уничтожение) важнейших объектов экономики (включая объекты обороны), ущерб при воздействии поражающих факторов источника ЧЛС на окружающую природную среду (лес, продукты побочного и прижизненного пользования и т. д.). Первые два критерия целесообразно относить к социальным, 3-й – к экономико-социальным, 4-й – к экономико-эколого-социальным.

В основе принятия управленческих решений должны лежать следующие принципы [12–14]:

безусловной защищенности людей при ЧЛС, т. е. необходимость защитить людей независимо от величины затрат на проведение мероприятий по защите;

безусловной защищенности важнейших объектов экономики, т. е. защита объектов, имеющих ключевое значение для развития экономики страны и поддержания ее обороноспособности (иначе говоря, критически важных объектов разных уровней);

экономической целесообразности выполнения мероприятий по ликвидации ЧЛС.

Для создания и функционирования системы поддержки управленческих решений по борьбе с ЧЛС помимо комплексов согласованных между собой математических моделей для прогнозирования динамики и последствий ЧЛС необходима их программно-техническая реализация на основе современных быстродействующих персональных ЭВМ, объединенных в вычислительную сеть. Такая сеть должна функционировать на единых программных продуктах с возможностью получения требуемой мониторинговой информации (метеорологической, статистической и т. п.) в реальном (или квазиреальном – близком к реальному) режиме времени для обеспечения более достоверных и точных результатов прогнозирования. Кроме того, должны быть созданы центры обработки мониторинговой и прогнозной информации (возможно, межведомственные) с целью организации работы с получаемыми данными, их анализа, выработки необходимых управленческих решений и рекомендаций, а также оперативного доведения ее потребителям, непосредственно реализующим меры по борьбе с ЧЛС [12–14].

Таким образом, в целях адекватной и обоснованной в научном плане (на принципах системного подхода) поддержки управленческих решений при организации борьбы с ЧЛС целесообразно создание прогнозных моделей, в которых выходные данные моделей, касающиеся динамики непосредственно самого опасного процесса (ЛП), являются входными для прогнозирования ущерба при ЧЛС в его динамике.

Для обоснования решений органами управления или лицами, принимающими решения, необходимы как математические модели прогнозирования ущерба при ЧЛС для его оперативной оценки, например экспресс-модели, так и более точные и «подробные» модели для оценки всех составляющих ущерба, а также суммарного ущерба при ЧЛС.

В теории и практике борьбы с ЧЛС важной (базовой) составляющей являются способы, средства и технологии борьбы непосредственно с источниками ЧЛС. К настоящему времени в распоряжении лесопожарных служб и подразделений есть способы и технологии, основа которых – воздействие на огонь ЛП различными механическими средствами, водой, огнетушащими составами с добавками, а также искусственными осадками, вызываемыми при помощи химических реагентов. Характерными для всех указанных способов и технологий недостатками являются их невысокая эффективность и отсутствие оперативности борьбы с ЛП, сложность использования для проведения предупредительных мероприятий, дороговизна реализации.

Вместе с тем результаты проведенных исследований, учет данных анализа многолетнего опыта борьбы с ЛП различных видов показывают необходимость решения крупной научно-прикладной проблемы по разработке новых современных эффективных экологически чистых способов и технологий борьбы с источниками ЧЛС – ЛП различных видов, а также относительно недорогих способов и технологий предупреждения возникновения ЛП. Наиболее полезными с точки зрения затрат на тушение ЛП и уменьшения потенциального ущерба при ЧЛС являются способы и технологии, основанные на предварительном увлажнении лесных горючих материалов искусственными осадками на лесных площадях, равных по размерам средним лесничествам, при 4-м и 5-м классах пожарной опасности погодных условий (по критерию Нестерова). Указанные способы и технологии целесообразно применять и для тушения лесных пожаров, в том числе крупных, включая верховые. Данные способы и технологии разработаны и прошли натурную экспериментальную проверку в МЧС России в прошедшие годы, показав положительные результаты [12–14].

Заключение

В процессе проведенного исследования впервые был выполнен в организационном и техническом аспектах комплексный анализ базовых научно-прикладных проблем, существенно влияющих на результативность борьбы с поражающими факторами источников чрезвычайных лесопожарных ситуаций различных видов – лесных пожаров.

Сделан вывод о том, что причиной ряда недостатков в работе по борьбе с лесными пожарами является отсутствие на данный момент: целостной эффективной системы оперативной поддержки и научного обоснования управленче-

ских решений, принимаемых органами управления, ответственными за борьбу с чрезвычайными лесопожарными ситуациями, базирующейся на адекватном математическом моделировании, оперативном сборе и использовании в процессе прогнозирования достоверных исходных (мониторинговых) данных и современных средствах их обработки; эффективных и экологически чистых способов и технологий предупреждения и борьбы с различного вида источниками чрезвычайных лесопожарных ситуаций, широко применяемых на практике.

Исследование позволило разработать, обосновать и кратко описать конкретные направления решения, в научном и техническом аспектах, вышеуказанных проблем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Арцыбашев Е.С. Тушение лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками из облаков. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 87 с. Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/arcybash/text.pdf> (дата обращения: 12.09.22).
Artsybashev E.S. *Extinguishing Forest Fires by Artificially Induced Precipitation from Clouds*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 87 p. (In Russ.).
2. Вакуров А.Д. Лесные пожары на Севере. М.: Наука, 1975. 100 с. Режим доступа: <http://www.forestforum.ru/info/history/vakurov.pdf> (дата обращения: 12.09.22).
Vakurov A.D. *Forest Fires in the North*. Moscow, Nauka Publ., 1975. 100 p. (In Russ.).
3. Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. М.: Наука, 1979. 198 с. Режим доступа: <https://www.booksite.ru/fulltext/rusles/krupn/text.pdf> (дата обращения: 12.09.22).
Valendik E.N., Matveyev P.M., Sofronov M.A. *Large Forest Fires*. Moscow, Nauka Publ., 1979. 198 p. (In Russ.).
4. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 161 с.
Dorrer G.A. *Mathematical Models of Forest Fire Dynamics*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1979. 161 p. (In Russ.).
5. Горелова В.Л., Мельникова Е.Н. Основы прогнозирования систем. М.: Высш. шк., 1986. 288 с.
Gorelova V.L., Melnikova E.N. *Fundamentals of Systems Prediction*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1986. 288 p. (In Russ.).
6. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1992. 405 с.
Grishin A.M. *Mathematical Modeling of Forest Fires and New Ways to Fight Them*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992. 405 p. (In Russ.).
7. Лисичкин В.А. Теория и практика прогностики. Методологические аспекты. М.: Наука, 1972. 224 с.
Lisichkin V.A. *Theory and Practice of Forecasting. Methodological Aspects*. Moscow, Nauka Publ., 1972. 224 p. (In Russ.).
8. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. М.: Прогресс, 1977. 591 с.
Martino J. *Technological Forecasting*. Moscow, Progress Publ., 1977. 591 p. (In Russ.).
9. Мелехов И.С. Лесные пожары и борьба с ними. М.: Кн. по Требованию, 2012. 81 с.
Melekhov I.S. *Forest Fires and Their Suppression*. Moscow, Kniga po Trebovaniyu Publ., 2012. 81 p. (In Russ.).
10. Перминов В.А. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск, 2010. 282 с.

Perminov V.A. *Mathematical Modeling of Crown and Large Forest Fires Occurrence*: Dr. Phys.-Math. Sci. Diss. Tomsk, 2010. 282 p. (In Russ.).

11. Поддубный А. Расчет экономического эффекта от внедрения системы автоматизации // Antegra consulting. Режим доступа: http://www.antegra.ru/news/experts/_det-experts/4/ (дата обращения: 12.09.22).

Poddubnyy A. Calculation of the Economic Effect from the Automation System Implementation. *Antegra Consulting*: Digital source. (In Russ.).

12. Подрезов Ю.В. Методологические основы прогнозирования динамики и последствий чрезвычайных лесопожарных ситуаций: дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 2005. 394 с.

Podrezov Yu.V. *Methodological Fundamentals for Predicting the Dynamics and Consequences of Forest Fire Emergencies*: Dr. Agric. Sci. Diss. Mytishi Branch of BMSTU Publ., 2005. 394 p. (In Russ.).

13. Подрезов Ю.В. Методический подход к оценке достаточности мероприятий по предупреждению чрезвычайных лесопожарных ситуаций на территории Российской Федерации // Материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемирн. дню гражд. обороны «Гражданская оборона на страже мира и безопасности»: в 4 ч. Ч. II / сост. В.С. Бутко, М.В. Алешков, С.В. Подкосов, А.Г. Заворотный и др. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2022. С. 24–27.

Podrezov Yu.V. Methodological Approach for Estimation the Sufficiency of Measures to Prevent Emergency Forest Fire Situations on the Territory of the Russian Federation. *Proceedings of the 6th International Scientific-Practical Conference dedicated to the World Civil Defense Day "Civil Defense on Guard of Peace and Security"*. Moscow, State Fire Service Academy of the EMERCOM of Russia Publ., 2022, pp. 24–27. (In Russ.).

14. Подрезов Ю.В., Шахрамьян М.А. Методологические основы прогнозирования последствий чрезвычайных лесопожарных ситуаций: моногр. 1-е изд. М.: ВНИИ ГОЧС, 2001. 246 с.

Podrezov Yu.V., Shakhramanyan M.A. *Methodological Basis for Predicting the Consequences of Forest Fire Emergencies*: Monograph. First edition. Moscow, VNI GOChS Publ., 2001. 246 p. (In Russ.).

15. Саркисян С.А., Минаев Э.С., Каспин В.И. и др. Теория прогнозирования и принятия решений / под ред. С.А. Саркисяна. М.: Высш. шк., 1977. 351 с.

Sarkisyan S.A., Kaspin V.I., Lisichkin V.A., Minayev E.S., Pasechnik G.S. *Theory of Prediction and Decision-Making*. Moscow, 1977. 351 p. (In Russ.).

16. Тихомиров Н.П., Попов В.А. Методы социально-экономического прогнозирования. М.: ВЗПИ, Росвузнаука, 1992. 228 с.

Tikhomirov N.P., Popov V.A. *Methods of Socio-Economic Forecasting*. Moscow, VZPI: Rosvuznauka Publ., 1992. 228 p. (In Russ.).

17. Червоный М.Г. Охрана лесов от пожаров. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 104 с.

Chervonnyy M.G. *Protecting Forests from Fires*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 104 p. (In Russ.).

18. Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. М.: Прогресс, 1974. 586 с.

Yanch E. *Forecasting Scientific and Technological Progress*. Moscow, Progress Publ., 1974. 586 p. (In Russ.).

19. Byram G.M. Combustion of Forest Fuels. *Forest Fire: Control and Use*. Ed. by K.P. Davis. New York, McGraw-Hill Publ., 1959, pp. 61–89.

20. Chuvieco E., Aguadoa I., Yebraa M., Nieto H., Salas J., Martín M.P. et al. Development of a Framework for Fire Risk Assessment Using Remote Sensing and Geographic Information System Technologies. *Ecological Modelling*, 2010, vol. 221, iss. 1, pp. 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.11.017>

21. Cruz M.G., Alexander M.E., Wakimoto R.H. Development and Testing of Models for Predicting Crown Fire Rate of Spread in Conifer Forest Stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005, vol. 35, no. 7, pp. 1626–1639. <https://doi.org/10.1139/x05-085>
22. Davis R., Yang Z., Yost A., Belongie C., Cohen W. The Normal Fire Environment – Modeling Environmental Suitability for Large Forest Wildfires Using Past, Present, and Future Climate Normals. *Forest Ecology and Management*, 2017, vol. 390, pp. 173–186. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.027>
23. Martínez J., Vega-García C., Chuvieco E. Human-Caused Wildfire Risk Rating for Prevention Planning in Spain. *Journal of Environmental Management*, 2009, vol. 90, no. 2, pp. 1241–1252. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.005>
24. Mavsar R., Cabán A.G., Varela E. The State of Development of Fire Management Decision Support Systems in America and Europe. *Forest Policy and Economics*, 2013, vol. 29, pp. 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.11.009>
25. Perminov V., Goudov A. Mathematical Modeling of Forest Fires Initiation, Spread and Impact on Environment. *International Journal of GEOMATE*, 2017, vol. 13, no. 35. <https://doi.org/10.21660/2017.35.6704>
26. Rothermel R.C. *Predicting Behavior and Size of Crown Fires in the Northern Rocky Mountains*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 1991. 46 p. <https://doi.org/10.2737/INT-RP-438>
27. Safi Y., Bouroumi A. Prediction of Forest Fires Using Artificial Neural Networks. *Applied Mathematical Sciences*, 2013, vol. 7, pp. 271–286. <https://doi.org/10.12988/ams.2013.13025>
28. Sanchez H. *Forest Fires and Research Priorities in Mexico*. Vol. 2. Mexico, Mexican Forestry Congress, 1989, pp. 719–723.
29. Satir O., Berberoglu S., Donmez C. Mapping Regional Forest Fire Probability Using Artificial Neural Network Model in a Mediterranean Forest Ecosystem. *Geomatics Natural Hazards and Risk*, 2016, vol. 7, no. 5, pp. 1645–1658. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1084541>
30. Van Wagner C.E. Conditions for the Start and Spread of Crown Fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 1977, vol. 7, no. 1, pp. 23–34. <https://doi.org/10.1139/x77-004>

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest