СИБИРСКАЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГПС МЧС РОССИИ

Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций

Сборник статей по материалам
V всероссийской научно-практической конференции

г. Железногорск, 2015 г.

Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Сборник статей по материалам V всероссийской научно-практической конференции. г. Железногорск, 2015 г. / Составители: Мельник А.А., Батуро А.Н., Иванов Д.В., Гуляева Е.В., Калюжина Ж.С. – Железногорск, 2015. – 136 с.

V всероссийская научно-практическая конференция «Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций» состоялась 17 июня 2015 года в г. Железногорске Красноярского края на базе ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России.

В сборнике представлены материалы конференции, рассматривающие вопросы по следующим направлениям:

- мониторинг опасных природных процессов;
- прогнозирование чрезвычайных ситуаций и их последствий;
- моделирование природных и техногенных рисков;
- информационное и аналитическое обеспечение действий подразделений МЧС России.

Материалы представляют интерес для специалистов, занимающихся вопросами в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, пожарной и промышленной безопасности.

Материалы публикуются в авторской редакции.

УДК 634.0.43

ББК 43.488

© ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, 2015

Содержание

Пленарное заседание **6**

Развитие системы радиационного мониторинга Красноярского края в рамках мероприятий «Развитие системы обеспечения аварийного реагирования в субъектах Российской Федерации» 6
В.И. Терешков

Проблема массового «цветения» цианобактерий в водоемах Сибири: последствия, механизмы, прогноз, управление 11
А. Г. Дегерменджи, И.И. Гительзон, Н.Н. Дегерменджи

Современные теоретические представления о шаровой молнии 16
В.В. Шайдуров

Проблема лесных пожаров в Сибири 21
П.А. Цветков

Волны-убийцы: обработка данных наблюдений 25
К.В. Симонов, М.А. Курако, Н.О. Кудря

Прогноз поведения и последствий лесных пожаров 30
А.В. Волокитина, М.А. Корец, Т.М. Софронова

Секция 1. Чрезвычайные ситуации и техногенные катастрофы. Обеспечение деятельности подразделений МЧС России **34**

Катастрофические степные пожары: проблемы и пути их решения 34
Э.Н. Валендик, Е.К. Кисиляхов, И.В. Косов, А.И. Лобанов, Е.И. Пономарев

Борьба со степными пожарами выжиганием заградительных полос 36
С.Н. Орловский

Дистанционный метод оценки спутникового мониторинга энергетических параметров лесных пожаров 40
Е.И. Пономорев, Ю.О. Усатая

Борьба с торфяными пожарами локализацией их заградительными барьерами из огнестойкой быстротвердеющей пены 44
С.Н. Орловский

Орудие для прокладки пенных опорных полос для борьбы с лесными пожарами и тактические расчёты его применения 50
С.Н. Орловский, Ю.В. Французенко

Применение метода подвижных сеток для расчета локализационных траекторий при управлении лесопожарной ситуацией 54
С.В. Яровой, Г.А. Доррер

Дисциплина «Мониторинг безопасности» в АГЗ МЧС России 58
И.А. Тулаев, Г.Н. Шаповалова, К.В. Тугушов

Космический мониторинг, как важнейший компонент информационного обеспечения национальных служб реагирования на чрезвычайные ситуации развитых государств 61
А. А. Горбунов, А.Ю. Пономорчук

Совершенствование методов расчета параметров эвакуации людей при пожарах в зданиях различного функционального назначения 65
И.В. Костерин, О.И. Орлов, О.И. Цеценевская

Совершенствование механизмов оценки эффективности информирования и оповещения населения в местах массового пребывания людей на основе алгоритмов технического зрения 68
О.И. Орлов, И.В. Костерин, О.И. Цеценевская

Исследование гравитационных тепловых труб, работающих в качестве сезонных охладителей грунта 70
В.В. Ананьев, Н.А. Бучко

Секция 2. Мониторинг и моделирование опасных природных процессов 76

Спутниковые данные в оценке параметров лесных пожаров Сибири 76
Е.И. Пономарев, Е.Г. Швецов

Разработка мягких моделей динамики фронта и площади природного пожара 79
В.С. Коморовский

Информационные модели мониторинга циклических чрезвычайных ситуаций 84
В.В. Ничепорчук

Наземная лазерная съемка как инструмент для качественной пространственной оценки ущерба от лесных пожаров 89
А.В. Брюханов, А.В. Панов, С.В. Калякин, Н.В. Сиденко, В.М. Гузий

Мониторинг воздействия пожаров на лесные экосистемы Забайкальского края 93
Е.А. Кукавская, Е.Г. Швецов, Л.В. Буряк, О.П. Каленская

Анализ факторов, повлиявших на катастрофические природные пожары в Хакасии в апреле 2015 года 98
И.А. Буслов, Г.А. Доррер

Повышение пожарной и промышленной безопасности на магистральных газопроводах с помощью использования геоинформационной системы при прогнозировании применения пожарно-спасательных подразделений 103
Д.С.Буданов

Сравнительный анализ методик прогнозирования взрывов газопаровоздушных смесей на примерах реальных промышленных аварий 106
С.Г. Алексеев, Е.С. Гурьев, А.С. Авдеев, Н.М. Барбин К.С. Алексеев, С.Г. Алексеев, Н.М. Барбин

Сравнительный анализ методов определения температуры вспышки на примере диалкиламинов 109
В.В. Смирнов, С.Г. Алексеев, А.Ю. Кошелев

Уменьшение рисков возникновения пожаров на базе данных космического мониторинга термических точек 111
М.В. Елфимова, В.В. Двирный, В.В. Голованова, Г.В. Двирный, К.М. Двирная

Прогнозирование последствий опасности использования космических аппаратов с ядерным реактором 118
В.В. Двирный, М.В. Елфимова, Г.В. Двирный, В.В. Голованова, Д.О. Козлов

Анализ сложившейся пожарной обстановки на территории республики Хакасия в апреле 2015 г. 123
С.С. Мещеряков, С.А. Савельева

Для заметок 128

Пленарное заседание

Развитие системы радиационного мониторинга Красноярского края в рамках мероприятий «Развитие системы обеспечения аварийного реагирования в субъектах Российской Федерации»

В.И. Терешков

Главное управление МЧС России по Красноярскому краю

Целью работы является развитие территориальной системы радиационного мониторинга и аварийного реагирования (ТСРМАР) Красноярского края для обеспечения защиты населения и территорий от ЧС с радиационным фактором.

Назначением ТСРМАР является осуществление в автоматизированном режиме контроля ключевых параметров радиационной обстановки, раннее предупреждение о возникновении ЧС с радиационным фактором, прогноз развития ЧС и их последствий, научно-техническая и информационная поддержка деятельности территориальных и федеральных органов исполнительной власти при принятии решений по защите населения и территорий и обеспечению радиационной безопасности на территории субъекта Российской Федерации.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработка, изготовление и установка постов контроля радиационной обстановки на территории Красноярского края (10 постов); изготовление и поставка передвижной радиометрической лаборатории (ПРЛ) в количестве 1 единицы;
- адаптация и установка программно-технических средств поддержки принятия решений, круглосуточного обеспечения научно-технической поддержки Главного управления МЧС России по Красноярскому краю (далее – Главное управление) при чрезвычайных ситуациях с радиационным фактором;
- подготовка и обучение специалистов Главного управления правилам эксплуатации созданных элементов территориальной системы, организации передачи данных радиационного мониторинга (РМ) в Главное управление МЧС России по Красноярскому краю.

ТСРМАР будет решать следующие основные задачи:

- осуществлять непрерывный автоматизированный контроль ключевых параметров радиационной обстановки и их передачу в ЦСОИ;
- осуществлять обработку, хранение и представление оперативных данных с использованием геоинформационных технологий;

- иметь автоматическую сигнализацию при превышении контролируемых параметров радиационной обстановки установленных пороговых значений;
- производить оценку и прогноз радиационной обстановки в случае ЧС с радиационным фактором, оценку возможных доз облучения населения, выработку рекомендаций по мерам защиты населения;
- осуществлять информационную поддержку деятельности территориальных и федеральных органов исполнительной власти по обеспечению защиты населения и территорий от ЧС с радиационным фактором.

Общие требования к созданию ТСРМАР: ТСРМАР создается по модульному принципу на основе современных информационно-коммуникационных технологий, позволяющих создавать многоуровневые сетевые распределенные программно-технические комплексы и обеспечивающих дальнейшее эволюционное развитие системы.

ТСРМАР построена как совокупность логически взаимосвязанных аппаратно-программных и программно-технических средств, разделенных по функциональному признаку и включать в себя:

- территориальную автоматизированную систему контроля радиационной обстановки систему контроля радиационной обстановки (далее - ТАСКРО);
- программное обеспечение (далее - ПО) ГИС радиационного мониторинга (далее - ГИС РМ);
- программно-технические средства поддержки принятия решений по защите населения;
- передвижную радиометрическую лабораторию (ПРЛ);
- ТСРМАР реализована с использованием возможностей соответствующей инфраструктуры аварийного реагирования Главного управления;
- ТСРМАР допускает последующее расширение, как по числу постов контроля, так и по числу функций, а также интеграцию с другими системами мониторинга.

Требования по созданию и составу ТАСКРО:

- ТАСКРО будет включать в себя стационарные автоматизированные посты контроля радиационной обстановки (далее – пост контроля, не менее 10 шт.);
- один из постов контроля оснащён автоматической метеостанцией;
- места размещения постов контроля определены и согласованы с заинтересованными органами исполнительной власти Главным управлением на этапе разработки технической и эксплуатационной документации совместно с исполнителем работы;

Информация с постов контроля будет поступать в ЦСОИ, который включает в себя:

- сервер сбора данных, организованный на серверном кластере;

- рабочую станцию (2 штуки) на основе компьютера - набор программных и аппаратных средств для обеспечения сбора данных с постов контроля, их отображения и передачи в другие системы.

Возможности передвижной радиометрической лаборатории (ПРЛ).

Передвижная радиометрическая лаборатория будет обеспечивать выполнение следующих задач:

- доставку персонала, измерительного и вспомогательного оборудования к местам проведения работ по дорогам с твердым покрытием;
- проводить гамму-съемки на местности и одновременной привязкой к координатам измерения и с передачей результатов измерения в ЦСОИ в режиме реального времени;
- определять местонахождения источников ионизирующего излучения и оценивать радионуклидный состав источника по измеренным гамма-спектрам;
- отбирать, осуществлять экспресс-анализ и транспортировать пробы почвы, воды и воздуха;
- осуществлять сбор, обработку и передачу полученных данных в АСКРО.

Внутренний объем фургона разделён на три отсека: водительский отсек (кабина), лабораторный отсек и грузовой отсек. В ПРЛ обеспечен проезд не менее 4 человек, включая водителя в соответствии с требованиями к перевозке пассажиров. В лабораторном отсеке установлены: стол, два кресла с инерционными ремнями безопасности, стеллаж для перевозки оборудования. В грузовом отсеке установлены полки для крепления оборудования.

Размещение оборудования, входящего в состав ПРЛ, должно быть произведено с учетом удобства обслуживания и обеспечения санитарно-гигиенических условий труда.

Все средства измерения, входящие в состав ПРЛ, должны быть аттестованы Госстандартом РФ.

Общие требования к ГИС РМ:

- возможность отображения и сохранения результатов экспресс-оценки радиационной обстановки при выбросах в атмосферу радионуклидов в случае возникновения радиационных аварий;
- возможность решения следующих задач:
- автоматическое получение данных радиационного контроля (далее – данные контроля) от ИИС КРО;
- хранение и автоматическая обработка данных контроля, в том числе сравнение с установленными пороговыми значениями (уставками) для определения текущего состояния радиационной обстановки;
- визуальная и звуковая сигнализация при превышении измеренных значений установленных уровней (уставок);

- представление, в том числе с использованием ГИС-технологий, текущих и архивных данных контроля;
- экспресс-оценка радиационной обстановки при радиационных авариях;
- информационное наполнение ГИС РМ должно включать описание постов контроля АСКРО в необходимом для работы объёме и векторные карты Красноярского края.

Требования к программно-техническим средствам поддержки принятия решений по защите населения.

Программно-технические средства поддержки принятия решений должны включать в себя рабочие места на базе не менее двух ПК, оснащенных следующим специальным программным обеспечением:

- программным обеспечением для работы с нормативно-технической документацией в области защиты населения и территории в случае ЧС с радиационным фактором (далее - ПО НТД);
- программным обеспечением для расчета доз внешнего и внутреннего облучения от источников различной конфигурации;
- программой для оценки радиационных последствий аварийных ситуаций при выбросах радиоактивных веществ в атмосферу.

ПО НТД будет обеспечивать решение следующих задач:

- хранение, поиск и отображение текстов и реквизитов нормативных правовых и нормативно-технических документов в области функционирования РСЧС (перечень документации уточняется Главным управлением);
- создание и ведение пользовательских разделов с поддержкой иерархии;
- возможность добавления необходимых документов в любой раздел базы данных;
- возможность работы с документами формата *.doc (Word), *.pdf.

Программное обеспечение расчета доз внешнего и внутреннего облучения будет обеспечивать решение следующих задач:

- оперативное проведение инженерных расчетов дозовых нагрузок на человека от источников различной конфигурации на различных расстояниях от источников различной конфигурации (точечный, линейный, дисковый);
- выполнение расчетов доз внешнего облучения кожи в результате воздействия бета-излучения радионуклидов при поверхностном загрязнении кожных покровов и одежды;
- выполнение оценки радиационного воздействия гамма-излучения от радиоактивного облака и от загрязненной поверхности;
- выполнение расчетов доз внутреннего облучения за счет поступления радиоактивных веществ с выдыхаемым воздухом и продуктами питания от загрязненного воздуха и потребления продуктов питания.

Программа для оценки радиационных последствий аварийных ситуаций при выбросах радиоактивных веществ в атмосферу будет обеспечивать решение следующих задач:

- расчёт переноса радиоактивных веществ на заданное расстояние;
- учёт неоднородности направлений и скоростей ветра, их изменение со временем;
- возможность задания источника различной конфигурации и формы (точечный, площадной, объемный) с меняющимися со временем параметрами;
- учёт влияния рельефа местности;
- учёт влияния локальных осадков;
- представление пользователю результатов моделирования на картографической основе с возможностью выбора масштаба карт, а также в документах формата *.doc (MS Word), *.xls (MS Excel);
- просмотр и анализ развития обстановки на всей территории расчетной области, а также в отдельных точках (населенных пунктах);
- хранение актуальных дозовых коэффициентов для не менее 125 радионуклидов;
- небольшая длительность расчета для острой фазы аварии (не менее 15 минут);
- возможность проведения расчетов приземных концентраций и плотности выпадений радионуклидов, мощности дозы на местности от выпадений и от облака, дозы на органы, эффективной дозы по различным путям облучения (внешняя, внутренняя, полная).

В ПО НТД будут представлены следующие основные законодательные, нормативные правовые, нормативно-технические и методические документы в области защиты населения и территорий от ЧС, в том числе с радиационным фактором:

- законодательные и нормативные правовые акты Российской Федерации;
- нормативные правовые, нормативно-технические и методические документы министерств (ведомств);
- нормативные правовые, нормативно-технические и методические документы исполнительных органов Красноярского края;
- нормативные, нормативно-технические и методические документы акционерных обществ, предприятий и организаций, осуществляющих свою деятельность на территории Красноярского края;
- международные документы.

Проблема массового «цветения» цианобактерий в водоемах Сибири: последствия, механизмы, прогноз, управление

А. Г. Дегерменджи[1], И.И. Гительзон[1], Н.Н. Дегерменджи[2]

[1]ФГБУН Институт биофизики СОРАН

[2]ГБОУ ВПО Красноярский Государственный Медицинский Университет

Вода - ценнейший природный ресурс и играет исключительную роль в процессах обмена веществ, лежащих в основе жизни. Огромное значение чистая вода имеет в промышленности и сельском хозяйстве. Для многих живых существ она служит средой обитания. Усиление антропогенного влияния и ряд других факторов все больше усложняет проблемы обеспечения водой. В настоящее время человечество использует 3,8 тыс. куб. км. воды ежегодно, причем можно увеличить потребление максимум до 12 тыс. куб. км. При нынешних темпах роста потребления воды этого хватит на ближайшие 25-30 лет. Каждый житель Земли в среднем потребляет 650 куб. м воды в год (1780 л в сутки). Большое количество воды требуется сельскому хозяйству (69%) главным образом для орошения; 23% воды потребляет промышленность; 6% расходуется в быту. Проблема сохранения качества воды является на данный момент самой актуальной. Сегодня воды, пригодной для питья, промышленного производства и орошения, не хватает во многих районах мира.

Важным фактором ухудшения качества воды является «внезапное» массовое развитие цианобактерий (сине-зеленых водорослей) в водохранилищах, озерах и прудах, что приводит к явлению, получившему в литературе название вредоносного «цветения» воды [1-2]. Вредоносность массового развития цианобактерий заключается в продуцировании большого числа опасных для здоровья людей и животных сильнодействующих токсинов, снижении качества воды, нарушении эстетического вида водоема, потере полезных для человека свойств водной экосистемы. Итог цветения воды – нежелательная трансформация трофических связей и общая деградация водных экосистем. Цветение воды, как правило, вызывают только представители пяти родов цианобактерий – Anabaena, Aphanizomenon, Microcystis, Oscillatoria, Gomphosphaeria. **Взрывообразный рост** «низкокачественной» продукции цианобактерий приводит к тому, что она практически не утилизируется представителями верхнего трофического звена и по сути вызывает **чрезвычайную ситуацию на водоеме**. Цветение воды вызывает ряд негативных последствий: летние ночные заморы рыб, массовая гибель бентосных, планктонных и нейстонных животных, а также водоплавающих птиц и млекопитающих. Цианобактерии в периоды массового развития образуют на водоеме поверхностную пленку, экранирующую проникновение солнечной радиации, и вызывают световое «голодание» эукариотических водорослей. Цветение воды влечет за собой заболевания кожи у купальщиков, болезни органов пищеварения у скота после водопоя. После периода цветения накопленная громадная биомасса цианобактерий отмирает и выделяет в воду внутриклеточные токсические вещества и пигменты. Доказано влияние выделяющихся токсинов на сердечно-сосудистую и иммунную

системы, деятельность печени и других органов человека. Известны отравления людей при употреблении рыбы и других организмов, содержащих токсины цианобактерий: микроцистин, гепатотоксин и другие сильнодействующие вещества, которые вызывают у человека опухолевые новообразования, раздражения кожи, аллергические реакции.

Яды, вызывавшие отравления, были названы по синдромам отравления: паралитические (сакситоксины, гониотоксины), диарретики, нейротоксины, а также токсины, вызывающие амнезию [10]. Особенно опасны гепатотоксины, разрушающие печень человека и животных и способные в короткие сроки вызвать циррозы и раковые новообразования [8].

Подавляющее большинство водоемов Красноярского края испытывают летнее цветение воды в результате массового развития токсичных цианобактерий. Вредоносные цветения происходит на социально и промышленно значимых водоемах: Красноярском водохранилище, Берешском водохранилище (водоеме охладителе Березовской ГРЭС-1), озере-парке Октябрьский (г. Красноярск), Кантатском водохранилище (г. Железногорск), озере Аничкино (Норильский промрайон) и др.

Как правило, массовое развитие цианобактерий связывают с относительно [7]: 1) высоким содержанием в воде минерального и органического фосфора; 2) низким отношением содержания в воде азота к фосфору (N : P < 25); 3) низкой численностью дафний, способных потреблять цианобактерий; 4) высокой концентрацией микроэлементов; 5) низкой прозрачностью воды. Тем не менее, наличие одного из этих факторов в отдельности или в сочетании с другими до сих пор не дает возможности точно предсказать возникновение или отсутствие развития цианобактерий в том или ином водоеме. Поэтому для каждого конкретного водоема исследователи опытным путем устанавливают причины «цветения» и, в зависимости от результатов, разрабатывают рекомендации по устранению цианобактерий [9].

В этом докладе мы представим два механизма управления цветением цианобактерий: параметрический, состоящий в сокращении эутрофикации (загрязнение сбросами фосфора) и структурный, связанный с биоманипуляцией.

1. Параметрический механизм суммирует результаты цветения водохранилища Кантат. Его водные параметры: искусственное водное тело для цели отдыха (Кантат - небольшая впадающая река). Объем водохранилища - приблизительно 0.01 куб.км, водная площадь поверхности - 3 кв.км, длина - 3 км, самая большая ширина - 2 км, средняя глубина - 3.5 м, самая большая глубина - 7 м. Водохранилищу свыше 40 лет. Предварительные исследования показали наличие чрезмерного развития водорослей – «цветение»: массовое доминирование не только сине-зеленых водорослей Aphanizomenon, но также и других разновидностей: Anabaena и Microcystis. Наши лабораторные исследования показывают, что разновидности родов Anabaena и Microcystis обычно доминируют с ростом нагрузки минеральным фосфором. Фосфор может поступать с рекой, с ливневыми потоками, атмосферными осадками и выходами со дна.

Результаты исследования этого механизма:

1) была создана база данных и компьютерная программа для прогноза состояния всех компонент Кантатского водохранилища (рис.1):

Гидрометеорологические данные	Антропогенные данные	Кинетические характеристики
Карта глубины озера Карта камер Ветер Осадки Испарение Речной сток Освещенность Температура	Муниципальные сбросы Промышленные сбросы Деформация дна Деформация берега Регулирование расходов и сбросов (часть сценариев)	Рост Потребление Дыхание Отмирание Разложение Водообмен Лимитирование Обратные связи

Сценарии

↓

Имитационная система прогнозирования

Гидродинамический, Гидрофизический, Экосистемный модули

↓

Моделируемые переменные:

Скорость течения 2-D, Гидрохимические вещества, Загрязняющие вещества, Гидробионты, Лимитирующие факторы, Коэффициенты взаимодействий, Свет

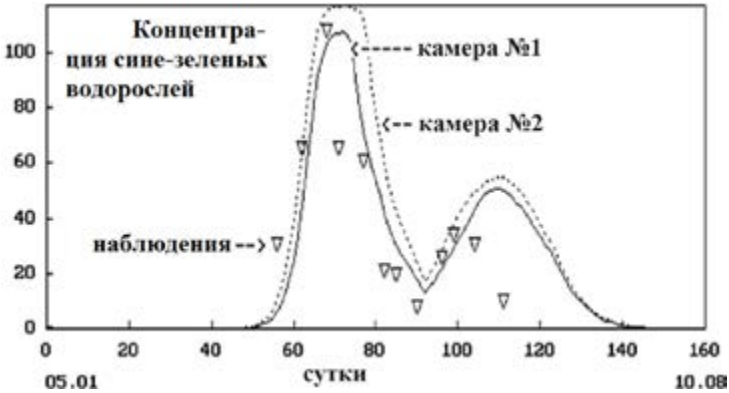


Рис.1. Прогноз состояния всех компонент Кантатского водохранилища

2) вклад загрязнителей (фосфор), идущий с речным стоком не больше чем 5% от полного эффекта (рис. 2);

3) увеличение расхода реки Кантат (проточность) при тех же самых условиях ее загрязнения не приводит ни к какому положительному эффекту;

4) самый большой вклад в водную эутрофикацию (50-70%) дают донные потоки в толщу воды. Проведенное блокирование этих потоков уменьшило цветение (рис. 2).

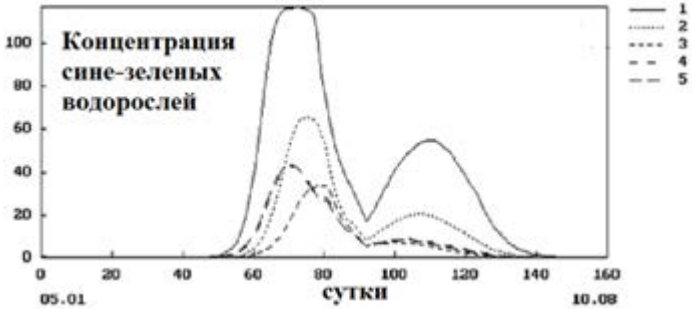


Рис.2. Расчетная динамика сине-зеленых водорослей для: 1 - БВ, 2 – водоем на 1 м глубже и поток биогенных элементов сокращен на 50%, 3 - водоем на 1 м глубже и поток биогенных элементов сокращен на 90%, 4 – аэрация водной толщи кислородом (=5) без изменения глубины водоема, 5 – аналогично 4, но кислород (=9).

2. Второй механизм (S) основан на данных биоманипуляции [3-6]: В 2002 «нисходящая» биоманипуляция (сокращение биомассы планктофаговых рыб Carassius auratus) была успешно выполнена в маленьком водохранилище реки Бугач (Красноярск, Россия), после который цианобактериальное цветение прекратилось. Механизм трофического каскада здесь «не работал». Как предполагается, сокращение цветения было результатом подавления прямого эффекта стимуляции планктофагами роста цианобактерий, показанного в лабораторных экспериментах. Может ли объяснить лабораторный эффект результат биоманипуляции? Чтобы проверить эту гипотезу, была развита математический модель роста цианобактерий в водохранилище. Результаты моделирования и полевые данные по биомассе цианобактерий летом близко совпали (рис.3). И, наконец, биоманипуляция по уменьшению планктофаговых рыб на самом водохранилище действительно уменьшила цветение.

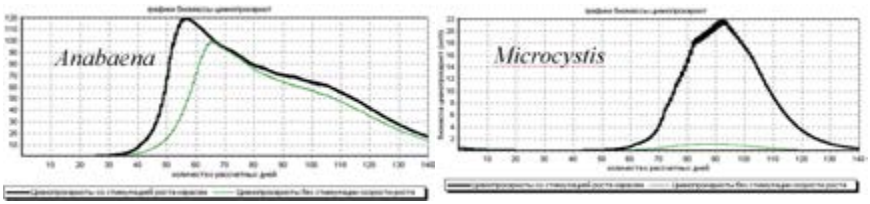


Рис. 3. Теоретическая динамика последствий биоманипуляции в отношении цветения цианобактерий.

Литература

1. Громов Б.В. Цианобактерии в биосфере // Соросовский образовательный журнал. - 1996. №9. - С.33-39.
2. Брагинский Л.П. Принципиальное препятствие к применению химического метода борьбы с “цветением” воды в водохранилищах // Водные ресурсы. - 1977. - №2. - С.5-16.
3. Гладышев М.И. Биоманипуляция как инструмент управления качеством воды в континентальных водоемах // Биол. внутр. вод. - 2001. - № 2. - С.3-15.
4. Гладышев М.И., Чупров С.М., Колмаков В.И. и др. Биоманипуляция в обход трофического каскада на небольшом водохранилище // Доклады АН. - 2003. Т.390. № 2. - С.276-277.
5. Колмаков В.И. Методы предотвращения массового развития цианобактерии Microcystis aeruginosa Kutz emend. Elenk. в водных системах // Микробиология. - 2006. - Т.75. № 2. - С. 149-153.
6. Колмаков В.И. К вопросу о возможности применения Hypophthalmichthys molitrix для предотвращения «цветения» воды в сибирских водоемах-охладителях // Сибирский экологический журнал. - 2006. - №1. - С. 65-71.
7. Caffrey J.M., Monahan C. Filamentous algal control using barley straw // Hydrobiologia. 1999. V. 415. P.315-318.8.
8. Codd G.A., Bell S.G., Kaya K. et al. Cyanobacterial toxins, exposure routes and human health // Eur. J. Phycol. 1999. V.34. P.405-415.
9. Jeppesen E., Sondergaard M., Krovang B. et al. Lake and catchment management in Denmark // Hydrobiologia. 1999. V.395/396. P.419-432.
10. Jochimsen E.M., Carmichael W.W., An J. et al. Liver failure and death after exposure to microcystins at a haemodialysis center in Brazil // New England Journal of Medicine. 1998. V.338. P.873-878.

Современные теоретические представления о шаровой молнии

В.В. Шайдуров

ФГБУН Института вычислительного моделирования СО РАН

Введение

Интерес к разгадке причин возникновения и свойств шаровой и линейной молнии не угасает на протяжении многих столетий. Непосредственно с момента организации Российской академии наук это направление исследований привлекало внимание ученых. К сожалению, это опасное природное явление оставило и трагические страницы в истории исследований. На рис. 1 запечатлен момент удара шаровой молнией профессора И.В. Рихмана в 1752 году, изучавшего свойства молний с помощью громоотвода. Рисунок выполнен художником-очевидцем, приглашенным зарисовать основные этапы опытов и запечатлевшим себя на втором плане.

Несмотря на значительные усилия инженеров и ученых, до сих пор нет ясного теоретического представления о природе линейной и шаровой молнии. За последние 150 лет появилось более ста гипотез разной сложности, но ни одна из них не дает ясного представления, подтвержденного в лабораториях [2, 4].

Свойства типичной шаровой молнии

Опасное свойство шаровой молнии состоит в том, что она несет запас энергии, часто сопровождающийся заключительным взрывом, иногда большой мощности. Но в ряде случаев она распадается на части или угасает без взрыва. Интересно, что до взрыва энергия проявляется в ярком свечении, характеризующим высокоэнергетические процессы, однако с незначительным выделением тепла [3, 5].

Одно из опасных свойств шаровой молнии состоит в ее появлении в закрытых помещениях, куда она проникает через отверстия намного меньше ее диаметра. Более того, зафиксированы случаи, когда она проходила через стекло, проделывая в нем воронку небольшого диаметра, и протискивалась через нее в помещение.

Движение шаровой молнии также довольно необычно: она может двигаться против ветра (хотя и небольшого), может стремительно набирать скорость и резко менять направление. Зачастую движение происходит беззвучно, иногда с негромким шипением, но с громким заключительным взрывом или бесшумным исчезновением.

В большинстве зафиксированных случаев размер шаровой молнии находился в пределах 10 – 20 см. Наблюдатели отмечают ее четкую границу, хотя и размытую вспышками на ее поверхности и остаточным послесвечением на сетчатке глаза ввиду яркого излучения.

Время жизни шаровой молнии колеблется от 1-2 секунд до одной минуты, редко достигая большего времени.

Рис. 1. Смерть профессора И.В. Рихмана от удара шаровой молнии

Движение шаровой молнии и ее угасание без взрыва сопровождается резким, иногда неприятным запахом с признаками озона и окислов азота. Отметим, что шаровые молнии часто наблюдаются во время высотного выброса газов при извержении вулканов. В этом случае движение и угасание шаровых молний сопровождается запахом горящей серы.

Другое дело, когда шаровая молния взрывается в контакте с другими объектами: деревьями, сваями, проводами, сосудами с водой. Имеются сведения об их столкновении с самолетами наряду с ударами линейной молнии. Повреждения и нагрев характеризуются относительно небольшим излучением тепла, но контактные повреждения могут быть довольно значительными вплоть до плавления проводов, расщепления свай и деревьев, повреждения обшивки самолетов.

Гипотезы о составе шаровой молнии

Анализ имеющихся научных гипотез о составе шаровой молнии делит их на две части. В одной из них шаровая молния представляет собой некоторое автономное физическое тело, устроенное особым образом. А в другой - это некоторый процесс, связанный с окружающей средой и непрерывно черпающий оттуда энергию.

В пользу первого подхода говорит как автономная форма шаровой молнии, не связанной никакими каналами с возможными источниками энергии, так и характер ее движения, в ряде случаев частично или полностью экранирующий ее от возможных источников энергии по мере движения вдоль траектории. Это, конечно, если не привлекать для объяснения темную энергию или инопланетных пришельцев.

Происхождение шаровой молнии в подавляющем числе случаев происходило после разряда линейной молнии, образующей в канале своего движения большое число ионов. Вместе с тем, плотность шаровой молнии одного порядка с плотностью воздуха, что позволяет накопить эти ионы в количестве, достаточном для последующей постепенной рекомбинации (т.е. реакции положительных и отрицательных ионов) с высокой удельной энергией в видимом и ультрафиолетовом диапазоне. Но в обычных условиях время рекомбинации ионов имеет порядок 10-10 - 10-11 с. Какие причины могут помешать такому скоротечному слиянию ионов разных знаков, как известно, притягивающихся друг к другу с большой силой?

В работе [3] была выдвинута гипотеза о гидратации таких ионов, то есть «облипании» ионов молекулами воды. Дело в том, что молекулы воды (H_2O) и их кластеры представляют собой электрические дипольные образования (Рис. 2), прилипающие как к положительным, так и отрицательным ионам. В принципе, как предполагает И.П. Стаханов, ионы разных знаков оказываются изолированными друг от друга на значительный период времени порядка 10-1 – 10+1 с. С нашей точки зрения, одни лишь молекулы воды вряд ли могут обеспечить длительную изоляцию ионов. Дело в том, что имеющиеся водородные связи допускают быстрый обмен электронами, что характеризуется проводимостью воды как в жидком, так и кристаллическом виде [8]. Поэтому в ходе вычислительного эксперимента мы привлекаем молекулы озона (O_3) и двуокиси азота (NO_2) (Рис. 3) в качестве строительного материала. Эти газы в обилии появляются во время близкого прохождения шаровой молнии и особенно после ее взрыва. Но гипотетически они обычно связываются с последствиями энергетического воздействия шаровой и линейной молний на воздух [2, 4], состоящий на 99% из молекул азота (N_2) и кислорода (O_2). Мы же использовали полярные молекулы (т.е. обладающие дипольным моментом) озона и двуокиси азота для моделирования оболочки шаровой молнии. В случае извержения вулканов к этим молекулам следует добавить двуокись серы (SO_2), в обилии появляющейся во время извержений. Все три полярных молекулы обладают уголковой структурой со смещенным расположением электронных оболочек вдоль оси симметрии, приводящей к дипольному эффекту. Так что в нашей модели молекулы молекулы озона и двуокиси азота играют роль не столько последствий шаровой молнии, сколько составляющего ее материала. Кроме того, шарнирное строение комплексов, составленных из них (рис. 3), обеспечивает гибкость оболочки шаровой молнии в отличие от однородных соединений, приводящих к более жестким кристаллическим структурам (например, льдинкам и снежинкам, состоящим только из молекул воды).

Итак, гипотетически гибкая оболочка шаровой молнии состоит из разноименных ионов, разделенных между собой полярными молекулами двух и более видов, что обеспечивает ее достаточную гибкость и запас энергии в разделенных ионах. За счет улетучивания газообразных компонент из оболочки постепенно происходит рекомбинация ионов разных знаков, вызывающая свечение шаровой молнии. Объем шаровой молнии достигается наличием избыточного отрицательного заряда (преобладанием числа отрицательных ионов по сравнению с положительными). Ввиду отталкивания этих ионов друг от друга оболочка шаровой молнии растяги-

вается. С математической точки зрения шаровая форма приводит к наименьшему равномерному растяжению при фиксированном избыточном заряде. Такая форма и дала название этому виду молнии. Вместе с тем, другое начальное расположение зарядов в исходном малом объеме может давать при растяжении эллиптические и грушевидные формы, такие как диски.

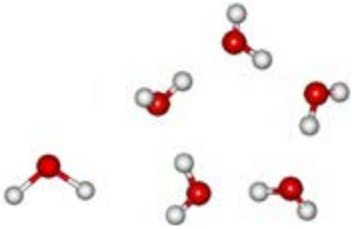


Рис. 2. Молекула воды (H_2O) и кластер из пяти молекул, объединенных водородными связями между атомами водорода и кислорода, обладающие дипольным моментом

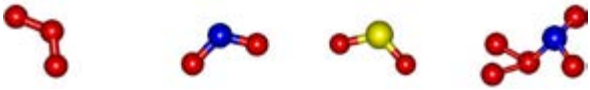


Рис. 3. Молекулы озона (O_3), двуокиси азота (NO_2) и двуокиси серы (SO_2) уголкового строения, обладающие дипольным моментом; а также молекула O_3 + NO_2

Именно избыточный отрицательный заряд в значительной мере определяет движение шаровой молнии. Дело в том, что поверхность земли обладает отрицательным зарядом [6, 7]. Поэтому отталкивание избыточного заряда шаровой молнии от земли компенсирует небольшую силу тяжести такого образования, средняя плотность которого хоть и незначительно, но превышает плотность воздуха. При фиксированном заряде и постоянном весе этот шар должен находиться на высоте, определяемой локальной величиной заряда поверхности земли (Рис. 4).

Но если величина локального заряда поверхности меняется со временем или по пространству, то шар будет следовать вдоль траекторий, минимизирующих потенциальную энергию с учетом текущих потерь его веса и заряда. Причем именно эта комбинация двух разнонаправленных сил (веса и отталкивания зарядов) является определяющей до такой степени, что шаровая молния может входить в контакт со стеклом [1], мешающим ее движению, прожигает его и просачивается через воронку. При движении шар обычно обходит предметы, несущие избыточный отрицательный заряд, например, за счет проводимости влагой от земли. Но при достижении незначительного расстояния до какого-либо хорошего проводника избыточный отрицательный заряд может индуцировать положительный заряд в проводнике и тогда происходит быстрое сближение с ним, сопровождаемое взрывом и повреждением проводника в месте контакта.

Заключение

Итак, вычислительное моделирование, предшествующее физическому эксперименту, в принципе, допускает состав оболочки шаровой молнии в виде объединения ионов, изолированных полярными молекулами озона и двуокиси азота. Все эти компоненты являются продуктами линейной молнии, но здесь фигурируют в качестве исходного материала. В случае извержения вулканов к этим продуктам добавляется двуокись серы.

Избыточный отрицательный заряд оболочки, во-первых, растягивает ее за счет отталкивания зарядов друг от друга. А во-вторых, он компенсирует избыточный вес шаровой молнии по сравнению с окружающим воздухом путем отталкивания от земли с отрицательным зарядом, позволяя ей парить в воздухе. Этот же заряд при индуцировании противоположного заряда в проводнике приводит к быстрому сближению зарядов и взрыву, вызванному скоротечной рекомбинацией всех оставшихся ионов.

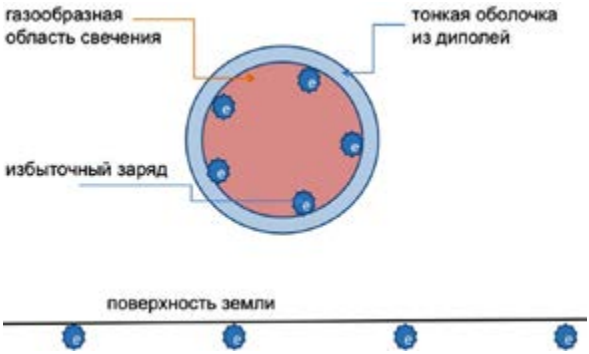


Рис. 4. Гипотетическая структура строения шаровой молнии

Литература

1. Колосовский О.А. Исследование следа шаровой молнии на оконном стекле. – Журн. техн. физ., 1981, Т. 51, № 4, С. 856.
2. Сингер С. Природа шаровой молнии. М.: Мир, 1973.
3. Стаханов И.П. О природе шаровой молнии. – Письма в ЖЭТФ, 1973, Т. 18, № 3, С. 193.
4. Стаханов И.П. О физической природе шаровой молнии. М.: Энергоатомиздат. 1985.
5. Стаханов И.П., Лопатников С.Л. Шаровая молния: загадки остаются. – Наука и жизнь, 1975, № 12, С. 86.
6. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 5. Электричество и магнетизм. – М.: Мир, 1976.
7. Френкель Я.И. Теория явлений атмосферного электричества. – М.: Комкнига, 2007.
8. Общая и неорганическая химия. Т. 2. Под ред. Воробьева А.Ф. – М.: Академкнига, 2007.

Проблема лесных пожаров в Сибири

П.А. Цветков

ФГБУН Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Пожары являются постоянным спутником леса на протяжении всей истории его существования. Формирование лесов, размещение их по территории, состояние, продуктивность и все жизненные процессы в лесу протекают под воздействием пирогенного фактора.

Каждый год на Земном шаре возникает до 400 тысяч лесных пожаров. При этом повреждается порядка 300-350 млн. га или около 0,5% общей площади лесов (Воробьев, и др., 2004). В лесах Сибири ежегодно возникает от 4,5 до 27 тыс. пожаров, которые охватывают площадь от 3,5 до 18 млн. га. Ежегодный ущерб от лесных пожаров в Сибири составляет порядка 10-15 млрд. руб.

Данные о пожарах за последние 15 лет показывают, что прослеживается устойчивая тенденция роста горимости лесов Сибири, как по числу, так и по площади пожаров. Есть основания полагать, что эта тенденция сохранится и в обозримом будущем. Причин высокой горимости лесов несколько. Основные следующие.

1. Частое реформирование лесного хозяйства, что ведет к снижению эффективности деятельности всей отрасли, в том числе и охраны лесов от пожаров. Последняя реформа с введением с 1 января 2007 года нового Лесного кодекса РФ коренным образом изменила ситуацию в худшую сторону.
2. Упразднение Министерства лесного хозяйства России. Децентрализация управления охраной лесов, которая передана сейчас в ведение субъектов РФ.
3. Упразднение лесхозов и государственной лесной охраны, а также разграничения функций на управленческие и хозяйственные и наделение ими разных структур. Работники первых из них (управленцы) не имеют права тушить пожары.
4. Хронический дефицит финансирования. Высокий процент износа техники и слабое ее обновление.
5. Кадровая проблема. Около 80% управленческого персонала лесной службы в регионах не имеют базового лесного образования.
6. Смена собственника в лесозаготовительном комплексе. Вместо крупных леспромхозов в лесу сейчас хозяйничает несколько десятков тысяч фирм и арендаторов. Если леспромхозы имели специалистов и технику, проводили соответствующую работу по охране лесов от пожаров, то мелкие фирмы этого не имеют, и охраной лесов занимаются неудовлетворительно.
7. Увеличивающиеся масштабы рубок леса, а леса, пройденные рубками, более пожароопасны. Вырубки быстрее высыхают и загораются. К этому следует добавить возрастающие масштабы нелегальных рубок. Достаточно сказать, что ежегодно в России незаконно вырубается от 10 до 35 млн. кубометров, что составляет от 15 до 30% от расчетной лесосеки.

8. Повышение освоенности и транспортной доступности лесов, что приводит к возрастанию антропогенных источников огня в лесу.

В целом состояние лесного хозяйства в России с введением нового Лесного кодекса оценивается как критическое.

С проблемой пожаров сталкиваются все страны мира, обладающие лесным фондом. Ниже в таблице представлена оценка горимости лесов некоторых стран по шкале А.Г. Мокеева (1965). Согласно этой шкале уровень горимости определяется как площадь лесных пожаров, выраженная в процентах, от общей площади лесов. Выделяется пять классов горимости: малая – выражается тысячными долями процента; умеренная – сотыми; высокая – десятыми и чрезвычайно высокая – целыми процентами.

Таблица 1. Горимость лесов

Страна	Горимость, %	Оценка горимости
Россия, в том числе Сибирь	0,3-2,8 0,5-2,3	от высокой до чрезвычайно высокой от высокой до чрезвычайно высокой
США	0,3-1,1	от высокой до чрезвычайно высокой
Канада	0,3-0,5	высокая
Англия, Франция, Германия	0,1-0,2	высокая
Испания, Польша, Швеция	0,03-0,08	умеренная
Финляндия	0,004-0,014	от малой до умеренной

Как можно видеть из таблицы, горимость лесов России, в том числе и Сибири, отличается самыми высокими показателями.

Известно, что леса являются одним из основных компонентов биосферы. В настоящее время признано, что лесные экосистемы страны имеют глобальное значение как крупнейший резервуар углерода. В них депонировано около 80% общего количества углерода наземной растительности (Углерод в экосистемах…, 1994). Кроме того, лес, как известно, является главным поставщиком кислорода в атмосферу, на долю которого приходится свыше 60% кислорода, продуцируемого растительностью (Воробьев, Акимов, Соколов, 2004). Таким образом, леса являются важным фактором поддержания газового баланса атмосферы и сохранения глобального природного равновесия.

Основным же фактором нарушения лесов являются пожары. По экспертным оценкам масса сгораемой органики только в бореальных лесах Сибири превышает 16 млн. тонн в год. В результате лесных пожаров в атмосферу ежегодно выбрасывается около 40% глобальных выбросов углекислого газа. Пожары приводят к потере сырьевого потенциала лесов. Они провоцируют возникновение эрозионных процессов, лавин, оползней, солифлюкции, каменистых россыпей (курумников) и т.д. Увеличивается риск наводнений. В результате лесных пожаров происходит задымление атмосферы. Дым от крупных пожаров может распространяться по ветру

на 700-900 км. Объем выбросов только CO_2 при лесных пожарах в Сибири составляет более 2 млн. тонн в год. При этом пожарные эмиссии повышают концентрацию парниковых газов в атмосфере, чем способствуют глобальным изменениям климата. По экспертным оценкам, это может привести к увеличению числа и площади лесных пожаров в 1,5-2 раза (Коровин, Зукерт, 2003).

Таким образом, лесные пожары являются серьезной угрозой балансу углерода в атмосфере. Ряд ученых считает, что глобальные изменения климата во многом связаны именно с лесными пожарами.

В целом можно заключить, что лесные пожары по своим масштабам имеют планетарное значение, и относятся к явлению глобального характера. Они оказывают воздействие на биоту в целом.

Но жизнь леса неотделима от огня. В настоящее время с достоверностью установлено, что с лесобиологической точки зрения, в определенных лесорастительных условиях последствия лесных пожаров могут иметь позитивный характер. Основные из них следующие. Пожары:

- Стимулируют высвобождение семян из шишек. Способствуют естественному возобновлению древесных пород, расширению ареалов сосны и лиственницы.
- Снижают природную пожарную опасность лесов, т.к. уменьшается количество лесных горючих материалов.
- Вызывают мозаичность растительного покрова в силу неравномерного прогорания, чем увеличивают биологическое разнообразие.
- Омолаживают леса – на месте климаксовых насаждений после пожаров появляются молодняки.
- Минерализуют почву, снижают ее кислотность, активизируют теплообмен, обусловливают тепловую мелиорацию.
- В криолитозоне на определенное время понижают верхний уровень многолетней мерзлоты.
- Разрушают токсины и ингибиторы прорастания семян в лесной подстилке.

При этом следует подчеркнуть еще раз: позитивная роль пожаров носит в основном лесобиологический характер и коренным образом не совпадает с их хозяйственной оценкой, которая имеет сугубо негативное значение.

Проблема лесных пожаров исследуется в Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, где функционирует единственная в системе Российской академии наук лаборатория лесной пирологии, а также лаборатория мониторинга леса. Не касаясь всех достижений и наработок сотрудников института в области охраны лесов от пожаров, остановимся на некоторых из них, имеющих прикладное значение.

Одним из перспективных направлений в охране лесов является разработка методов мониторинга лесных пожаров. Это тем более важно, т.к. на громадных лесных территориях Сибири следить за пожарной ситуацией в лесу и за самими пожарами можно лишь используя аэрокосмические средства.

Космический мониторинг представляет собой систему наблюдений за пожарной опасностью в лесу, лесными пожарами, динамикой их развития и последствиями. Цель мониторинга – информационная поддержка управленческих решений по организации охраны лесов. Многоуровневый мониторинг пожаров – это сочетание спутниковых материалов с аэросъемкой и наземными данными. Задачи мониторинга:

- оценка пожарной обстановки крупных регионов;
- определение пожарной опасности в лесу;
- обнаружение лесных пожаров;
- оценка пройденной огнём площади;
- оценка последствий лесных пожаров.

В 1994г. в Институте леса им. Сукачева СО РАН был установлен комплекс приема информации со спутников TERRA и NOAA. Зона видимости Красноярских станций приема спутниковой информации охватывает примерно 1 миллиард гектаров. Это территория между Уральскими горами на западе и Хабаровским краем на Дальнем Востоке, а по широте от Монголии до побережья Северного Ледовитого океана. В настоящее время космические средства наблюдения стали одним из важнейших компонентов системы мониторинга лесных пожаров. На половине территории лесного фонда они являются основным, а более чем на 30% – единственным способом наблюдения за лесными пожарами.

Многолетняя практика показала, что простое увеличение финансовых и материальных вложений в охрану лесов от пожаров не приводит к адекватному снижению горимости. Сложность экологической роли огня, невозможность и нецелесообразность его полного исключения из жизни леса обусловливают необходимость решения проблемы лесных пожаров путем создания системы управления ими. Поэтому в новой экономической ситуации при недостатке финансирования и большом разнообразии природно-экономических условий, необходим переход на государственном уровне от концепции пожаротушения, предусматривающей обязательную борьбу со всеми возникшими пожарами, к концепции пожароуправления.

Под пожароуправлением понимается проведение системы научно обоснованных противопожарных мероприятий, направленных на предупреждение возникновения и распространения пожаров, способов и тактики тушения, уменьшения негативных последствий. Эта концепция базируется на принципах приоритетно-выборочной очередности тушения пожаров и предполагает дифференциацию уровней охраны лесов.

Переход к концепции пожароуправления требует глубоких знаний природы лесных пожаров, совершенствования методов оценки и прогнозирования процессов их возникновения, распространения и развития, а также масштабов негативных и позитивных последствий пирогенного воздействия на леса. Задача лесопирологической науки состоит в том, чтобы обеспечить переход к новой стратегической концепции соответствующими знаниями и методами.

В Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН разработана система прогноза поведения пожаров, которая положена в основу пожароуправления и позволяет прогнозировать ситуацию как с целью сокращения числа пожаров, так и для использования позитивного воздействия огня на лес (Прогноз поведения…, 2010).

Таким образом, лесные пожары являются важнейшим эколого-эволюционным фактором, оказывающим определяющее влияние на формирование, размещение, состояние лесов на Земле, а также на газовый баланс атмосферы. Масштабность пирогенного воздействия на среду носит планетарный характер.

Современная лесная пирология еще не разработала целостного представления о многогранной роли лесных пожаров, как сложном эколого-эволюционном факторе формирования и существования лесов. Для этого необходимы дальнейшие комплексные исследования.

Литература

1. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России, состояние и проблемы/ Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. М.: 2004, 312 с.
2. Коровин Г.Н. Влияние климатических изменений на лесные пожары в России/ Г.Н. Коровин, Н.В. Зукерт/Климатические изменения: взгляд из России//под ред. В.И. Данилова-Данильяна. – ТЕИС, 2003. – С. 69-98.
3. Мокеев Г.А. Влияние природных и экономических условий на горимость лесов/ Г.А. Мокеев//Современные вопросы охраны лесов от пожаров и борьбы с ними. – 1965. – С. 26-37.
4. Прогноз поведения лесных пожаров/А.В. Волокитина и др. – Красноярск, 2010. – 211 с.
5. Углерод в экосистемах лесов и болот России/под ред. В.А. Алексеева и Р.А. Бердси. Красноярск. – 224 с.

Волны-убийцы: обработка данных наблюдений

К.В. Симонов[1], М.А. Курако[2], Н.О. Кудря[2]

[1] ФГБУН Институт вычислительного моделирования СО РАН
[2] ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет

Введение

В работе изучаются зарегистрированные случаи возникновения катастрофических волновых явлений (аномально высоких волн) в морских акваториях, которые получили в научной литературе одно из названий как «волны-убийцы» [1-4].

Волны-убийцы рассматриваются как поверхностные волны в океане, которые обладают следующими основными признаками: одиночная волна или небольшая

группа волн, состоящая из двух-трех волн, амплитуда которых значительно превосходит амплитуду остальных волн в данном районе; волна имеет большую крутизну; волна возникает внезапно; волна обладает достаточно большой энергией и импульсом.

В отличие от цунами, возникающих в результате подводных землетрясений или подводных оползней и набирающих большую высоту лишь на мелководье, появление волн-убийц не связано с катастрофическими геофизическими событиями. В тоже время, достигая высоты 30-ти и более метров, эти волны несут реальную угрозу для морских судов (танкеров), нефтяных платформ и морских гидротехнических сооружений.

Далее в работе рассматриваются основные методы анализа и подходы к оценке опасности для аномально высоких волн на примере акваторий Черного и Северного морей.

1. Кластеризация пространственных данных наблюдений

Изучая данные наблюдений для исследуемой акватории Черного моря, алгоритм кластеризации данных позволяет разбить на кластеры зарегистрированные случаи проявления волн-убийц, и тем самым обозначить конкретные участки акватории, в которых наиболее часто возникают волны убийцы. Процесс кластеризации применен к акватории Черного моря, где в качестве базы данных послужили наблюдения за аномальными волнами.

Используемые алгоритмы кластеризации для выделения характерных областей преимущественного проявления волн убийц в исследуемых акваториях позволяют продолжить исследование возможной связи их с геодинамикой региона, топографией рельефа дна, а также связи их с определенными геофизическими и гидрофизическими факторами.

2. Вейвлет-анализ данных регистрации

На основе обработки данных наблюдений о волнах-убийцах алгоритмами вейвлет-преобразования, получены вейвлет-спектры, дающие представления об энергетических процессах в момент достижения волной максимальной амплитуды.

Численные эксперименты проведены на основе данных наблюдений для акваторий Черного и Северного морей. Выявлено, что адаптированный и используемый алгоритм visualize_coeffs_distribution модуля PyWavelet, реализованный на языке Python пригоден для решения поставленной задачи разложения данных профилей волн-убийц в вейвлет-спектр.

Численные эксперименты с реальными и модельными данными проведены с использованием различных семейств вейвлетов. В результате выявлены семейства вейвлетов и их конкретные представители (coif5 и db20), как наиболее ярко выделяющие особенности профилей в данных наблюдений волн-убийц (рис. 1-2).

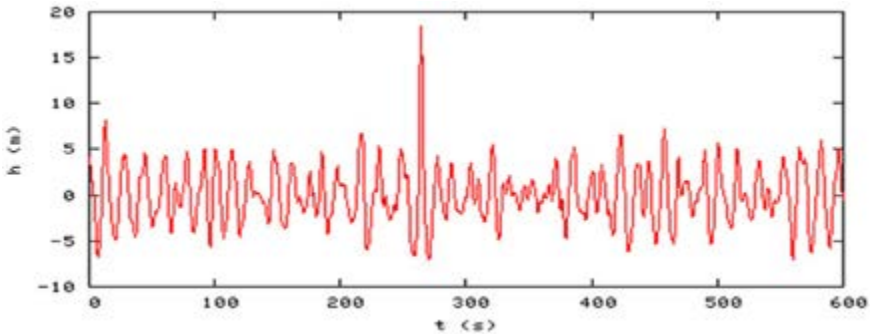
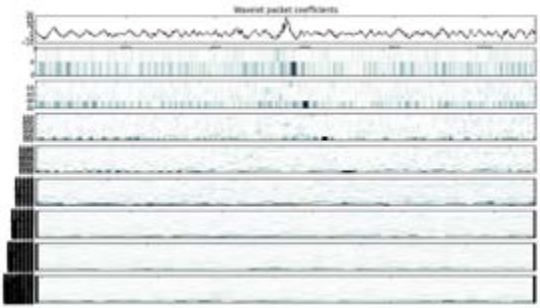


Рис. 1. Данные регистрации аномально высокой волны: Северное море, платформа Горм (1997 г.).

а.



б.

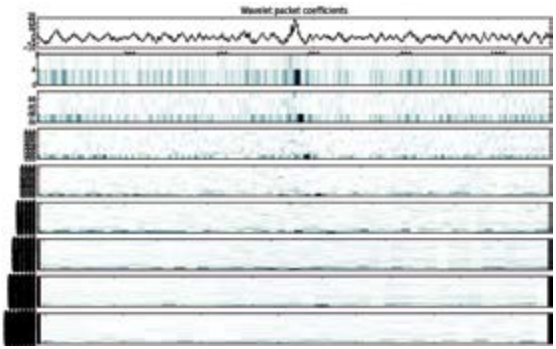


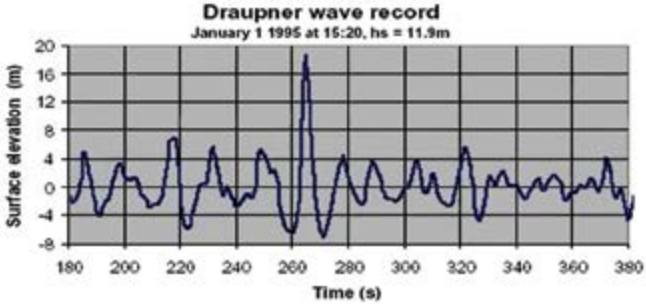
Рис. 2. Вейвлет-преобразование данных регистрации с применением вейвлета: а – вейвлет Db20 (Добеши20); б – вейвлет Coif5 (Коифлет5)

3. Аппроксимация данных наблюдений

С помощью алгоритма быстрой нелинейной многопараметрической регрессии во временной области проведена аппроксимация числовых данных регистрации волны-убийц. Этот подход позволяет более детально исследовать данные наблюдений за указанными катастрофическими волнами и их проявлениями, в частности, в акваториях Черного и Северного морей.

В качестве реальных данных рассматривались профили волн-убийц, оцифровка которых проводилась с помощью программы GetData Graph Dijitizer. Временной ряд числовых данных, полученный на выходе, используется алгоритмом и программой нелинейного регрессионного моделирования данных наблюдений. Пример численного эксперимента по обработке данных представлен на рисунке 3.

а.



б.

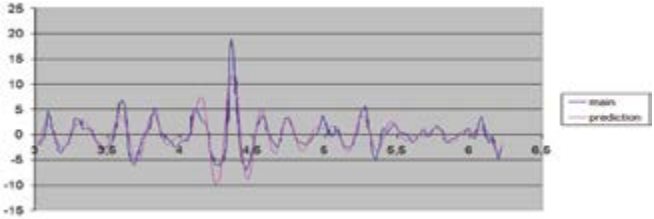


Рис. 3. Исходные данные (а)
и результат обработки алгоритмом нелинейной многопараметрической регрессии (б).

4. Оценка опасности и ущерба

Волны аномально большой амплитуды представляют угрозу для морских судов, нефтяных платформ и морских сооружений. Также, в отличие от цунами, волны-убийцы возникают внезапно. Все это делает задачу оперативного прогноза волн-убийц, а также задачу оценки риска их возникновения на определенном участке водной поверхности, актуальной.

Оценку опасности от волн-убийц предлагается разделить на следующие задачи:

- долгосрочной оценки опасности, которая строится через применение функции повторяемости высот аномальных волн в определенном пункте наблюдения;
- краткосрочной оценке опасности, которая основывается на анализе изменения максимальный крутизны свободной поверхности в момент времени t и отношении наблюдаемых высот волн (критерий – отношение высот больше 3) в тот же момент времени для защищаемого участка морской акватории;
- оценки риска для волн-убийц, которая основывается на базовой формуле для оценки опасности от морских природных катастроф и включающая оценку ожидаемого ущерба от воздействия вероятной катастрофической волны.

Задача оценки вероятного ущерба решается на основе результатов о статистических характеристиках воздействия волн-убийц за длительный период времени наблюдений. Одним из способов анализа таких данных может служить применения функции распределения Парето.

В работе этот способ применяется на основе статистических данных о количестве погибших человек в результате катастроф супертанкеров от воздействия волн убийц. Показано, что распределение имеет выраженную линию перегиба и в логарифмическом масштабе хорошо аппроксимируется прямыми линиями. Распределение Парето можно использовать для оценки катастрофического ущерба от воздействия аномальных волн на морские суда (танкеры) и соответствующие сооружения (нефтяные платформы и др.).

Заключение

Таким образом, проведенные исследования позволяют более детально рассмотреть актуальные задачи генерации волн-убийц в изучаемых акваториях, а также разработать новые варианты решения задач их оперативного и долгосрочного прогнозирования с целью оценки степени опасности изучаемого катастрофического волнового явления в защищаемых морских акваториях.

Литература

1. Дивинский Б.В. Аномально высокая волна в Черном море: наблюдения и моделирование. / Б.В. Дивинский, Б.В. Левин, Л.Н. Лопатухин и др. // Докл. АН. – 2004. – Т. 395. – № 5. – С. 948–950.
2. Куркин А.А. Волны-убийцы: факты, теория и моделирование. / А.А. Куркин, Е.Н. Пелиновский – Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2004. – 158 с.
3. Доценко С.Ф. Волны-убийцы. / С.Ф. Доценко, В.А. Иванов // Сборник трудов Морского гидрофизического института. Сер. Современные проблемы океанологии. Вып. 1. – Севастополь, 2006. – 44 с.
4. Захаров В.Е. О вероятности возникновения волн-убийц. / В.Е. Захаров, Р.В. Шамин // Письма в ЖЭТФ. – 2010. – Т. 91. – Вып. 2. – С. 68-71.

Прогноз поведения и последствий лесных пожаров

А.В. Волокитина, М.А. Корец, Т.М. Софронова

ФГБУН Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Введение. Прогноз поведения лесных пожаров включает в себя прогноз скорости распространения кромки пожара и его развития (возможности перехода низового пожара в верховой или почвенный). Сюда же целесообразно отнести и прогноз последствий пожара, поскольку он также очень важен при организации управления действующими лесными пожарами.

Термин управление лесными пожарами следует понимать как в широком, так и в узком плане. В широком плане оно включает организацию лесопожарной охраны; устранение причин возникновения пожаров (противопожарная пропаганда, обустройство территории); создание благоприятных условий для своевременного обнаружения возникающих пожаров (сеть пожарно-наблюдательных пунктов, авиапатрулирование, космический мониторинг); ограничение распространения пожаров (противопожарное устройство, активное и эффективное тушение пожаров), сокращение экологического вреда и экономического ущерба от пожаров (учет возможных отрицательных последствий пожаров, использование положительной роли огня в лесу).

Управление лесными пожарами в узком плане следует понимать как управление действующими пожарами на основе прогноза их поведения. Непосредственное управление лесными пожарами – это контролирование распространения и развития каждого возникшего пожара на основе прогноза его поведения, то есть распространения, интенсивности, развития и последствий. Прогноз последствий действующих пожаров включает, прежде всего, прогноз отпада в древостоях [1].

С помощью прогноза поведения пожаров можно выявлять потенциально особо опасные пожары из числа возникающих и целенаправленно тушить их на ранних стадиях. Так же возможно выявлять те пожары, которые в период своего распространения до ликвидации их ожидаемыми осадками не смогут нанести ощутимого ущерба или будут, в отдельных случаях, даже полезными для лесного хозяйства, что позволит не отвлекать на их тушение силы и средства. Прогноз поведения пожаров необходим также для оптимального планирования и эффективной организации их контролирования и тушения. Сценарии возможного распространения и развития пожаров в связи с различными погодными условиями полезно использовать при разработке активных мер по защите от природных пожаров населенных пунктов и ценных лесных массивов, а также при организации целевых палов.

В задачу исследований входила разработка системы прогноза поведения действующих лесных пожаров для равнинных и горных условий на примере Красноярского края с целью повышения эффективности охраны лесов от пожаров.

Состояние вопроса. Системы прогноза поведения природных пожаров уже созданы и совершенствуются в США и Канаде [6,7,8]. В России такая система разрабатывается в Институте леса им.В.Н.Сукачева СО РАН [2,3]. Для практического

применения в России имеются лишь «Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров» 1995 года, которые, по сути, повторяют подобные указания, изданные еще в 1976 году, и содержат только «примерные показатели развития и распространения лесных пожаров». Причем в «Указаниях…» приведены данные только для семи типов леса по европейской части страны и для четырех типов леса по Дальнему Востоку. Обширная территория Сибири, включая Красноярский край, с сотнями типов леса осталась неохваченной совсем.

Как показала практика, простое заимствование имеющихся зарубежных систем по прогнозу поведения пожаров не может обеспечить решение проблемы в других странах с иными природными условиями. Поэтому начавшиеся попытки насадить в России канадскую систему не приведут к желаемым результатам, а только затормозят разработку российской системы. Конечно, положительные моменты зарубежных систем надо обязательно использовать [3,9].

Уровень российских фундаментальных пирологических разработок достаточно высокий. Но наблюдается отставание в техническом отношении из-за отсутствия средств на прикладные разработки, их апробирование и внедрение.

Центром пирологической науки в России уже давно и обоснованно считается Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН. К настоящему времени в Институте имеются все предпосылки для поэтапной разработки российской системы прогноза поведения природных пожаров: – фундаментальные разработки (классификация растительных горючих материалов и методы их картографирования, простая и практичная модель скорости распространения пожара, методика прогноза распространения природных пожаров, их интенсивности и последствий) [1,4,9]; высококвалифицированный коллектив ученых-пирологов и специалистов ГИС.

Создание информационной базы. Принципиальная схема прогноза поведения лесного пожара приведена на рисунке. Для прогноза, прежде всего, необходима информационная база, включающая данные о распределении различных растительных горючих материалов по территории, об их свойствах и об их готовности к горению при различных метеорологических условиях. Такую информацию можно получать, используя карты растительных горючих материалов (карты РГМ) крупного масштаба (1:10000-1:50000) [1]. Но для обширной территории России лесоустроительная информация, необходимая для составления крупномасштабных карт РГМ, неоднородна. Поэтому на примере Красноярского края была выполнена разработка необходимых вариантов технологии составления карт РГМ, дифференцированных в зависимости от вида и качества имеющейся лесоустроительной информации. Данная работа, а также развитие метода прогнозирования поведения лесных пожаров до уровня компьютерных программ стали возможными только благодаря финансированию в рамках Госконтракта №82 между ИЛ СО РАН и Агентством лесной отрасли по Красноярскому краю в 2008-2010 гг.

В Красноярском крае имеется 61 лесничество. К настоящему времени более половины из них имеют лесоустроительную информацию на ГИС-основе, а большинство являются высокогоримыми. Программа составления карт РГМ (С++, для операционной системы Windows: SE, 2000, XP, Vista) на ГИС-основе для равнинных

условий была разработана на примере, выбранного в качестве базового, Чунского лесничества. Карты РГМ были составлены на всю территорию лесничества (площадью около 1 млн. га) отдельно для весеннего (осеннего) и летнего периодов, так как лесничество расположено в южно-таежной зоне, где преобладают типы леса с травяными покровами и наблюдается сезонная динамика растительных горючих материалов. Затем была разработана программа прогноза распространения пожара, его интенсивности, развития и последствий (при использовании объектно-ориентированного языка программирования «Avenue», в виде проектного файла «PGM2.apr», работающего в среде ESRI ArcView GIS 3.2.) [3].

Программы оставления карт РГМ и прогноза поведения пожаров на ГИС-основе для горных условий были разработаны в рамках Договора №1263/10 на 2009 год между ИЛ СО РАН и Институтом космических исследований (ИКИ) (при содействии ФГУ «Авиалесоохрана») на примере Государственного природного заповедника «Столбы» (площадью 50 000 га).

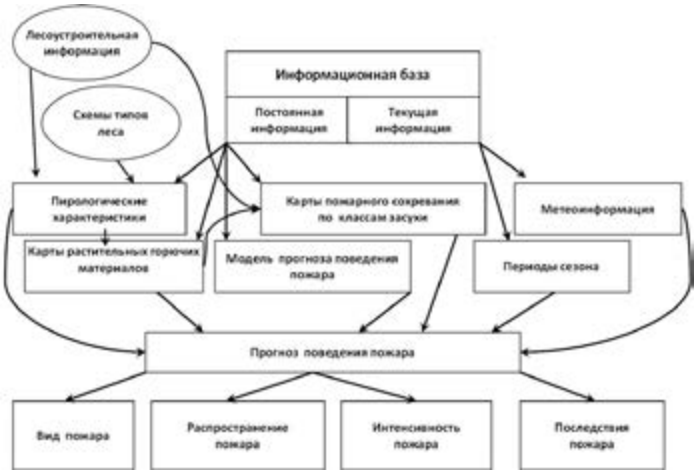


Рис. 1. Принципиальная схема прогноза поведения лесного пожара

Была выполнена ретроспективная проверка (по информации о прошлых пожарах) программ прогноза поведения пожаров как в равнинных, так и в горных условиях. Проверка дала удовлетворительные результаты. Сложности возникали из-за проблем с получением метеорологической информации на время действия пожара, с неточной привязкой гарей на местности и др. Поэтому необходима проверка программ на действующих пожарах. Такая проверка возможна только при участии специалистов лесной охраны. С целью обучения специалистов лесной охраны прогнозированию поведения лесных пожаров разработана специальная компьютерная программа. Планировалось создать на базе ИЛ СО РАН специальный компьютерный класс, но финансирования для осуществления этой цели пока нет.

Заключение. В результате исследований на примере Красноярского края создана система прогноза поведения действующих лесных пожаров для управления ими. Необходима проверка данной системы на действующих пожарах при участии ученых-разработчиков и специалистов лесной охраны, которые предварительно должны пройти обучение по специально разработанной программе.

В дальнейшем для распространения опыта на всю территорию России необходимы совместные усилия трех организаций: ИЛ СО РАН (головная организация), Федерального государственного учреждения «Авиалесоохрана» и Федерального государственного унитарного предприятия «Рослесинфорг».

Литература

1. Волокитина А.В., Софронов М.А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов.– Новосибирск: СО РАН, 2002. - 314 с.
2. Волокитина А.В., Софронов М.А., Корец М.А., Софронова Т.М., Михайлова И.А. Прогноз поведения лесных пожаров. – Красноярск: СО РАН, Институ леса им. В.Н. Сукачева, 2010. – 211 с.
3. Волокитина А.В., Софронов М.А., Софронова Т.М. Разработка российской системы прогноза поведения природных пожаров.– Тезисы международного семинара «Сохранение и экологическое управление бореальными лесами: канадско-российская перспектива. – С.Петербург. – 2006. – р.52.
4. Софронов М.А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. – М.: Наука. – 1967. – 152 с.
5. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. – М., Федеральная служба лесного хозяйства России. – 1995. – 96 с.
6. Burgan R.E., Rothermel R.G. BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system – FUEL subsystem. Gen.Tech.Rep. INT-167. Ogden, UT: US Department of Agriculture, Forest Service. Intermountain Forest and Range Experiment Station. – 1984. – 126 p.
7. Forestry Canada, Fire Danger Group. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System.– Science and Sustainable Development Directorate. Inf.Rep. ST-X-3. – Ottawa. –1992.–63 p.
8. Scott J.H., Burgan R.E. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. USDA, forest service, Rocky Mountain Research Station. General Technical Report RMRS-GTR-153. – 2005. – 80 p.
9. Sofronova T.M., Volokitina A.V., Sofronov M.A. Russian Disarray. Journal Wildfire. – July/August. – 2010. – P. 12-18.

Секция 1. Чрезвычайные ситуации и техногенные катастрофы. Обеспечение деятельности подразделений МЧС России

Катастрофические степные пожары: проблемы и пути их решения

Э.Н. Валендик, Е.К. Кисиляхов, И.В. Косов, А.И. Лобанов, Е.И. Пономарев

ФГБУН Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН

В России степные пожары от выжигания сухой травы скотоводами в степных и лесостепных зонах относятся к V веку. Древними скотоводами было подмечено, что выжигание сухой травы ранней весной ускоряет рост зеленой массы и удлиняет период ее вегетации. Этот способ применяли в степях и лесостепях на обширной территории Евразии от Южного Урала до Хабаровского края, включая Алтай, Хакасию и Туву (1). До сих пор легально этот способ применяется на пастбищах Монголии, но катастрофических пожаров там не бывает, т.к. многотысячные отары овец поедают траву в степи, а в зоне поселений еще и вытаптывают её.

В XVIII веке действовал закон царя Петра I, запрещающий выжигания сухой травы на полях и сельхозугодьях, примыкающих к лесу, и виновные подвергались большому денежному штрафу. В XIX веке запрет на выжигание сельхозугодий в степных зонах был ужесточен до уголовной ответственности. В ряде регионов России запрет на сельхозпалы действует до сих пор.

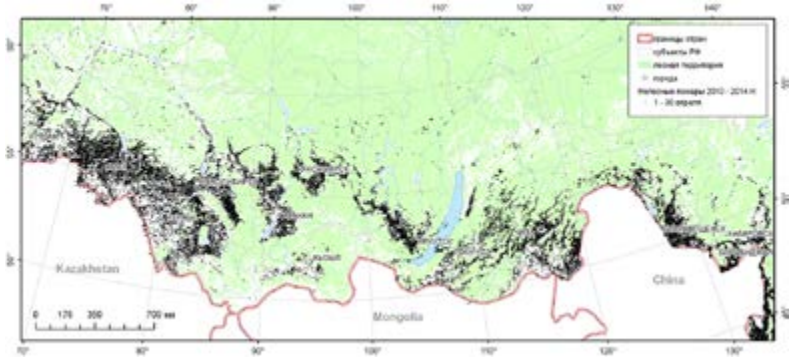
Исторический опыт свидетельствует о том, что исключительно запретами на выжигания сухой травы в степных и лесостепных районах невозможно добиться желаемого результата, тем более оценки последствий таких выжиганий не однозначны.

Поэтому, кроме запретов сельхозпалов, необходимо искать альтернативные пути решения этой серьезной проблемы. Масштабы ее очень велики, степными пожарами подвержены потенциально почти 2/3 территории России (рис.1). Для решения проблемы необходим федеральный план противопожарной защиты поселков от степных пожаров. Регионы без поддержки Правительства Российской Федерации эту проблему решить не смогут. Это наглядно показал опыт борьбы со степными пожарами в Хакасии и в Забайкалье.

Катастрофические степные пожары в этих регионах охватили почти 40 населенных пунктов. В Хакасии погибли 35 человек, 1600 пострадали от пожаров. В этих пожарах погибло около 5000 сельскохозяйственных животных. Предварительный ущерб, нанесенный пожарами, превысил 5 миллиардов рублей (2). Катастрофические пожары в степях развиваются при аномальных погодных условиях: длительная засуха, высокие температуры воздуха (более 25–30 °С) и штормовые ветры более 20 м/с.

а)

б)



в)

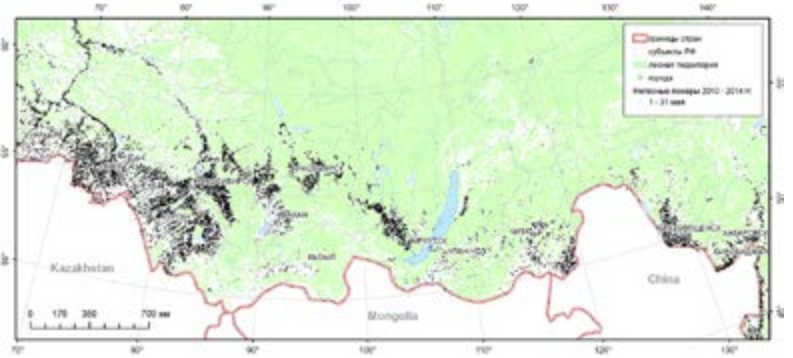


Рис. 1. Степные пожары евразийского региона. Данные спутникового мониторинга 2010 – 2014 гг., статистика на начало пожароопасного периода: март (а), апрель (б), май (в).

Многолетний опыт борьбы с природными пожарами показывает, что огнезащитные полосы только из вспаханной земли даже шириной несколько десятков метров не задерживают степные пожары при сильном ветре. Горящие пучки сухой травы легко преодолевают эту преграду. Поэтому для решения проблемы необходим комплекс мер и технологий, обеспечивающих защиту поселков от степных пожаров. Разрабатываемые противопожарные технологии должны обязательно учитывать поведение пожаров в аномальных метеорологических условиях.

В целом мероприятия, направленные на решение проблемы, можно подразделить на два блока. Первый блок включает разработку профилактических мероприятий и технических решений, связанных с противопожарным обустройством территорий, прилегающих к степным населенным пунктам. Его основой должно быть создание противопожарных заградительных поясов по периметру населенных пунктов. Второй блок должен предусматривать организацию оперативных мероприятий по мобилизации населения на эффективную борьбу с пожарами в случае их возникновения и профилактическую работу с населением.

Литература

1. Технологии контролируемых выжиганий в лесах Сибири / Валендик Э. Н., С. В. Верховец, Е. К. Кисиляхов, Г. А. Иванова, А. В. Брюханов, И. В. Косов, И. Г. Голдаммер. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т. 2010. – 160 с.
2. Гуггенгейм С. Противопожарная слеза // Московский комсомолец в Красноярске, 21(908), 20-27 мая 2015 г. С. 2.

Борьба со степными пожарами выжиганием заградительных полос

С.Н. Орловский

ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет

Открытые безлесные пространства, где активатором горения являются травянистая растительность, занимают в Сибири десятки млн. га. Под влиянием погодных условий и антропогенного фактора эти площади обладают весной максимальной пожарной опасностью. Степные пожары становятся причиной других, более катастрофичных пожаров, когда сгорают дома, дачные поселки, деревни. Шлейф дыма от разгоревшейся травы или оставленной на поле соломы может распространяться на многие километры, резко снижается видимость, нередки случаи отравления людей и животных окисью углерода. Травяные палы уничтожают лесополосы среди полей, линии электропередач, посёлки.

Нередки случаи, когда из - за степных пожаров сгорают заготовки сена. Однако основной проблемой является переход пожара на населенные пункты, на территории Хакасии 60% поселений находиться в степной зоне. Зачастую в степи стоят

различные фермы, коровники, загоны для скота. В 2014 году пожарные подразделения 422 раза ликвидировали травяные палы по данным ГУ МЧС России по Хакасии.

Установлено, что степные пожары всегда ведут к снижению фиторазнообразия. Происходит уничтожение надземных и подземных частей растений, что обусловливает отмирание как молодых, так и сформировавшихся взрослых особей. Сгорание цветков и плодов уменьшает реальную семенную продуктивность растений, банк семян в почве и число появившихся из них впоследствии проростков. Огонь воздействует на травостой степи прямо и косвенно:

- во-первых, огонь непосредственно действует на органы растений;
- во-вторых, происходит изменение условий их существования, связанное с разрушением степной дернины и оголением почвы.

Нерегулируемые палы, на наш взгляд, почти всегда можно рассматривать как негативный фактор воздействия на степные фитоценозы, особенно в периоды активной вегетации, цветения и плодоношения растений. При неконтролируемых пожарах происходит глубокая деградация биоценозов, часто до полного разрушения их компонентов.

Урон наносится и животному миру. В огне гибнут мелкие и крупные млекопитающие, рептилии, насекомые и представители других таксономических групп, кладки птиц, личинки и др. В большей степени от пожаров страдает фауна беспозвоночных, связанных с травостоем – долгоносики, листоеды, равнокрылые, чешуекрылые и др. Медленно происходит восстановление фауны беспозвоночных, связанных с лесной подстилкой – многоножек, некоторых пауков, клопов. Обычно их не фиксируют на выгоревшей территории до трёх и более лет. Итогом пожара может быть полное уничтожение не только биоты, но и почвы как сложного органоминерального комплекса. На пройденных огнем территориях заметно возрастает засоление, развивается водная и ветровая эрозия.

Основным способом борьбы со степными пожарами является опашка его минерализованными полосами или локализация заградительными барьерами, выполняемыми посредством отжига.

Прокладка на пути огня или с целью профилактики его распространения защитных минерализованных полос может выполняться с применением лесного плуга ПКЛ - 70, пропашного плуга ПН - 4 – 35 или плуга лесного комбинированного ПЛК- 2. При высоте сухих трав до 15 см необходимая ширина защитной полосы составляет не менее 2,0 м, при их высоте от 15 до 30 см – 2,8 м, до 50 см – 4,2 м [2].

В моей работе предлагается использование специальной установки для выжигания полос, которая исключает возможность перехода пала в пожар, а так же является более экономичной и быстрой в использовании. Предлагаемая установка может использоваться как для профилактики так и для оперативного тушения степного пожара (Рисунок 1).

Предлагается отказаться от энергоёмкой и медленной операции напашки противопожарных полос и перейти к их выжиганию управляемым огнём [3].

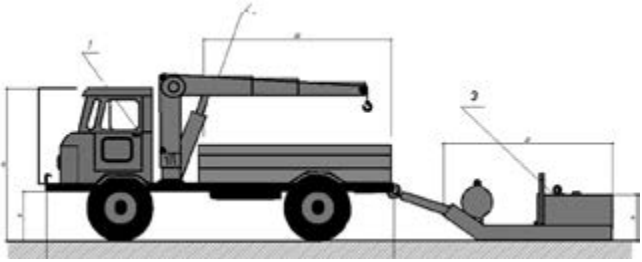


Рис. 1. Агрегат для выжигания трав при борьбе со степными пожарами 1 – автомобиль, 2 – погрузчик; 3- оборудование

Для этой цели предлагается устройство к автомобилю ГаЗ-66 (ГАЗ 3308). Устройство посредством гидроподъёмника грузится в кузов и транспортируется к месту степного пожара. На рисунке 2 представлена конструкция предлагаемого устройства и схема его работы.

На месте работы устройство выгружается и присоединяется к буксирному устройству автомобиля. В ёмкости 2 и 4 подаётся воздух от компрессора машины. Зажигаются горелки от паяльных ламп 3 и орудие буксируется вдоль кромки пожара на заданном удалении. Под рамой 1 сухая трава сгорает, по сторонам из форсунок 5, соединённых с резервуарами 4 вода с пенообразователем образует защитные полосы. При выжигании полос с обеих сторон прокладываются пенные полосы. Пена применяется для экономии воды. При пуске отжига в сторону пожара перекрываются форсунки 5 с требуемой стороны и огонь идёт навстречу пожару, увеличивая ширину выжженной полосы. Дозаправка резервуаров 4 производится из бака в кузове машины по мере расходования жидкости [3].

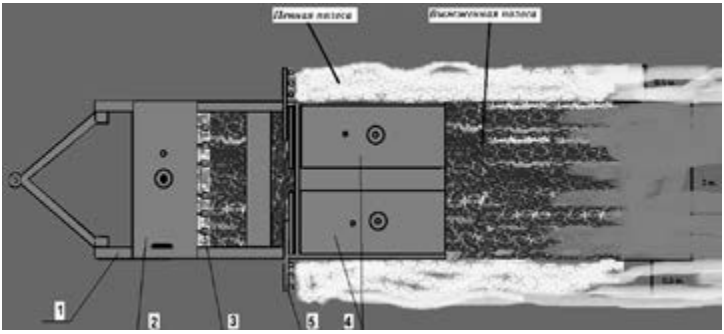


Рис. 2. Схема устройства для выжигания заградительных полос и барьеров при борьбе со степными пожарами. 1 – рама с дышлом; 2 - резервуар для бензина; 3 – горелки паяльных ламп; 4 – резервуары для огнегасящей жидкости; 5 - форсунки для смачивания растительного покрова

Протяжённость барьера при автономной работе устройства 10-15 км, рабочая скорость 5-7 км/ч, масса конструкционная 500 кг, транспортная скорость - по характеристике автомобиля.

Для сравнения базовых и предлагаемой технологий зададимся удалённостью пожара от места базирования техники 20 км и сравним экологический ущерб от степного пожара при высоте травостоя 30 см и скорости продвижения его фронта 5 м/мин по критерию выбросов диоксида углерода и поглощения кислорода. Варианты - $Б_1$ - плуг ПН-4-35 на ДТ - 75М, $Б_2$ - плуг ПКЛ - 2 на МТЗ - 82, $Н_1$ - предлагаемое устройство на ГАЗ - 66.

Согласно тактических расчётов и методики определения экологического ущерба сравним размеры выгоревших площадей и экологический ущерб от применения на тушении степного пожара предлагаемого нового устройства (Н) и базовых (Б1 и Б2) технологий [4].

Площади пожаров, га и их периметры, км составят (га/км) 81/4,5, 25/2,5 и 7,5/1,38. Скорость роста периметра пожара 1,38 км/ч. Время локализации $Т_л^{Б1}$ = 1,94 ч, $Т_л^{Б2}$ = 1,1 ч, $Т_л^{н}$ = 0,26 ч. Периметр пожара к концу тушения $Р_к^{Б1}$ = 5,82 км. $Р_к^{Б2}$ = 3,3 км, $Р_к^{Н}$ = 1,56 км.

Выгоревшие площади $S^{Б1}$ = 104,3 га, $S^{Б2}$ = 38,2 га, $S^{Н}$ = 13,74 га.

Количество выбросов диоксида углерода по вариантам $Б_1$, $Б_2$ и Н соответственно 104,3 т, 38,2 т и 13,7 т, выгорание кислорода 258,7 т, 94,7 т и 34,1 т соответственно.

Табл. Технико-экономические показатели эффективности устройства

Показатели	Базовый вариант	Проектируемый вариант
Базовый трактор	ДТ – 75	ГАЗ – 3308
Оборудование	Плуг ПН- 4-35	Проектное устройство
Стоимость всего, тыс. руб: - трактора - плуга - проектного орудия	1240000 120000 -	1469000 - 58494
Производительность эксплуатационная, км/ч	6	7
Транспортная скорость, км/ч	8	30-60
Число пожаров за сезон, шт	52	52
Объём работ за сезон, км	196,6 км	61,88
Затраты времени за сезон, ч	162,2	43,6
Показатель выработки, руб/км	194,42	46,35
Затраты времени, ч/км	0,14	0,04
Прирост прибыли, тыс. руб.		9,04
Срок окупаемости, год		6,47

Применение предлагаемого устройства взамен использования на тушении степных пожаров тракторов с плугами сократит выгоревшие площади в 7,6 раза, в такой же пропорции сократятся выбросы диоксида углерода и поглощение кислорода [3].

Литература

1. Орловский С.Н. Лесные и торфяные пожары. Практика их тушения в условиях Сибири (Учебное пособие)/С.Н. Орловский//Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, – 2003. – 163 с.
2. Орловский С.Н. Методические указания для выполнения курсовых расчётных работ специальности 280102.65 «Техносферная безопасность» по курсу «Борьба с лесными пожарами»/ С.Н. Орловский, Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014, 72 с.
3. Балахчин С.А. Тушение степных пожаров выжиганием заградительных полос/ С.А. Балахчин, Сборник докладов IX Всероссийской студенческой научной конференции «Студенческая наука - взгляд в будущее». /Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – с. 178-180.
4. Орловский С.Н., Розанова Т.С. Методика определения экономического и экологического ущерба от лесных пожаров. //Лесоэксплуатация. Вып. 3. Красноярск. Изд-во СибГТУ. С. 47 – 51

Дистанционный метод оценки спутникового мониторинга энергетических параметров лесных пожаров

Е.И. Пономорев[1], Ю.О. Усатая[2]

[1] ФГБУН Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН
[2] ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет

Аннотация

На территории Сибири ежегодно фиксируется большое количество лесных пожаров. В связи с большим охватом территории, объективный мониторинг ЛП может быть проведен только с использованием спутниковых систем. В Лесном фонде РФ более 51% лесов отнесено под спутниковые методы мониторинга лесных пожаров [1,2], которые активно развиваются и применяются на практике на протяжении двадцати лет. В середине 2000-х годов спутниковые данные включены в систему учета лесных пожаров ИСДМ – Рослесхоз [2,3] и в систему «Каскад» МЧС РФ [4]. Начиная с 1996 года, в исследовательских целях формируется банк данных о лесах и пожарах (рис 1), фиксируется спутниковыми методами, в Институте леса им. В.Н Сукачева СО РАН [2,5,6]. В связи с этим актуальна разработка технологий оценки энергетических характеристик пожара на основе дистанционных радиометрических данных.

А так же лесные пожары могут представлять угрозу объекту нефтегазового комплекса. В частности месторождения, осваиваемые на севере красноярского края, находящиеся в зоне, где при благоприятных внешних условиях вероятны лесные пожары, в том числе массовые. В связи с этим, с одной стороны актуально развивать дистанционные методы мониторинга лесных пожаров, а с другой стороны развивать методы прогнозирования горимости территорий и энергетических характеристик пожара.

В данной работе мы исследовали возможность дистанционных спутниковых оценок энергетических параметров горения в лесу и связь энергетических пожаров с внешними условиями (типа растительности и метеорологическими характеристиками).

Информация о районе исследования

Район исследований включает территории Среднесибирского плоскогорного таёжного района, Приангарского района, Восточно-Сибирского таежного - мерзлотного. В этих районах часто фиксируются крупные и экстремальные крупные пожары. На этих территориях были выбраны пожары 2012-2013 гг, под зоной с доминированием сосняков и под зоной с доминированием лиственничников.

Исходная информация была взята из ГИС данных о лесных пожаров института леса СО РАН. Выборка включает 5 пожаров, по 20 наблюдений для каждого пожара, по 100 и более значений на каждый район. Сведения о метеорологических параметрах из открытых баз данных «Росгидрометцентр» (rp5.ru). Показатель влажности ПВ-1 был восстановлен для 3 метео пункта, Богучаны, Тура, Якутия, вблизи которых зафиксированы пожары (рис.1.)

Рис. 1. Пример распространения пожаров в Сибири в 2012 г. на основе показателя FRP. Диаграммами представлены максимальные и средние значения FRP (МВт) по лесным районам Сибири

В сезоны с низкой горимостью до 80 – 90% пожаров характеризуются средними значениями FRP

< 1200 - 4000 МВт

В экстремальный пожароопасный сезон 2012 зафиксировано более 60% пожаров с FRP > 5000 МВт.

Спорадические максимумы FRP >20 000 МВт – случаи высокоинтенсивного горения, верховые пожары.

Основные результаты

1. Получены результаты FRP в дни наблюдения пожаров в лиственничной и в сосновых участках за 2012 и 2013 год. Получены максимальные, средние и минимальные значения интегральной мощности теплоизлучения за каждый день.

Средние значения выше, чем в сосняках, это определяется различными свойствами горючих материалов. Таким образом, энергетическая характеристика позволяет оценить уровень воздействия пожара на растительность. Мощность излучения линейно зависит от показателя влажности.

Максимальная с учетом суточной и долгопериодической динамики интегральная мощность теплоизлучения от пожаров зафиксирована на уровне 10000-100000 Мвт.

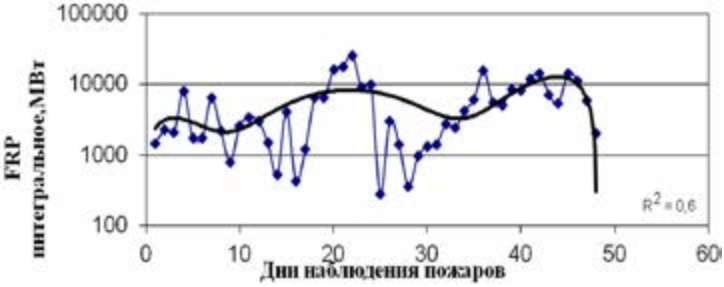


Рис.2. Максимальные значения FRP в дни наблюдения пожаров в лиственничной зоне за 2012 год

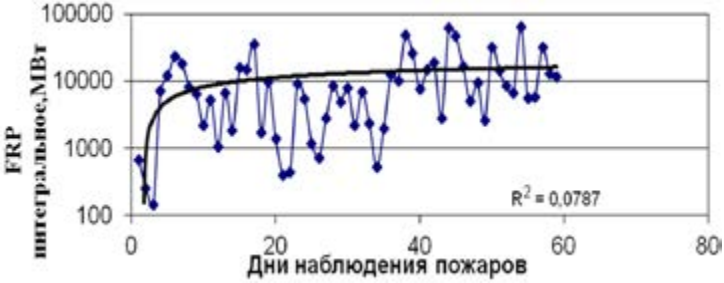


Рис.3. Максимальные значения FRP в дни наблюдения пожаров в сосновой зоне за 2012 год.

Так же рассчитан еще ряд данных среднего и минимального FRP за каждый день в сосновых и лиственничных лесах за 2012 год и в лиственничных за 2013 гг.

2. Природная пожарная опасность в лесу по условиям погоды, по которой можно судить о возникновении и распространениях низовых пожаров в насаждениях различных типов леса

По расчетным данным был построен график ПВ-1 от максимального значения FRP в сосновых лесах (рис.4).

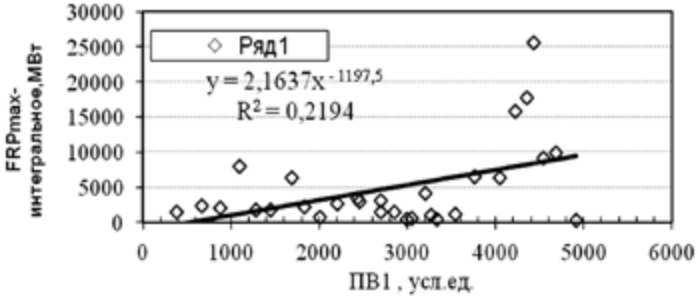


Рис 4. Максимальное значение FRP от ПВ-1. В сосняках, зафиксированных на станции Богучаны в 2012 году.

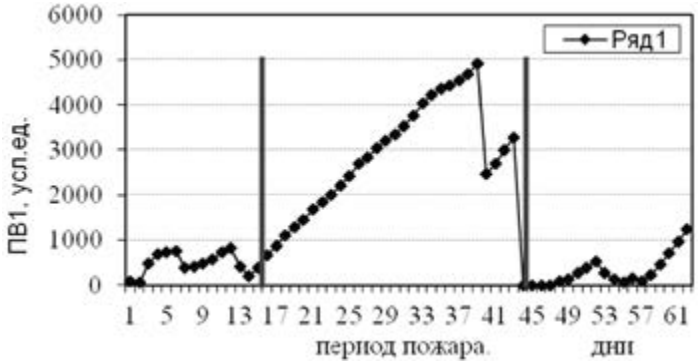


Рис 5. ПВ-1 от периода пожара в днях. В сосняках зафиксированных на станции Богучаны.

Построен график ПВ-1 от периода пожара по дням (рис. 5.). Где видны границы максимального горения леса. Следовательно, в этот период дней выпало наименьшее кол-во осадков. А значит, был сухой период времени, что способствует максимальному горению.

Заключение

Вычислили энергетические характеристики пожаров. Оценили уровень связи с показателем пожароопасности ПВ- 1.

Рассмотрели выборку пожара развивавшегося в различных внешних условиях (лиственничниках и сосняках).На основе метеорологических данных, установили динамику показателя пожароопасности ПВ-1 в районе действия пожара. Используя соотношение Кауфмана, определили мощность теплоизлучения FRP.Оценили уровень связи между FRP и ПВ-1.

На основе проведенных исследований можно построить прогностическую модель развития пожара для заданных внешних условия, что необходимо для тактики и стратегии противопожарных мероприятий.

Литература

1. Андреев Ю.А., Брюханов А.В. Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами (на примере Алтае- Саянского экорегиона): справочное пособие. Красноярск, 2011.272 с.
2. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетницкий В.Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.,2008, 5, т.II . С. 419-429.
3. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Дистанционное Зондирование земли из космоса. М., 2012,т.9,2. С. 9-26.
4. Кудрин А.Ю., Резников В.М. Аэрокосмическая система мониторинга пожарной обстановки // Технологии гражданской безопасности, 2006, 4(10). – С.36-49.
5. Пономарев Е.И., Шевцов Е.Г. Характеристики категорий пожаров растительности в Сибири по данным спутниковых и других наблюдений // Исслед. Земли из космоса,2013,5.С.45-54.
6. Сухинин А.И. Система космического мониторинга лесных пожаров в Красноярском крае //Сиб.экол.журнал,1996, т.3,1.- С.85 – 92.

Борьба с торфяными пожарами локализацией их заградительными барьерами из огнестойкой быстротвердеющей пены

С.Н. Орловский

ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет

При выполнении работ по защите окружающей среды важное место занимает борьба с торфяными пожарами, которые по степени наносимого природе ущерба, находятся на первом месте. Горение часто протекает под слоем торфа, распространяясь на десятки и сотни метров от очага загорания [1, 2].

Торфяные месторождения только в Азиатской части России занимают 30 млн. га, причём 88,3 % из них имеют площадь свыше 10 тыс. га. Торф сгорает на всю глубину залежи или до слоёв с высокой влажностью. Тушение таких пожаров - это изнурительный труд многих людей, привлечение значительного количества техники и средств. Массовое загорание торфяников в засушливые годы может привести к экологической катастрофе. [1].

Особенностью торфяных пожаров является небольшая скорость их распространения, относительно небольшие площади, высокая устойчивость горения и огромное количество образующегося дыма. Работа по их тушению опасна из-за пустот в торфе, в которые могут проваливаться техника и люди. Поливание горящих торфяников водой с поверхности малоэффективно.

Для природных торфяных залежей, удалённых от дорог и мест базирования техники, эффективные меры борьбы с торфяными пожарами отсутствуют. Надёжная локализация пожаров достигается лишь канавами. Доставка техники к очагам горения производится с большим опозданием, что приводит к практически полному выгоранию месторождений торфа.

Очаг торфяного пожара низкой интенсивности при глубине прогорания до 25 - 30 см в начальной стадии его развития может быть оперативно потушен отделением слоёв горящего торфа от краёв образовавшейся воронки при помощи лопаты и складыванием их на выгоревшей площади. Далее горящий торф заливается водой и тщательно перемешивается с целью разбивания комков горящего торфа, края воронки промачиваются. Для повышения эффективности тушения и сокращения расхода воды в неё желательно добавлять смачиватель. Объём работ по тушению загорания на площади до пяти квадратных метров может быть выполнен силами одного рабочего при подноске воды в ранцевом лесном опрыскивателе (РЛО) на расстояние до 0,5 км в течение двух часов.

Также разработан и внедрён эффективный способ тушения торфяных пожаров посредством нагнетания воды со смачивателем в горящие слои торфа через специальные торфяные стволы. Применение его может быть рекомендовано для борьбы с торфяными пожарами на площади менее 2 – 3 га.

Локализация торфяных пожаров возможна без применения заградительных канав при условии прокладки в торфяной залежи узких щелей до минерального грунта или уровня грунтовых вод с одновременным или последующим заполнением их огнестойкой быстротвердеющей полимерной пеной. При теплотворной способности торфа $23 \cdot 10^6$ Дж, температуре возгорания 190^0 С и тления 350 - 400^0 С, коэффициенте теплопроводности торфа 0,070 - 0,087 Вт/(м·К), плотности 0,2 - 0,3 кг/дм^3 и коэффициенте теплопроводности пены 0,03 – 0,04 Вт/(м·К) толщина заградительного барьера 0,1 м обеспечивает остановку горения [3].

Пену можно считать работоспособной до 450 – 500 ^{0}С, что отвечает условиям горения при торфяных пожарах. Щели, заполненные теплоизолирующим огнестойким материалом, выполняют функции заградительных барьеров на пути распространения торфяного пожара [3]

Для определения защитных свойств заградительного барьера необходимо знать максимальную температуру на стенке пены со стороны не горящего торфа.

Для расчёта поля температуры проведём численный эксперимент вдоль воображаемой прямой, проходящей через торф и пену перпендикулярно плоскости их соприкосновения. Будем считать, что фронт горения в виде плоскости приближается к пене с характерной скоростью движения фронта и температурой горения.

Для нахождения изменяющегося во времени поля температуры необходимо решить нестационарное уравнение теплопроводности. Левая граница представляет собой приближающийся к пене фронт горения (скорость движения фронта $V_ф$ = 2 мм/ч) с температурой $T_ф$ = 650 К [3, 4], на правой границе поставим условие отсутствия теплового потока на бесконечном удалении.

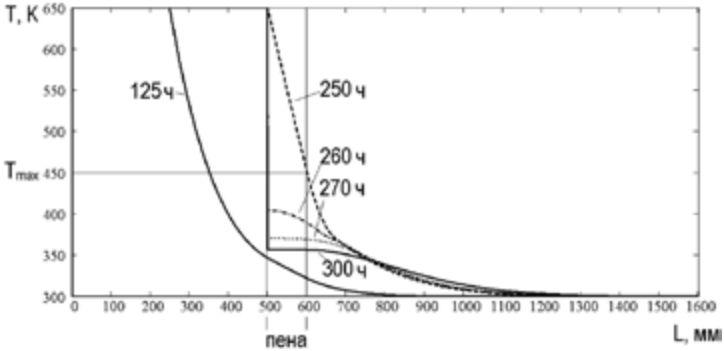


Рис. 1. Профили температуры для скорости горения торфа 2 мм/ч (абсолютная влажность 270 %).

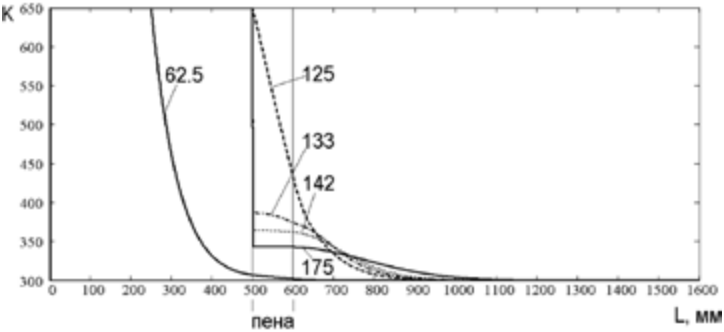


Рис. 2. Профили температуры для скорости горения торфа 4 мм/ч (абсолютная влажность 120 %).

Результат численного интегрирования представлен на рисунках 1 и 2. Здесь изображены профили температуры для указанных моментов времени. Как видно из рисунка, после того, как фронт горения достиг поверхности пены, происходит

охлаждение. При этом максимальная температура на стенке пены со стороны негорящего торфа близка, но не превышает температуру воспламенения торфа даже без учёта его сушки.

Таким образом, щель заполненная негорящей пеной останавливает фронт горения, а вследствие малых теплопроводностей торфа и пены возгорание торфа с другой стороны щели не происходит.

Для прокладки щелей глубиной 0,9 м может использоваться орудие заградительное торфяное ОЗТ - 0,9, агрегатируемое с трактором ТЛП - 4 (на базе ТТ-4) [5]. Схема агрегата представлена на рисунке 3.

При работе фреза 2 прорезает в торфе щель, в которую подаётся раствор карбамидно - фенольной смолы с пенообразователем и отвердитель. В результате химической реакции в щели получается полимерная огнестойкая пена, которая, застывая в течение минуты, образует заградительный барьер, препятствующий распространению фронта торфяного пожара. Недостаток агрегата с орудием ОЗТ-0,9 – невозможность его использования для локализации пожаров на глубокозалежных торфах. Кроме того трактор ТТ-4 не предназначен для работы на почвах с низкой несущей способностью.

Для локализации пожаров на глубокозалежных торфах было разработано щелерезное оборудование к трактору ЛХТ-100 с уширенными гусеницами. Агрегат имеет пониженное по сравнению с ТТ-4 удельное давлением на грунт и, как следствие, лучшую проходимостью по болотам. Также в его конструкции предусмотрено автоматическое регулирование скорости движения в зависимости от нагрузки на рабочий орган и защита тракториста от воздействия продуктов пиролиза и оксида углерода при работе. Схема агрегата в составе трактора ЛХТ-100 с цепным щелерезным рабочим органом представлена на рисунке 4.

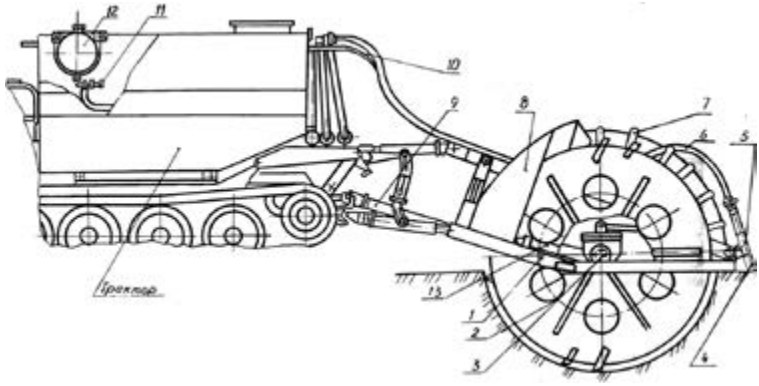


Рис. 3. Схема агрегата для локализации торфяных пожаров. 1 - рама, 2 – фреза, 3 – редуктор привода фрезы, 4 – ствол воздушно – пенный СВП - М модернизированный для работы с кислотой, 5 – кронштейн крепления ствола, 6 - рукав напорный, 7 - защитная пластина, 8 - кожух фрезы, 9 - вал карданный, 10 - рукав кислотный, 11- кран подачи кислоты, 12 - бак для кислоты 13 - опора технологическая

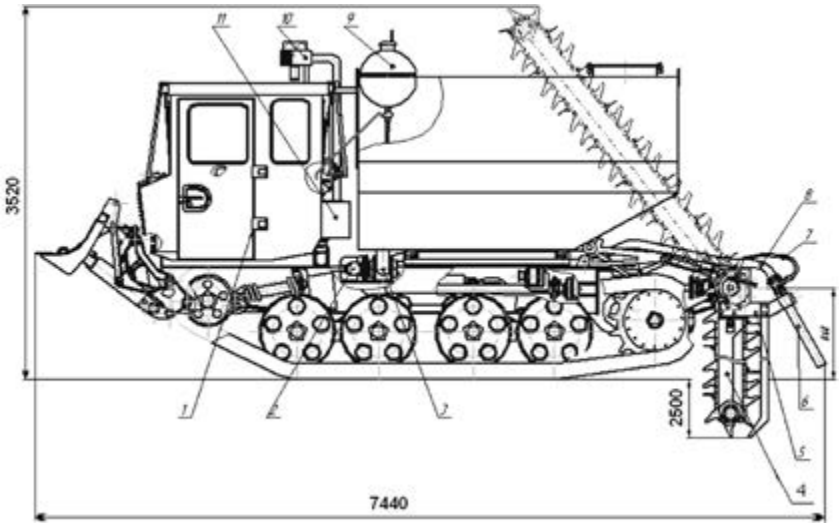


Рис. 4. - Схема агрегата в составе трактора ЛХТ-100 с цепным щелерезным орудием 1 – трактор ЛХТ-100 А 12, 2 - гидромотор МНШ - 50, 3 – насос НШН - 600, 4 – цепной рабочий орган, 5 - кронштейн крепления ствола с кожухом защитным, 6 – ствол воздушно – пенный СВП - М, 7- шланг кислотный, 8 - рукав напорный, 9 - бак для кислоты, 10 – воздухозаборник системы жизнеобеспечения кабины, 10 – воздушный фильтр и система очистки воздуха от оксида углерода и продуктов пиролиза.

Устройство для получения и подачи огнестойкой быстротвердеющей пены в агрегатах идентично и представляет собой пеногенератор, выполненный на основе пожарного ствола марки СВП – М (Рисунок 5).

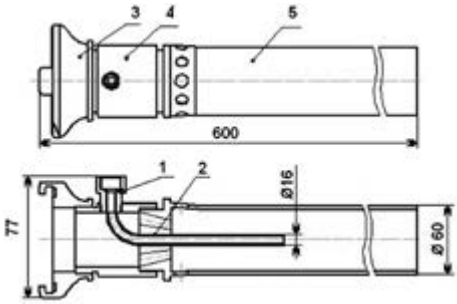


Рис. 5. -Устройство для получения и подачи огнестойкой быстротвердеющей пены на основе пожарного ствола марки СВП – М. 1 – штуцер, 2 – трубка кислотная, 3 – гайка Рота для присоединения пожарного рукава, 4 – вставка, 5 – ствол воздушно- пенный СВП-М.

Приготовление раствора для создания огнестойкой быстротвердеющей пены заключается в смешивании смолы карбамидно-фенольной КФ - 17 или КФ - МТ (20 %), пенообразователя ПО - 1 или ПО - 3 (2 %) и воды (78 %). При работе устройства после подачи смеси химических компонентов насосом под давлением в воздушно-пенный ствол, установленный в задней части орудия, в неё подаётся концентрированная техническая серная кислота в объёме 2,5 %, смешивается и в струю смеси подсасывается воздух в количестве 30 - 50 частей на 1 часть раствора. Пена, попав в щель, заполняет её, а также образует на поверхности торфа заградительную полосу шириной 0,6 - 0,8 м. При глубине прокладываемой щели один метр заправки агрегата хватает на прокладку 600 - 800 метров заградительного барьера.

При отсутствии химических компонентов для получения быстротвердеющей пены пожар может быть локализован посредством прорезания щели вокруг очага горения и заполнения её водой из источника по рукавной линии от мотопомпы или водяного насоса трактора (пожарной машины). Возможно использование не специального трактора с щелерезным орудием, а любых щелерезных агрегатов и автономного комплекта оборудования для приготовления и подачи в щель, прорезанную в торфяной залежи, огнестойкой быстротвердеющей пены.

Вывод

Предпочтительно, учитывая низкую скорость развития торфяного пожара, иметь один агрегат данного типа для тушения торфяных залежей с толщиной слоя торфа до 2.5 м в составе региональных сил МЧС. Доставка его на автомобиле соответствующей грузоподъёмности к очагу горения и далее своим ходом составит не более 3 дней даже в пределах Красноярского края.

Литература

1. Орловский С.Н. Лесные и торфяные пожары. Практика их тушения в условиях Сибири (Учебное пособие)/С.Н. Орловский//Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, – 2003. – 163 с.
2. Кушнарёв, Д.Т. Методом взрыва/Д.Т. Кушнарёв, И.А. Михайлов // Пожарное дело. - 1974. - № 6. - с. 18 – 19.
3. Орловский, С.Н. Метод тушения торфяных пожаров/С.Н. Орловский, А.А Грао // Природные пожары: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия. Материалы 5-й Международной конференции. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. - С. 158.
4. Борисов, А.А. Экспериментальное исследование и математическое моделирование торфяных пожаров/А.А.Борисов и др //Теплофизика лесных пожаров, Новосибирск, 1984, с. 5 – 22.
5. Орловский, С.Н. Орудие для локализации торфяных пожаров/ С.Н. Орловский // Лесное хозяйство. – 1995. - № 2. - С 34

Орудие для прокладки пенных опорных полос для борьбы с лесными пожарами и тактические расчёты его применения

С.Н. Орловский, Ю.В. Французенко

ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет

Объектом исследования является совершенствование системы борьбы с лесными пожарами с использованием средств малой механизации.

Цель работы – обоснование конструкции орудия для прокладки пенных опорных полос для отжига и тушения низовых лесных пожаров низкой интенсивности с использованием пены и тактические расчёты его применения.

Для борьбы с лесными пожарами применяют орудия на базе бензопил и моторизированных опрыскивателей для сбивания пламени лесного низового пожара низкой интенсивности высокоскоростной воздушной струёй и прокладки пенных опорных полос. По своим массогабаритным показателям они позволяют прибыть к очагу горения в кратчайшие сроки и тем самым начать его локализацию на минимальной площади. Для этой цели в 1997-2000 годах институтом ВНИИПОМлесхоз были разработаны и внедрены в серийное производство воздуходувки лесопожарные переносные ВЛП-2,5 и ВЛП-20 на базе бензопил «Тайга-245» и «Stil - 036» [1].

По своем конструктивному исполнению они являются малогабаритными вентиляторами центробежного типа с конфузорным соплом. Взаимосвязь давления и объёмной производительности вентилятора с мощностью привода воздуходувки выражается зависимостью:

$$N = \frac{P_v \cdot L}{1000 \cdot \eta_в}, \tag{1}$$

где P_v – полное давление вентилятора; L – объёмная производительность; $\eta_в$ – полный КПД устройства.

Полное давление $P_v = P_{ст} + P_{дин}$.

где $P_{ст}$ и $P_{дин}$ – соответственно статическое и динамическое давление, развиваемое вентилятором.

Статическое давление соответствует потенциальной энергии воздуха и равно сумме разрежения при всасывании $P_в$ и давления при нагнетании $P_н$. Так как воздуходувки не имеют явно выраженных всасывающего и нагнетательного воздуховодов, то $P_{ст}$ имеет незначительную величину и не влияет существенно на характеристики воздушного потока. С учётом этого, выражение (1) применительно к лесопожарным воздуходувкам может быть представлено в виде:

$$N_{пр} = \frac{P_{дин} \cdot L}{1000 \cdot \eta_в} кВт, \tag{2}$$

Динамическое давление^

$$P_{дин} = \frac{1}{2}\gamma\left(\frac{L}{F_в}\right)^2 = \frac{1}{2}\gamma \cdot V_п, \quad (3)$$

где *γ* - удельная плотность воздуха (при *t н= 20 °С, γ = 1,205* кг/м^3); $F_в$ - площадь сечения выходного сопла воздуходувки, м^2; $V_п^2$ - среднерасходная скорость потока, м/с.

Из формулы (2) следует, что при фиксированных значениях мощности привода увеличение одного из параметров воздуходувки можно только при соответственном снижении другого. По данным Г.П. Телицына [1] для прекращения пламенного горения при низовом пожаре скорость создаваемого воздуходувкой потока воздуха должна быть не менее критического значения Vпк. Величина мощности лесопожарной воздуходувки, обеспечивающей выполнение этого условия на примере пожара средней интенсивности (высота пламени $h_{пл}$ 1,8 м; глубина кромки 2,5 м; скорость продвижения кромки $V_{кр}$ 3,5 м/мин.

$$N_{пр} = \frac{V_{пк} \cdot \pi \cdot h^2{}_{пл} \cdot \gamma^2}{2g \cdot 4 \cdot 75 \cdot \eta_в} = 25\ л.с. = 18\,кВт, \quad (4)$$

где $V_{пк}$ *= 17 м/с* - критическая скорость потока при скорости ветра на кромке $И_в$ = 2 м/с; *q* - ускорение силы тяжести.

Анализируя полученные с использованием формулы (4) данные, можно заключить, что при использовании в качестве огнетушащего агента только сухого воздуха, мощность привода малогабаритных воздуходувок ВЛП-2,5 и ВЛП-20 обеспечивает им тушение кромки низовых пожаров только слабой интенсивности с высотой пламени не более 0,6-0,7 м. Недостаток существующих воздуходувок - работа в непосредственной близости от очага горения, когда оператор подвергается воздействию неблагоприятных факторов лесного пожара - огня, дыма, искр. По технологии он перемещается вдоль кромки пожара на расстоянии 1,5 – 2,0 м от неё, сбивает пламя воздушной струей.

В то же время при оперативной борьбе с лесными пожарами широко используются косвенные методы тушения, сущность которых заключается в создании заградительных полос различной ширины в зависимости от вида и интенсивности лесного пожара. Заградительные полосы прокладывают перед движущейся кромкой пожара на некотором расстоянии от нее. Косвенные способы тушения, особенно при борьбе с крупными лесными пожарами, являются достаточно эффективными и находят широкое применение в практике охраны лесов от пожаров.

Одним из апробированных в практике тушения лесных пожаров способов применения лесопожарных воздуходувок на тушении более интенсивных лесных пожаров было их применение на прокладке пенных опорных полос при производстве отжига [2 - 4]. На конце сопла воздуходувки может устанавливаться пеногенератор, служащий для приготовления воздушно-механической пены. При использовании воздуходувок на прокладке пенных опорных полос производительность одного лесного пожарного составляет в среднем 0,5 км/ч, ширина прокладываемой полосы 0,15- 0,25 м, время ее сохранности от 6 до 9 мин [2, 3].

При работе с пеногенератором воздушный поток, движущийся со скоростью 105 м/с с расходом воздуха 0,26 м^3/с срывает пену с сетки. Для обеспечения работы в сопло вставляется шайба с отверстием диаметром 15 мм, при этом мощность двигателя используется на 10-15 процентов (рисунок 1).

Проблема может быть решена использованием в качестве источника воздушного потока малогабаритного вентилятора меньшей мощности. При этом снижается масса орудия и его габариты, облегчается труд оператора. Предлагается вместо воздуходувки ВЛП-20 использовать сдувающий пылесос Stihl SH-56 мощностью 0,7 кВт и весом 5,3 кг с пеногенератором от ВЛП-20.

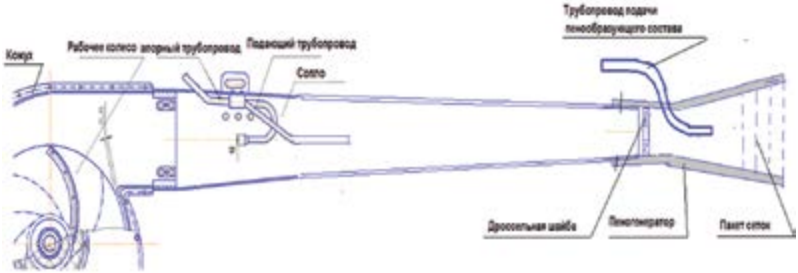


Рис. 1. Воздуходувка с дроссельной шайбой пеногенератора

При той - же производительности масса орудия снизится до 5,5 кг, соответственно уменьшится расход топлива и облегчится труд пожарного. Особенно эффективным может быть применение проектного орудия в МЧС для тушения весенних загораний травы в черте города. Вместо подачи воды по рукавной линии на кромку пожара, которая может иметь большую протяжённость, достаточно потушить огонь, укрывая его пеной.

Применение проектного орудия на прокладке опорных полос при тушении лесных пожаров позволит сократить сроки прибытия к очагу горения, повысить производительность и сократить площади выгоревших лесов. Прокладка заградительных барьеров с применением отжига должна производиться четырьмя рабочими в каждой группе. Ширина выжигаемой полосы должна быть равна для низового пожара до 10 м и не менее 200 м - перед фронтом беглого верхового пожара [4].

Прокладка пенных опорных полос небольшой ширины не требует повала деревьев, не нарушает ландшафтов и экологии лесов, не вызывает эрозии почвы. Необходимая ширина заградительной полосы достигается отжигом.

Методика расчётов

Ущерб от лесных пожаров оценивается определяется сокращением площадей выгоревшего леса [6]. Периметр пожара P при известной его площади S определяется по выражению

$$P = 0{,}5\sqrt{S}\,. \qquad (5)$$

Время локализации

$$Т_л = \frac{P_{нач}}{V_л^б - 0{,}5 \cdot V_р} \quad (6)$$

Периметр пожара к концу тушения

$$P_к = V_л \cdot T_л; \quad (7)$$

Выгоревшие площади $S = 4 \cdot P_к$ (8)

Проведём сравнительный расчёт использования на тушении лесного пожара проектного орудия и применяемых в практике пожарной и лесной охраны средств борьбы с природными пожарами по методике [6]. Результаты расчётов представлены в таблице и на диаграммах (рисунки 2-5).

Выводы

Применение проектного орудия на тушении низовых травяных пожаров избавляет расчёт АПП (0,5) от прокладки рукавных линий, но более эффективно применение РЛО с заправкой от АПП (0,5).

При тушении низовых пожаров средней и высокой эффективности применение проектного орудия для прокладки пенных опорных полос с применением отжига от них несомненно повышает производительность труда и обеспечивает сокращение выгоревших лесных площадей за счёт оперативного прибытия к очагу горения.

Выгоревшие площади сокращаются в 5-6 раз.

Реально применение орудия парашютистами-десантниками лесной охраны, что также сокращает выгоревшие площади лесов и затраты на тушение.

Табл. Сравнение эффективности технологий тушения лесных пожаров существующими методами и проектным орудием при различной удалённости.

Технологии и технические средства тушения природных пожаров														
Прямое тушение								Косвенное тушение						
Скорость кромки фронта пожара 3 м/мин														
Обозначения	АПП, Водяное тушение	РЛО 2 шт, запр. АПП	РЛО 4 шт запр. АПП 0,5	ВЛП-20 2 шт	Проектное орудие 2 шт.	Бульд на Т-170	ЛХТ-4 с клином и плугом	2 шт ЛХТ-4	Вертолёт МИ-в 12 чел ВВ	Вертолёт Ми2 5 чел Проектное орудие	Самолёт АН-2 5 чел проектное орудие	УАЗ 3303 8 чел. и 2 проектных орудия	Квадроциклы 2 шт. 4 чел проектное орудие 2 шт.
L	8					15	25	50	150	150	150	15	50
$Т_д$		0,33 ч				4	5	10	3,5	3,5	2	1,4	1,85
$S_в$		3 га				60	73	280	36	36	12	6	10
$Р_н$		0,87 км					3,4	4	8,5	3	3	1,2	1,6
$V_л$	0,8	1,5	3	2	1,6	0,8	2	4	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6
$Т_л$	4,8	5	3	2,5	4,8	11	2,7	2,3	2,5	3	1,4	1,1	1,3
S_Σ	22	33	9	13	21	98	95	317	54	52	21	12,8	18,5

Интенсивность пожара *Н* - низкая, *С* - средняя, *В* - высокая. *L* - удалённость, км; $T_д$ – время доставки расчёта к очагу горения, ч; $S_в$ – выгоревшая площадь к началу тушения, га; $P_н$ – периметр очага горения, км; $V_л$ – скорость локализации периметра пожара, км/ч; $T_л$ – время локализации, ч; S_Σ - выгоревшая площадь, га.

Литература

1. Главацкий Г.Д Исследование огнетушащей способности малогабаритных лесопожарных воздуходувок/Г.Д. Главацкий // Профилактика и тушение лесных пожаров. ВНИИПОМлесхоз, Красноярск, 1998, с.128-140.
2. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения/В.К. Тихомиров// М. Химия, 1983. - 263 с.
3. Гольдаммер И.Г. Применение пенных огнетушителей в борьбе с лесными пожарами и результаты, полученные при опытных работах с эпиролем/и.г. Гольдаммер// № 1. Л. AFZ, 1982, № 36, 1094 - 1097.
4. Орловский С.Н. Технология и механизация тушения лесных, степных и торфяных пожаров: методические указания/ С.Н. Орловский// Краснояр. гос. аграр. ун-т.-Красноярск, 2014. 92 с.

Применение метода подвижных сеток для расчета локализационных траекторий при управлении лесопожарной ситуацией

С.В. Яровой, Г.А. Доррер

ФГБОУ ВО Сибирский государственный технологический университет

Введение

Использование различных методов математического моделирования позволяет спрогнозировать поведение лесного пожара с различной степенью точности. Условно такие модели можно разделить на две группы: аналитические и экспериментальные. Аналитические модели опираются на описание физико-химических процессов, протекающих при горении растительного горючего, в основе всех этих моделей лежат законы сохранения энергии, массы и импульса [1],[2],[3]. Такие модели позволяют достаточно точно рассчитывать параметры процесса горения растительного горючего в трехмерном пространстве, однако в силу своей сложности они требуют большого объема исходных данных и очень сложных вычислений. По оценкам специалистов, такой расчет осуществляется в 500-5000 раз медленнее реального процесса. Экспериментальные модели основываются на упрощенных представлениях о процессе горения и использовании экспериментальных данных. Наиболее известной моделью этого типа является модель Р. Ротермела [4], которая используется в ряде систем прогнозирования, в частности, в таких программных

продуктах, как BehavePlus [5], FARSITE [6]. Эти модели, в силу своей простоты, имеют высокую скорость расчета параметров пожаров, однако обладают, как правило, ограниченной точностью прогнозирования. Для решения задач локализационного управления экспериментальные модели представляют особый интерес.

Описание задачи локализационного управления

Локализация лесного пожара – один из важнейших и наиболее трудных этапов борьбы человека с лесным пожаром. Под локализацией понимают процесс окружения горящей кромки непреодолимым для огня барьером [7]. Задачи локализационного управления возникают в связи с необходимостью эффективного маневрирования силами и средствами лесопожарных служб и связаны в первую очередь с расчетом путей локализации (локализационной траектории).

При расчете путей локализации необходимо смоделировать не только сам процесс распространения кромки пожара $G(G_0,t)$, но и процесс локализации $L(C_0,t)$, где G_0 и C_0 – начальные точки распространения процессов. Отличие процесса $L(C_0,t)$ от $G(G_0,t)$ заключается в том, что в нем всегда реализуется только одна траектория, тогда как в $G(G_0,t)$ реализуются все траектории. Реализованная траектория процесса $L(C_0,t)$, выходящая из точки C_0, называется локализационной траекторией. Кроме того, для каждой локализационной траектории должна быть указана ориентация, относительно процесса распространения кромки пожара (по часовой стрелке или против часовой стрелки).

Экспериментальная модель, основанная на методе подвижных сеток, позволяет построить процесс распространения кромки пожара [7]. Этот метод впервые был предложен С.К. Годуновым в задачах газовой динамики [8]. Также данный метод можно использовать и при построении процесса локализации.

Описание метода моделирования

В выбранной модели контур процесса в каждый момент времени рассматривается как непрерывная дифференцируемая линия на плоскости. Уравнение этой линии имеет вид $\varphi(x,y,t) = 0$. В каждой точке контура выполняется условие неразрывности $d\varphi/dt = 0$ Алгоритм расчета данным методом основан на численном интегрировании семейства характеристик уравнения Гамильтона-Якоби:

$$d\varphi/dt + v^T * grad\varphi = d\varphi/dt + v_n\,|grad\varphi| = 0,$$

где $v = [v_x, v_y]^T$ – вектор скорости, $grad\varphi = [d\varphi/dx,\ d\varphi/dy]^T$ – вектор нормали к контуру, $grad\varphi\ /\ |grad\varphi|$ – единичный вектор нормали к контуру, $v_n = (grad\varphi\ /\ |grad\varphi|)v$ – величина нормальной скорости. Значок Т означает транспонирование.

Начальные условия для данного уравнения заданы на начальном многообразии Λ_0.В результате решения получается два массива: массив координат точек фронта $\xi_i(t) = \xi_i(t, \omega_j)$ и массив нормалей к фронту в этих точках $p_i(t) = p_i(t,\omega_j),\ i\epsilon N(t)$. Для описания структуры контура для каждой точки указываются номера соседних точек.

Сам алгоритм, основанный на методе подвижных сеток, приведен в [7]. Данный алгоритм легко адаптируется для моделирования процесса локализации.

Реализация метода моделирования

Для реализации метода моделирования было разработано программное обеспечение в виде дополнительного модуля для системы «Тайга-3» [9]. Данная система имеет web-интерфейс и имеет клиентскую и серверную часть. Клиентская часть реализована на языке JavaScript.

На рисунке 1 приведен пример построения локализационной траектории при одностороннем охвате процесса. В начале работы алгоритма моделирования на карте выбирается две точки. Это стартовые точки процессов распространения кромки пожара и процесса локализации. Первая изображена соответствующей иконкой, вторая – желтым маркером под номером 1.

После запуска алгоритма пошагово строятся оба процесса, до тех пор, пока процессы не пересекутся. Из двух точек пересечения, в зависимости от выбранного направления обхода, выбирается новая точка старта процесса локализации. На рисунке - это желтый маркер под номером 2. Проведя прямую линию от точки 1 до точки 2, получим начало локализационной траектории. Затем построение процесса локализации начинается из точки 2 и строится следующий участок локализационной траектории. Таким образом, алгоритм продолжает работать до тех пор, пока локализационная траектория не замкнется, либо маркер под номером 1 не окажется в зоне процесса распространения кромки пожара. Во втором случае считается, что построение локализационной траектории при заданных входных параметрах невозможно.

На рисунке 1 красным цветом изображен процесс распространения кромки пожара. Белым – процесс локализации. Ориентация, относительно процесса распространения кромки пожара – по часовой стрелке. Сама локализационная кривая проходит через все выделенные маркеры и изображена черным цветом.

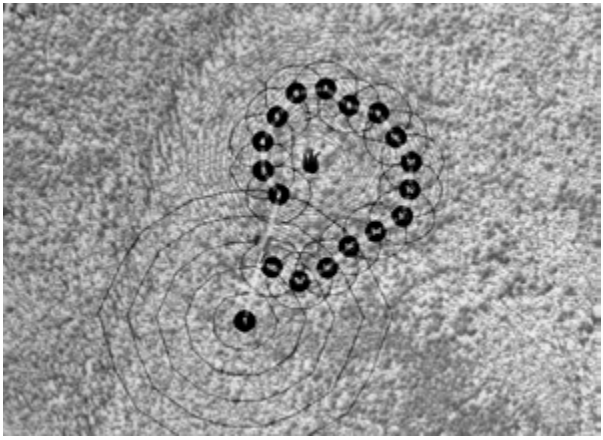


Рис.1. Пример построения локализационной траектории при одностороннем охвате процесса

На рисунке 2 приведен пример построения локализационной траектории при двустороннем охвате процесса. В данном случае не учитывается ориентация, относительно процесса распространения кромки пожара. В качестве новых точек старта процесса локализации выбираются обе точки пересечения процесса локализации и процесса построения кромки пожара. На рисунке – это желтые маркеры 2 и 3. Затем из обеих точек продолжает строиться процессы локализации, до тех пор, пока локализационная траектория не замкнется, либо маркер под номером 1 не окажется в зоне процесса распространения кромки пожара. Во втором случае считается, что построение локализационной траектории при заданных входных параметрах невозможно.

Выводы

С помощью описанного метода моделирования можно успешно строить как процесс распространения кромки пожара, так и процесс локализации, что говорит о высокой универсальности метода. Полученные таким образом модели процессов и локализационные траектории можно считать идеализированными, и на практике выбор средств и методов локализации зависит от большого количества факторов, которые практически не поддаются формализации. Однако изучение данных моделей и полученных траекторий может оказаться полезным как при разработке нормативных документов для лесопожарных служб, так и для оперативных решений при борьбе с крупными лесными пожарами. Таким образом, разработанное программное обеспечение совместно с системой «Тайга-3» можно считать основой для разработки полноценной системы поддержки принятия решения по борьбе с лесными пожарами.

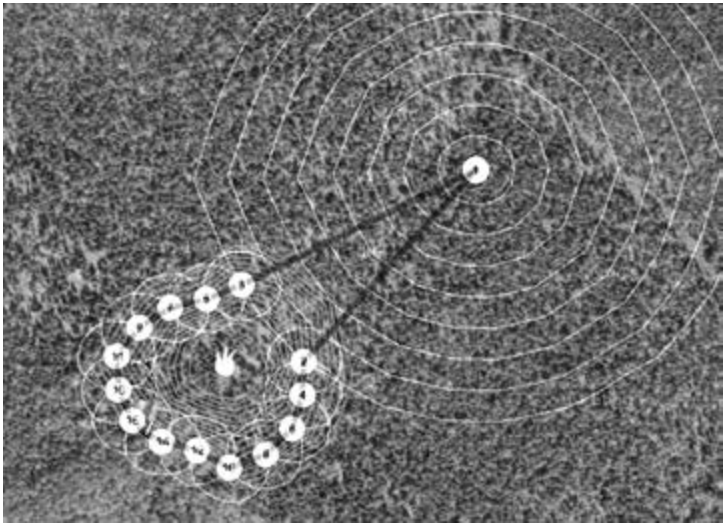


Рис. 2. Пример построения локализационной траектории при двустороннем охвате процесса

Литература

1. Mell, W. Wildland fire behavior modeling: perspectives, new approaches and applications / W. Mell, R.J. McDermott, G. P. Forney // Proceedings of 3rd Fire Behavior and Fuels Conference,Spokane, Washington, USA. – 2010. – P. 45-62/
2. Mell, W. A physics-based approach to modeling grassland fires / W. Mell, M. A. Jenkins, J. Gould, Ph. Cheney // International Journal of Wildland Fire. – 2007. – Vol. 16. - P. 1- 22.
3. Гришин, А. М. Математические моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. / А. М. Гришин. - Новосибирск: Наука, 1992. - 408 с.
4. Rothermel, R.C. A mathematical model for fire spread predictions in wildland fuels. / R. C. Rothermel. - USDA Forest Service Research Paper INT-115,Ogden, 1972, - 40 p.
5. Andrews, P. BehavePlus fire modeling system, version 2.0: User's Guide / P.L. Andrews, C.D. Bevins, R.C. Seli // USDA Forest Service Gen. Techn. Rep. RMRS-GTR-106WWW. – Ogden. – 2003. 45 p.
6. Finney, M.A. FARSITE: Fire are simulator model, development and evaluation / M.A. Finney. - USDA Forest Service, Res. Paper RMRS-RP-4. Ogden, 1998 - 47p.
7. Доррер, Г.А. Динамика лесных пожаров / Г.А. Доррер. – Красноярск: СО РАН, 2008. – 404 с.
8. Годунов, С.К. Об использовании подвижных сеток в газо-динамических расчетах / С.К. Годунов, Г.П. Прокопов // Журн. вычислит. матем. и математ. физики – 1972. Т. 12, №2. – С. 429-439.
9. Доррер, Г.А. Система обучения специалистов пожарной службы «Тайга-3» / Доррер Г.А., Яровой С.В., Буслов // Фундаментальная информатика, информационные технологии и системы управления: реалии и перспективы. FIITM-2014: материалы международной науч.-практич. конф. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014 . – С. 150-156.

Дисциплина «Мониторинг безопасности» в АГЗ МЧС России

И.А. Тулаев, Г.Н. Шаповалова, К.В. Тугушов

ФГБОУ ВПО «Академия гражданской защиты МЧС России»

В целях совершенствования функционирования единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций МЧС России по согласованию с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти 23.03.2000 г. № 86-рп утвердило «Положение о системе мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

В соответствии с Учебной программой «Мониторинг безопасности» 2011 года по направлению 280700.68 «Техносферная безопасность» (с 2014 г. – направление 20.04.01) АГЗ МЧС России включила в состав подготовки магистров дисциплину «Мониторинг безопасности».

Объектом исследования дисциплины «Мониторинг безопасности» является анализ опасных природных процессов и состояния технических систем при решении задач предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Предметом исследования дисциплины «Мониторинг безопасности» служит аналитическое обеспечение управленческих решений, отражающее технологический этап принятия решения, увязанный с параметрами опасных природных процессов, состояния технических систем и закономерностями взаимного их влияния, приводящего к катастрофическим последствиям.

Основными задачами дисциплины «Мониторинг безопасности» является формирование у слушателей знаний основ государственной политики по обеспечению мониторинга безопасности в природно-техногенной сфере, экологической доктрины РФ, прогнозирования чрезвычайных ситуаций природно - техногенного характера на территории субъекта Российской федерации, муниципалитета и объекта экономики, методик оценки вероятности возникновения ЧС, состава данных и основных получателей информации, подготовка и чтение лекций.

Учебно-методический комплекс дисциплины составляют:

1. Методические рекомендации преподавателю по преподаванию учебной дисциплины «Мониторинг безопасности» (частная методика дисциплины), которые представлены следующими разделами: введение, предмет и цели учебной дисциплины, место в структурно-логической схеме, методика подготовки к проведению учебных занятий, виды занятий, методы и средства обучения, воспитания и формирования навыков, подготовка и проведение группового занятия, подготовка и проведение практического занятия, примерный перечень тем сообщений для самостоятельной работы при подготовке к учебным занятиям и требования к ним, подготовка и проведение самостоятельной работы, организация самостоятельной работы обучающихся, методические занятия, проводимые на кафедре, порядок разработки, обсуждения и оформления учебно-методических материалов, методика становления молодых преподавателей, методика повышения квалификации преподавателей, контроль и оценка подготовки обучающихся, методика разработки и защиты магистерской диссертации, производственная практика обучающихся, воспитание обучающихся в процессе преподавания дисциплины кафедры, учебно-материальная база кафедры, литература по обеспечению дисциплины, заключение;
2. Методические указания обучающимся по изучению дисциплины «Мониторинг безопасности», которые представлены следующими разделами: ведение, целевые установки и организационно – методические указания по изучению дисциплины, требования к результатам освоения дисциплины, объем дисциплины и виды учебной работы, распределение бюджета вре-

мени, структура и последовательность изучения дисциплины, содержание разделов и тем изучаемой дисциплины, тематический план изучения дисциплины, рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся при изучении дисциплины, примерный перечень тем сообщений для самостоятельной работы при подготовке к учебным занятиям и требования к ним, примерный перечень вопросов для блиц-опроса на учебных занятиях и критерии оценки, рекомендации по подготовке к групповым занятиям, рекомендации по подготовке к практическим занятиям, перечень тем для выполнения контрольной работы, требования к выполнению контрольной работы, рекомендуемые вопросы для подготовки к зачёту с оценкой, рекомендации по подготовке к зачёту с оценкой, преддипломная практика обучающихся, производственная практика обучающихся, рекомендуемая литература;

3. Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Мониторинг безопасности», в котором представлены требования к знаниям, умениям, владению определённым кругом тем дисциплины, формируемые компетенции, паспорт фонда оценочных средств, перечень вопросов на зачёт с оценкой, вид экзаменационных билетов и критерии оценки знаний, вопросы блиц - опросов, темы сообщений к занятиям, темы и требования к выполнению контрольной работы. Фонд оценочных средств подвергается внешнему рецензированию;
4. Рабочая учебная программа и тематический план дисциплины «Мониторинг безопасности» (на 72 часа) включает 3 темы: Методологические основы мониторинга безопасности, Системы мониторинга безопасности, Организация мониторинга безопасности;
5. Учебно-методические материалы дисциплины «Мониторинг безопасности» (14 методических разработок (лекция, групповые занятия, практическое занятие, самостоятельная работа) для факультета заочного обучения и 14 - для очного обучения с учётом вида проводимого занятия).
6. Учебное пособие «Мониторинг безопасности» включает: Введение в дисциплину; Методологические основы мониторинга безопасности Системы мониторинга безопасности; Организация мониторинга безопасности; Заключение; список литературы.

Учебно-методические материалы дисциплины отражают современный уровень и базовые представления МЧС России, направленные на развитие и совершенствование сети наблюдения и лабораторного контроля гражданской обороны и защиты населения Российской Федерации с учётом изменений в перспективных проектах законодательных актов Правительства Российской Федерации.

АГЗ МЧС России пришло к осознанию использования результатов мониторинга безопасности для принятия управленческих решений в области безопасности на федеральном, региональном, объектовом уровнях в интересах:

1. Предупреждения чрезвычайных ситуаций.

2. Устойчивости объектов экономики и территорий в чрезвычайных ситуациях. Надёжности технических систем и техногенного риска.
3. Основ государственной политики по обеспечению безопасности в техносфере.
4. Норм международного гуманитарного права и международных институтов безопасности.
5. Аудита безопасности промышленных объектов.

Литература

1. Приказ МЧС РФ от 4 марта 2011 г. № 94 «Об утверждении Положения о функциональной подсистеме мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций Единой Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».
2. Проект Постановления «Об утверждении положения о сети наблюдения и лабораторного контроля гражданской обороны и защиты населения Российской Федерации и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».
3. ГОСТ Р 22.1.15-2014. Технические средства мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Классификация. Общие технические требования.
4. И.А. Тулаев, Г.Н. Шаповалова, К.В. Тугушов, Учебное пособие «Мониторинг безопасности» Часть I, часть II. ФГБОУ ВПО АГЗ МЧС России. 2015 г.

Космический мониторинг, как важнейший компонент информационного обеспечения национальных служб реагирования на чрезвычайные ситуации развитых государств

А. А. Горбунов, А.Ю. Пономорчук

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

В Российской Федерации основной системой отвечающей за мониторинг состояния объектов, природных, техногенных, социальных процессов и явлений является система мониторинга и прогнозирования природно-техногенных чрезвычайных ситуаций (СМП ЧС)

Применительно к потенциально опасным объектам мониторинг – это постоянный сбор информации, наблюдение и контроль за объектом, включающий процедуры анализа риска, измерения параметров технологического процесса на объектах, выбросов вредных веществ, состояния окружающей среды на прилегающих к объекту территориях [1].

Результаты мониторинга используются для предупреждения о создающихся опасностях, угрозах и критических ситуациях, обеспечения информационной поддержки подготовки и принятия управленческих решений по изменению в безопасном направлении состояния и развития процесса или явления.

СМП ЧС была образована во исполнение распоряжения Президента РФ В.В. Путина от 23 марта 2000 г. №86-рп.

СМП ЧС создана в целях совершенствования функционирования Единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (РСЧС). Структура РСЧС представлена на слайде.

СМП ЧС по своему статусу является функциональной подсистемой единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

Одним из основных направлений реализации функций СМП ЧС является космический мониторинг.

Космический мониторинг заключается в непрерывном многократном получении информации о качественных и количественных характеристиках природных и антропогенных объектов и процессов с точной географической привязкой за счет обработки данных, получаемых со спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Космический мониторинг позволяет получать однородную и сравнимую по качеству информацию единовременно для обширных территорий, что практически недостижимо при любых наземных обследованиях. Исходя из этого определения, можно выделить ряд принципиальных требований к космическому мониторингу:

- возможность наблюдения за большими площадями и протяженными объектами;
- высокое пространственное разрешение (до 50 см) и точность, в т. ч. без наземных точек привязки;
- высокая периодичность съемки, оперативность получения исходных и обработанных данных ДЗЗ;
- возможность построения цифровых моделей рельефа и местности по стереосъемке с космических аппаратов (КА) ДЗЗ;
- возможность выполнения съемки в большом количестве спектральных каналов;
- возможность использования материалов космического мониторинга напрямую во всех стандартных ГИС.

Оперативный космический мониторинг природных и техногенных чрезвычайных ситуаций и катастроф в последние годы стал важнейшим и обязательным компонентом информационного обеспечения национальных служб реагирования на ЧС развитых государств. Для России с огромными пространствами оперативное применение космической информации является особенно актуальным.

На основе космической информации могут быть решены следующие задачи мониторинга ЧС:

- наблюдения за состоянием окружающей среды;
- диагностика гидрометеорологических рисков (опасных природных явлений и процессов);
- оценка безопасности территорий и опасных производственных объектов;
- прогнозирование природных, природно-техногенных и социально-биологических ЧС;
- обнаружение, оценка масштаба и ущерба от ЧС;
- планирование и оценка эффективности предпринимаемых мер по ликвидации последствий ЧС.

Ежедневно получаемая космическая информация широко применяется для информационного обеспечения аудита и прогнозных моделей безопасности территорий и опасных производственных объектов. При этом используются современные ГИС-технологии, позволяющие объединить разнородную информацию с космическими данными. Это позволяет автоматизировать расчёты риска возникновения ЧС (пожары, засухи, наводнения и пр.). Возможности космических средств мониторинга зон ЧС из космоса определяются оперативностью съёмки, пространственным разрешением наблюдаемых объектов, доступностью снимков. Исходя из наиболее значимой характеристики – пространственного разрешения, спутниковая аппаратура съемки Земли делится на датчики низкого (более 250 м), среднего и высокого (1 м, 250 м) и сверхвысокого пространственного разрешения (1 м и менее).

В Российской Федерации функции основной национальной службы реагирования на ЧС возложены на МЧС России.

МЧС России уделяет повышенный интерес к системам позволяющим прогнозировать возникновение и моделировать стадии развития возникающих ЧС природного характера.

Одной из систем позволяющей комплексно оценивать обстановку в районе ЧС и прогнозировать их возникновение является система космического мониторинга чрезвычайных ситуаций.

Объединение возможностей различных информационных систем применяемых в системе МЧС России с оперативными данными дистанционного зондирования Земли позволяет своевременно готовить прогноз и моделировать развитие ЧС и проводить экстренное оповещение населения.

В этих целях МЧС России активно применяется программно-аппаратный комплекс «Каскад». Так только за 2014 год средствами космического мониторинга было выявлено более 23 тысяч очагов природных пожаров, которые представляли реальную угрозу населенным пунктам. Благодаря своевременно переданной информации о их местонахождении и своевременно принятым мерам удалось не допустить перехода горения на населенные пункты и объекты инфраструктуры. [2]

Особое внимание уделяется обстановке в районах возможных подтоплений, местам образования ледовых заторов, масштабам подтоплений, объектам, попавшим в зоны разлива, местам разрушений и затоплений мостов и участков автодорог.

Что позволяет избежать серьезных последствий по значительному материальному ущербу и недопущению человеческих жертв.

Российская Федерация предлагает рассмотреть вопрос о создании Международного координационного совета под эгидой ООН с целью координации действий по построению Глобальной системы мониторинга околоземного пространства для обнаружения опасных небесных тел.

Международное сотрудничество МЧС России в области космического мониторинга чрезвычайных ситуаций является актуальной задачей и осуществляется по следующим направлениям:

- на базе Национального центра управления в кризисных ситуациях МЧС России создано региональное отделение СПАЙДЕР-ООН, в том числе для координации работы с 6 странами: Казахстаном, Киргизией, Таджикистаном, Узбекистаном, Монголией и Белоруссией;
- с 2013 года МЧС России является Ассоциированным членом международной Хартии по космосу и крупным катастрофам, помощь, которой была неоценима, при ликвидации крупномасштабной ЧС на Дальнем Востоке по подтоплениям.

При ликвидации данной крупномасштабной ЧС большую роль в уточнении ситуации сыграл космический мониторинг.

В сложившейся чрезвычайной ситуации, связанной с наводнением на реке Амур и его притоках, Дальневосточным центром ФГБУ «НИЦ «Планета» проводился круглосуточный мониторинг паводка в Амурской области, Хабаровском крае, Еврейской автономной области посредством пяти космических аппаратов: российских «Метеор-М» №1, «Канопус-В» №1 и оператора США «TERRA», «AQUA».

С сайта USGS скачивалась в оперативном режиме информация высокого разрешения по затопленным районам с КА «Landsat-8», обрабатывалась и доводилась до пользователя. В оперативном режиме несколько раз в сутки составлялись карты, карты-схемы затоплений с нанесением уровней на водомерных постах согласно таблицам, полученным от ФГБУ «Дальневосточное УГМС» [3].

Информация о затоплениях предоставлялась в органы управления РСЧС – рабочую группу Правительственной комиссии, полномочному представителю Президента РФ в ДФО, Дальневосточный региональный центр МЧС России, оперативные штабы при Правительствах Хабаровского края, Амурской области, Еврейской автономной области, структурам территориальных органов федеральных органов исполнительной власти. Оперативная продукция также публиковалась на сайтах Дальневосточного и Европейского центров ФГБУ «НИЦ «Планета», на официальном сайте Росгидромета.

Литература

1. Максимова А.А. Мониторинг и прогноз стихийных и техногенных явлений: перспективы создания международной аэрокосмической системы// Авиапанорама.-2009.-№2.-С. 11-16.
2. Меньшиков В.А. МАКСМ - глобальная система прогнозирования природных и техногенных катастроф// Инициативы XXI века.-2009.-№2.-С. 14-25.
3. Пермитина Л.И. Оперативный спутниковый мониторинг состояния окружающей среды и землепользования// ARCREVIEW.-2005.-№3(34).-С. 18-24.

Совершенствование методов расчета параметров эвакуации людей при пожарах в зданиях различного функционального назначения

И.В. Костерин, О.И. Орлов, О.И. Цеценевская

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

В настоящее время, в особенности в городах, имеется четкая тенденция увеличения объемов строительства многофункциональных зданий с массовым пребыванием людей, в том числе с ограниченной мобильностью (детей, пожилых людей, инвалидов, людей с вещами и багажом) – торгово-развлекательных комплексов, театров, вокзалов, аэропортов, а также культовых зданий и сооружений. Обеспечение безопасности людей путем эвакуации в случае пожара является одной из важнейших задач.

Анализ индустрии строительства [1] показывает, что в дальнейшем масштабы возведения многофункциональных зданий с массовым пребыванием людей будут только увеличиваться (см. рис. 1 и рис. 2).

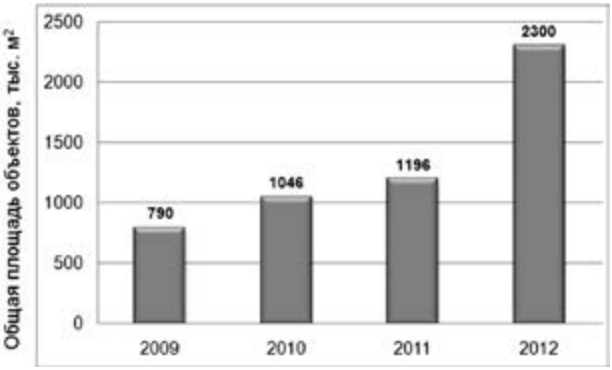


Рис. 1. Динамика ввода объектов торговой недвижимости по годам в России

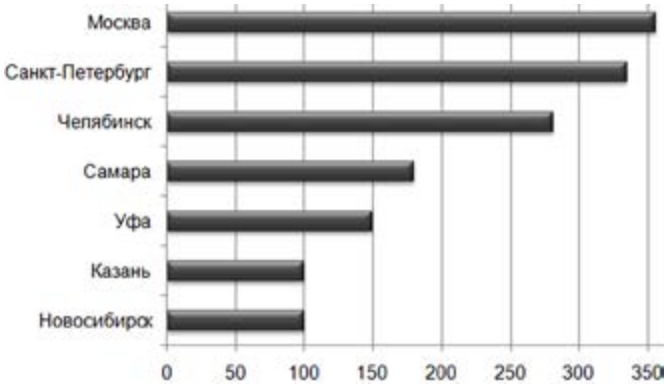


Рис. 2. Объемы торговых площадей в некоторых городах России, введенные в эксплуатацию ьв 2013 г. (тыс. м²)

Кроме того, в связи с вступлением в силу Федерального закона [2], актуальным вопросом является проведение расчетов пожарного риска на объектах защиты. Как известно, для определения вероятности эвакуации необходимо знать время эвакуации людей при пожаре, учитывая при этом время возможного скопления людей на путях эвакуации, и время блокирования эвакуационных путей опасными факторами пожара (ОФП).

Стандартизованный метод расчета времени эвакуации tp основывается на большом объеме экспериментальных данных [3,4] о движении людей по различным участкам эвакуационного пути и широко используется соответствующим кругом специалистов.

Однако он, по умолчанию, предполагает, что эвакуируются только люди без ограничений по мобильности и, кроме того, данный метод обладает рядом других недостатков.

Данный подход используется в России последние десятилетия и основан на экспертных представлениях о пожарном риске.

Можно отметить следующие особенности существующей Методики [3]:

- входные величины ($t_{нэ}$, $t_{бл}$, $t_р$) носят детерминированный характер;
- не учитывается стохастическая природа процесса распространения ОФП при пожарах в зданиях.

Что же касается природы стохастичности, то она определяется имеющимися в реальных условиях случайным разбросам в количестве, виде и расположении горючих материалов, месте очага пожара, количестве, расположении и составе эвакуирующихся на момент пожара, естественными колебаниями в эффективных значениях входных факторов и т.п. В то же время, при определении величин пожарного риска, а именно для оценок вероятности эвакуации людей при пожарах

из уникальных, особо сложных зданий, зданий с массовым пребыванием людей необходимо повышение обоснованности и достоверности проводимых расчетов.

Интересным направлением исследований на наш взгляд является возможность определения времени эвакуации t_p при эвакуации смешанного потока.

Данная работа имеет также своей целью разработку программы оценки вероятности эвакуации смешанных потоков людей при пожаре из зданий торговых центров на основе стохастической природы процессов эвакуации людей.

С этой целью предлагается использовать метод статистических испытаний, сочетающий физические представления об успехе эвакуации с большим (порядка нескольких десятков тысяч) объемом статиспытаний в одном расчете, учитывающих широкий спектр условий, встречающихся в конкретных расчетных пожарах для уникальных зданий с многоуровневыми атриумами, а также для экспертизы качества проектных решений для отдельных объектов, по которым у надзорных органов возникают спорные вопросы.

Для стохастического моделирования процесса эвакуации предлагается учитывать:

- количество эвакуирующихся с учетом их подвижности;
- скорость движения людей каждой группы;
- время начала эвакуации с учетом наличия маломобильных категорий посетителей.

Решая вопрос об обосновании закона изменения и установлении области значений случайных факторов, были учтены данные нормативно-технических документов, а также результаты экспериментальных исследований в данной области. В настоящей работе принято описание стохастических входных факторов, учитываемых при моделировании эвакуации людей при пожаре в зданиях, усеченным нормальным законом.

Известно, что корректность использования классического нормального распределения достигается при $m_x 3\sigma$.

При малых значениях m_x и большом σ может возникать ситуация, когда плотность распределения «покрывает» своей левой ветвью область отрицательных значений. Таким образом, нормальное распределение, являясь общим случаем распределения случайной величины в диапазоне (- ∞; ∞), лишь при определенных условиях может быть использовано для решения прикладных задач.

В качестве усеченного нормального распределения в работе принято распределение, получаемое из классического нормального, при ограничении интервала возможных значений *x*.

Применение данной модели позволит варьировать различными значениями скорости движения людского потока, временем начала эвакуации и количеством эвакуирующихся с учетом их подвижности.

Литература

1. http://malls.ru/rus/news/71073.shtml

2. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»: офиц. текст. – М.: Российская газета. Федеральный выпуск № 4720 от 1 августа 2008 г.
3. Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 №382 (с изменениями) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
4. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования».

Совершенствование механизмов оценки эффективности информирования и оповещения населения в местах массового пребывания людей на основе алгоритмов технического зрения

О.И. Орлов, И.В. Костерин, О.И. Цеценевская

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Актуальность выполнения работы обусловлена необходимостью обеспечения населения качественной общественно значимой информацией в сфере безопасности жизнедеятельности, повышения уровня популяризации в обществе основ культуры безопасности жизнедеятельности.

Целью создания программно-аппаратного комплекса является совершенствование системы информационного обеспечения путем разработки программно-аппаратного комплекса для оценки эффективности информирования и оповещения населения в местах массового пребывания людей.

Разрабатываемый комплекс может быть реализован как одиночное устройство, так и в качестве составляющей распределённой сети видеонаблюдения. Комплекс обеспечивает поддержку процессоров IntelCore i7/i5/i3, ОЗУ до 4 Гб, видео формата FullHD 1080p и интерфейса SuperSpeed USB 3.0, позволяет использовать разные видеокамеры, от простейших web-камер до IP-видеокамер высокой четкости. Энергопотребление собранной системы не превышает 30 Вт, а её толщина составляет 26 мм.

Также описываемый комплекс может использоваться в составе распределённой сети видеонаблюдения, состоящей из видеокамер, управляемых клиентским приложением, которые обеспечивают передачу информации в базу данных серверного приложения. Таким образом, наблюдатель может в любой момент получить полную статистику видеонаблюдения при помощи веб-приложения.

При этом одним из приоритетных направлений визуального информирования выступает опосредованная реклама (в виде наглядной социальной рекламы - билборды, плакаты, информационные стенды и табло).

Предлагаемая система анализа аудитории состоит из следующих компонент: IP-камера видеонаблюдения (предпочтительное разрешение от 720p до 4K), набор алгоритмов технического зрения (выделение лиц, выделение пешеходов, трекинг выделенной области, локальное распознавание, классификация по полу, возрасту, расе), инфраструктура для обработки результатов и передачи данных в облачное хранилище, интерфейс доступа к статистическим отсчетам для конечного потребителя.

Комплекс позволит точно подсчитать количество обнаруженных объектов. За счет высокоэффективных алгоритмов распознавания и интеллектуального алгоритма трекинга данный комплекс распознает лица людей даже при большом угле поворота, а также исключает ошибочное детектирование людей при пересечении их траекторий или пересечении траектории зрителя с препятствием.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Разработать технические требования к программно-аппаратному комплексу, к перечню и объему решаемых задач.
- Разработать специализированное программное обеспечение, реализующее задачи программно-аппаратного комплекса.
- Провести апробацию программного обеспечения по отработке функциональных задач программно-аппаратного комплекса.
- Провести комплексирование и создание опытного образца программно-аппаратного комплекса.
- Провести опытную эксплуатацию опытного образца программно-аппаратного комплекса в тестовой зоне.
- Доработать специализированное программное обеспечение программно-аппаратного комплекса по результатам опытной эксплуатации.
- Провести внедрение опытного образца программно-аппаратного комплекса.

Для организации полностью автоматической системы, распознавание пола используется совместно с алгоритмом выделения лиц, который отбирает кандидатов для анализа. От качества работы алгоритма выделения лиц во многом зависит итоговый результат всей системы, поскольку неточности при определении местоположения лица на изображении могут привести к принятию ошибочного решения на этапе распознавания. Для решения задачи выделения лиц на изображении нами использовался алгоритм на базе бустинга. Далее выделенные фрагменты подвергались предобработке для приведения их к единому разрешению и яркостным характеристикам. На последнем этапе выделенные и обработанные фрагменты подавались на вход классификатора, который принимал решение об их принадлежности к одному из двух классов («мужчины», «женщины»).

Описанный комплекс позволит точно подсчитать количество обнаруженных объектов. За счет высокоэффективных алгоритмов распознавания и интеллектуального алгоритма трекинга данный комплекс распознает лица людей даже при большом угле поворота, а также исключает ошибочное детектирование людей при пересечении их траекторий или пересечении траектории зрителя с препятствием.

Обработка видеоданных с помощью комплекса в режиме реального времени позволят проводить статистический анализ аудитории и разрабатывать рекомендации по месту установки средств визуализации и типу информации, размещаемой подразделениями МЧС России в целях информирования населения.

Литература

1. А. Лукьяница, А. Шишкин, «Цифровая обработка видеоизображений». – М.: «Ай-Эс-Эс Пресс», 2009.
2. Потапов А.С. Распознавание образов и машинное восприятие: общий подход на основе принципа минимальной длины описания. - СПб.: Политехника. — 2007.
3. Kriegman D., Yang M.H., Ahuja N. Detecting faces in images: A survey // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, V. 24, № 1, P. 34-58, 2002.
4. Viola P., Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // Proc. Int. Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, V. 1, P. 511-518, 2001.
5. S. Baker, I. Matthews. Lucas-Kanade 20 Years On: A Unifying Framework. International Journal of Computer Vision, Vol. 56, Issue 3. Feb-Mar, 2004.
6. B. Lucas, T. Kanade. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, pages 674–679, 1981.
7. G. Bradski, A. Kaehler, "Learning OpenCV", O'Reilly Media, Inc., 2008.
8. Makinen E., Raisamo R. An experimental comparison of gender classification methods // Pattern Recognition Letters 29, № 10, P. 1544-1556, 2008.

Исследование гравитационных тепловых труб, работающих в качестве сезонных охладителей грунта

В.В. Ананьев[1], Н.А. Бучко[2]

[1]ФГБОУ ВО Московский государственный университет технологии и управления им. К.Г. Разумовского

[2] Институт холода и биотехнологий ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Предметом исследования являются теплопередающие устройства, в которых циркуляция заполняющего рабочего вещества происходит под действием разности температур внутренних слоев грунта и наружного охладителя $\Delta t = t_{гр} - t_{охл}$. Охладителем может быть либо атмосферный воздух (зимой), либо холодильная машина (летом). В любом случае, устройства действуют только при положительном значении Δt и автоматически отключаются при $\Delta t < 0$. В зимний сезон процесс происходит без внешних энергозатрат. В терминах теории теплообмена такие аппара-

ты называют гравитационными тепловыми трубами. Специфическими отличиями охладителей грунта от традиционных тепловых труб является их большая длина, низкие температуры и малые значения плотностей теплового потока. С учетом отличий, в строительной технике распространено также название - парожидкостные сезонные охлаждающие устройства (ПЖ СОУ). Они нашли широкое применение в северном строительстве для укрепления оснований и создания водонепроницаемых элементов грунтовых сооружений.

Теоретические разработки включают создание и совершенствование программных продуктов для решения обобщенных задач теплообмена в системах «грунт-СОУ-источник холода». Решены нестационарные двумерные задачи теплопроводности для прямоугольной и осесимметричной систем координат при наличии подвижных границ или зон фазового перехода в энтальпийной формулировке [1].

Энтальпийная формулировка отличается от обычной конечно-разностной постановки задачи нестационарной теплопроводности [2,3] тем, что искомой величиной является не температура (t), а энтальпия (h). Такой подход физически более обоснован для задач теплообмена при наличии фазовых переходов. Так, в условиях изотермического фазового перехода (например, при затвердевании или плавлении чистых веществ) подвод теплоты к элементарному объёму не приводит к неопределённости задачи, поскольку энтальпия (в отличие от температуры) продолжает монотонно изменяться. Это даёт возможность отказаться от введения понятия эффективной теплоёмкости и, соответственно, искусственного приёма «размазывания» теплоты фазового перехода на некотором произвольно задаваемом интервале температур.

Известно, что в процессах, включающих один вид фазового перехода, функция состояния -энтальпия определяется двумя параметрами: температурой и специальным параметром, характеризующим количественное соотношение между фазами. Так, в процессах испарения-конденсации таким параметром является степень сухости (x), а при затвердевании-плавлении - степень льдистости (i). Важно, что, при желании, по значению энтальпии можно однозначно определить значения температуры и параметра фазового перехода (x, i, и т.п.) и наоборот. Решения получены конечно-разностным методом по явной схеме, которая, по нашему мнению, имеет ряд преимуществ, по сравнению с неявной и дает возможность учитывать следующие факторы:

1. Зависимость теплофизических параметров среды от температуры.
2. Изменение агрегатного состояния в спектре температур (при наличии экспериментальной зависимости параметра фазового состава от температуры).
3. Задавать граничные и начальные условия любой сложности: переменная по времени температура наружной охлаждающей среды, переменные во времени и пространстве (в частности, по высоте СОУ) температура рабочего вещества и значения коэффициентов теплоотдачи (их переменность связана с изменением в течение года таких величин как скорость ветра, наличие снежного покрова, облученность наружной поверхности Земли и поверхности наружного теплообменника Солнцем.

4. Изменение значений плотностей теплового потока из грунта Выполненные нами расчеты для характерных примеров замораживания грунтов одтверждают работоспособность программ в широком диапазоне изменения исходных данных и возможность многолетнего прогноза теплового состояния при сравнительно небольших затратах машинного времени.

Для неявной схемы расчёта энтальпийная формулировка применена в алгоритме программы, описанной в работе [4]. В любом случае энтальпийный метод позволяет существенно упростить алгоритм и сократить время вычислений, в связи с чем получает всё более широкое распространение для решения различных задач типа обобщенной задачи Стефана [5,6].

Лабораторный эксперимент. Изучались внутренние процессы теплопереноса в низкотемпературных гравитационных тепловых трубах (ПЖ СОУ). Образцы представляют стальные трубы, внутренняя поверхность которых не подвергалась какой-либо химической или механической обработке. Размеры: *d=38-57мм, L=8-10м*, в т.ч. $L_{КОн}$*=1м*. Конденсаторы оребренные, параметры оребрения: h_p*=25-30мм*, δ_p*=2мм*, u_p*=15-18мм*. Источник тепла -электронагреватель ($q_{исп}$*=150-180 Вт/м*^{2}), охладитель-холод, машина холодопроизводительностью Q_o*=1,3 кВт*. Раб. вещество - *R22*.

Натурные испытания и сопоставление с прогнозом. Для проверки правомерности описанной выше математической модели и алгоритма программы, составленной на языке Fortran-90, выполнено сопоставление с натурным экспериментом, проведенным на полигоне строительства грунтовой мерзлотной плотины Анадырской ТЭЦ. Испытания были проведены Анадырской мерзлотной станцией с апреля 1973 г. по май 1976 г. Район строительства характеризуется среднегодовой температурой воздуха -8°С и среднезимней скоростью ветра 7,8 м/с.

Испытывалась линейная система из 7шт. ПЖ СОУ, установленных со льда непромерзающего озера (рис.1).

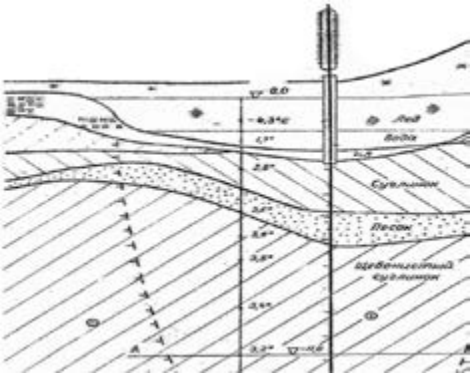


Рис. 1. Геологический разрез и начальное температурное поле грунта на полигоне

Шаг расположения СОУ составлял от 1,5 до 3м, их общие размеры одинаковы: *d=108мм, Lгр=l5м,* $L_н$*=2,7м*; в пределах льда и воды транспортные участки тепловых труб изолированы воздушной прослойкой. У трех СОУ наружные теплообменники-конденсаторы имеют звездчатую конструкцию из оребренных труб: *dтр=57мм, dр=97мм,* $F_0p/F_{гр}$*=2.* У остальных СОУ конденсаторы рамного типа гладкотрубные, $F_н/F_{гр}$*=1.* Рабочее вещество - R12. На рис.2, представлена схема расположения охлаждающих устройств и термометрических скважин. Датчиками температур являлись гирлянды из медных термометров сопротивления.

Рис.2. План опытного полигона

Расчёты теплового режима для условий работы СОУ на полигоне выполнены в двух вариантах. Температурные поля определялись: а) в вертикальной плоскости, полагая, что каждое СОУ с данной модификацией конденсатора работает как одиночное, и б) в горизонтальной плоскости на глубине *11м* от дневной поверхности с учётом взаимного теплового влияния охлаждающих установок друг на друга, в пренебрежении вертикальной составляющей теплового потока.

В расчетах температура охладителя принималась интерполяцией данных о многолетних среднемесячных температурах наружного воздуха, а эффективный коэффициент теплоотдачи вычислялся по среднемесячным скоростям ветра [7]. Влияние солнечной радиации в данном расчете не учитывалось.

Общее количество информации, полученной в экспериментах и расчетах, весьма обширно и не укладывается в рамки одного доклада. В связи с этим, ниже приведено сопоставление результатов расчетов с результатами натурных измерений лишь для нескольких характерных примеров.

Так, на рис.3 и 4 представлены характерные графики изменения температур в горизонтальном сечении на глубине *11м* от дневной поверхности для элемента температурного поля полигона, расположенного между установками П и Ш. Рис. 3

соответствует результатам натурного эксперимента, а рис. 4 - прогнозному расчету. Номера на кривых соответствуют номерам термометрических скважин (см. рис.2).

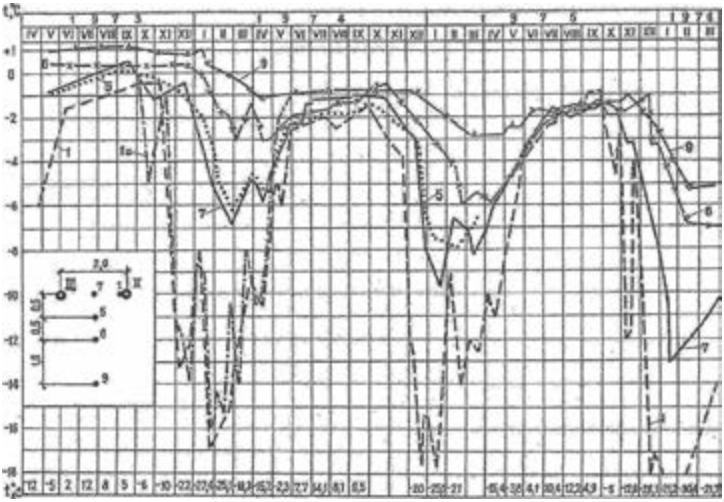


Рис.3. Изменение среднедекадных температур грунта вблизи СОУ II (кривая 1) и в замковом сечении между СОУ II и СОУ Ш (кривые 5-9) по натурным данным; температура стенки испарителя - по расчету (кривая1а). tВ-среднемесячная температура воздуха по данным метеостанции

Из рисунков следует, что закономерности изменения температур во времени идентичны:

- в течение зимних сезонов температуры изменяются примерно по синусоидальному закону, с тем большей амплитудой, чем ближе температурная скважина к поверхности СОУ;
- в летние сезоны температуры в различных точках уравниваются, но остаются ниже температуры плавления;
- от года к году температура всего массива понижается.

Однако, расхождение численных значений опытных и расчетных температур существенно и достигает нескольких градусов, особенно в начальный период. Это может быть связано с отличием расчётной температуры охладителя (наружного воздуха) от его фактической температуры, зависящей от метеоусловий и изменяющейся от года к году, а также с другими влияющими факторами, которые не были учтены в расчете.

Тем не менее, проделанное сопоставление дает основание утверждать, что предлагаемый метод и алгоритм являются удобными средствами для создания программных продуктов, позволяющих анализировать и оценивать эффективность технических средств для замораживания грунта в различных целях.

Литература

1. Бучко Н. А. Алгоритм численного решения двухмерной задачи Стефана энтальпийным методом по трехслойной явной схеме. - В кн.: Холодильная и криогенная техника и технология© Материалы 14 Международного конгресса по холоду).М ,1975, с. 142-154.
2. Ваничев А.П., Изв. АН СССР ОТН, 1946, N 12.
3. Самарский А. А, Теория разностных схем.-М.: Наука, 1977, 614 с.
4. Шамсундар Н., Спэрроу Е.М., Применение метода энтальпии к анализу многомерной задачи теплопроводности при наличии фазового перехода.-Теплопередача, серия С, т. 97, N3, 1976, с. 14-23.
5. Voller V., Cross M. Accurate solutions of moving boundary problems using the enthalpy method.- Int. J. Heat Mass Transfer, v. 24, N3, 1981, p. 545-555.
6. Основы геокриологии, ред. Ершов Э.Д., ч. 5 (Инж. геокриология, гл. 1, Пустовойт ГЛ., Хрусталев Л.Н.). М: МГУ, 1999.
7. СНиП II- А.6-72. Строительная климатология и геофизика. М.:-1973.

Секция 2. Мониторинг и моделирование опасных природных процессов

Спутниковые данные в оценке параметров лесных пожаров Сибири

Е.И. Пономарев, Е.Г. Швецов

ФГБУН Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

По состоянию на сегодняшний день более 51% территории лесного фонде РФ отнесено под спутниковый мониторинг лесных пожаров [1]. Это активно развивающееся направление, которое успешно применяется на практике с 90-х годов XX века. Одним из первых, начиная с 1996 года, банк данных о лесных пожарах, фиксируемых спутниковыми методами, начал формировать Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН [2, 3]. С середины 2000-х годов результаты спутникового мониторинга включены в систему учета лесных пожаров ИСДМ-Рослесхоз [1] и в систему «Каскад» МЧС РФ [4]. Уровень востребованности такой информации неуклонно растет, например, для оценки степени нарушенности лесов, при моделировании баланса углерода в современных условиях или при мониторинге пожарных эмиссий. При этом система дистанционного мониторинга пожаров дополняется новыми возможностями качественной и количественной оценки параметров пожаров и анализа их воздействия на растительность.

Основная цель данной работы – обобщение многолетней практики спутникового мониторинга пожаров в Сибири и актуализация новых методик обработки и анализа банков данных пожаров растительности. Важнейшие авторские разработки: 1) технология нормировки площадных характеристик пожаров; 2) оценка энергетических характеристик пожаров и классификация пожаров Сибири по мощности тепловыделения; 3) геопространственный анализ повторяемости пожаров в Сибири и связь с динамикой климатических характеристик.

При широких возможностях спутникового мониторинга пожаров, обеспечивающих многократность съемки, охват территории, мультиспектральность съемки, существенным ограничением является пространственное разрешение данных. В спектральных каналах, используемых для обнаружения пожаров, она составляет не выше 500 – 1000 м. Это техническое ограничение определяет точность пространственной привязки термически активных зон и точность оценки пройденных огнем площадей.

Наши исследования, проведенные на основе сопряженного анализ результатов дешифрирования съемки Landsat (разрешение ~ 30 м) и полигональных слоев пожаров по данным TERRA/Modis (разрешение 250 – 1000 м) средствами ГИС, позволили оценить масштаб неопределенности и предложить методику нормировки

данных. Результат был получен для четырех категорий пожаров (площади до 200 га, <2000 га, <50 тыс. га и >50 тыс. га). Эти диапазоны площадей выбраны на основе гистограммного анализа данных о площадях лесных пожаров за период 1996 – 2014 гг. Выявлен уровень относительной ошибки при дистанционной оценке площадей в зависимости от геометрических и спектральных характеристик пожарных полигонов. Предлагаемая методика позволила повысить достоверность оценки площадей участков, пройденных огнем, при этом итоговые статистики по площади снизились в среднем на 36% при достоверности аппроксимации на уровне 0,76 – 0,89 [5].

Для процедуры нормировки площадей в векторной полигональной базе данных предложено уравнение регрессии и получены калибровочные коэффициенты, соответствующие рассмотренным категориям пожаров. Предложена процедура геоинформационного (ГИС) преобразования, реализующая эмпирический подход калибровки геометрии полигонов пожаров в автоматическом режиме. При обработке учитывается форма полигона, параметр эксцентриситета, определяемый на основе описанного эллипса, а также ранг пожара в единицах площади, что задает коэффициент необходимого преобразования, в соответствии с предложенной методикой.

В результате дальнейших исследований впервые для территории Сибири была получена вариация энергетических характеристик полигонов пожаров – важная и информативная часть атрибутивных данных о пожарах. Оценки интегральной мощности теплоизлучения от пожаров выполнены для базы данных пожаров 2010 – 2014 гг. на основе определения показателя FRP (Fire Radiative Power) по данным TERRA/Modis в диапазоне 4 мкм [6]. Попиксельный анализ позволил установить, что радиационная мощность излучения с единицы площади подчиняется степенному закону. В среднем из общего числа «пожарных» пикселей в различные сезоны выделяются до 25% высокоэнергетических и 75 – 90% – со значениями радиационной мощности <50 МВт/км^2. Значения интегральной мощности теплоизлучения, вычисляемого для всего полигона пожара, зафиксированы на уровне 1200 — 1900 МВт [7]. При одинаковых внешних условиях и высоких классах пожарной опасности значения FRP пожаров в лиственничниках вдвое превышают теплоизлучение от пожаров в сосняках. Классификация отдельных участков пожаров по мощности теплоизлучения позволяет в дальнейшем перейти к решению обратной задачи оценки количества сгорающих горючих материалов и уровня воздействия огня на растительность. Однако на сегодняшнем этапе значение такого дополнительного параметра в базе данных пожаров – трудно переоценить. Этот подход позволяет в автоматическом режиме с наименьшей затратностью (в отличие от методик, использующих классификацию данных среднего пространственного разрешения Landsat, SPOT) решить задачу классификации участков, пройденных огнем и дать дифференцированную оценку уровня воздействия огня на растительность в границах полигона пожара. Такое уточнение позволяет в разы повысить точность оценки эмиссий от пожаров, как на локальном, так и на глобальном уровнях.

На третьем этапе работы была проанализирована пространственно-временное распределение пожаров растительности и их повторяемость в отдельных районах. Важно, что данная процедура требует сопряженного анализа климатических

характеристик [8, 9, 10]. Исследование было выполнено с использованием сети кластеров (более 21,5 тыс. кластеров) с размером ячейки 30' x 20' (площадь ~ 65 тыс. га). Для каждого кластера методом геопространственной статистики определено количество пожаров, зафиксированных по пятилетним периодам: 1996 – 2000, 2001 – 2005, 2006 – 2010, включая экстремальные пожароопасные сезоны 2011 – 2014. Географически зоны регулярной повторяемости пожаров, в том числе массовых и экстремальных, смещаются в северные широты (Якутия, Эвенкия, север Западной Сибири). Для объяснения проанализированы обобщенные данные о метеорологических показателях за 1900 – 2013 гг. Выявлено, что в период с 90-ых годов XX века существенно изменился тренд роста средних значений температуры, а показатели тепловлагообеспеченности (SPEI, гидротермический показатель Селянинова), что позволяет констатировать перераспределение осадков и регулярную повторяемость засушливость периодов в отдельных регионах. Степень корреляции этих климатических характеристик и динамики горимости в Сибири высока и статистически значима. Отмечена общая тенденция роста повторяемости пожаров на единице площади, что является важной характеристикой для последующего моделирования пожарных режимов в современных условиях.

Таким образом, спутниковый мониторинг позволил сформировать долговременную базу данных пожаров, существенно дополнить ее атрибутивными характеристиками и обеспечить возможность оперативной оценки ситуации, моделирования и прогнозирования пожарных режимов в Сибири в условиях меняющегося климата.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект №14-24-00112).

Литература

1. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М. – 2008. – №5. – т. II. – С. 419 – 429.
2. Сухинин А.И. Система космического мониторинга лесных пожаров в Красноярском крае // Сиб. экол. журнал. – 1996. – т. 3. – №1. – С. 85 – 92.
3. Пономарев Е.И., Швецов Е.Г. Характеристики категорий пожаров растительности в Сибири по данным спутниковых и других наблюдений // Исслед. Земли из космоса. – 2013. – №5. – С. 45–54. DOI: 10.7868/S0205961413050035.
4. Кудрин А.Ю., Резников В.М. Аэрокосмическая система мониторинга пожарной обстановки // Технологии гражданской безопасности. – 2006. – №4 (10). – С. 56 – 62.
5. Пономарёв Е.И., Швецов Е.Г. Спутниковое детектирование лесных пожаров и геоинформационные методы калибровки результатов // Исследование Земли из космоса. – 2015. – №1. – С. 84–91. DOI: 10.7868/S0205961415010054.

6. Kaufman, Y.J., Kleidman R.G., King M.D. SCAR-B fires in the tropics: Properties and remote sensing from EOS-MODIS // Journal of Geophisical Research, 1998, 103, D24: 31955 –31968.
7. Пономарев Е.И. Классификация пожаров в Сибири по мощности излучения на основе показателя FRP по данным TERRA/Modis // Исслед. Земли из космоса. 2014, №3. – С.56 – 64. DOI: 10.7868/S0205961414020080.
8. Швиденко А.З., Щепащенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение, 2013, 5. С. 50 – 61.
9. Валендик Э.Н., Иванова Г.А. Пожарные режимы в лесах Сибири и Дальнего Востока // Лесоведение. – 2001. – №4. – С. 69–73.
10. Валендик Э.Н., Кисиляхов Е.К., Рыжкова В.А., Пономарев Е.И., Данилова И.В. Крупные пожары в таежных ландшафтах Центральной Сибири // География и природные ресурсы. – 2014. – №1. – С.52 – 59.

Разработка мягких моделей динамики фронта и площади природного пожара

В.С. Коморовский

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Несмотря на огромное разнообразие моделей динамики площади и фронта природного пожара, все они работают в квазистационарных условиях: при постоянстве погодных, лесорастительных, орографических и других условий. Однако практически все существенно влияющие на распространение пожара факторы динамически меняются во время развития пожара. Следовательно, для получения наиболее корректных моделей природных пожаров следует использовать системы дифференциальных уравнений, описывающих не только временные изменения, касающиеся непосредственно пожара, но и всех (или почти всех) факторов, влияющих на пожар.

Преимущества такого подхода очевидны, однако есть существенный недостаток, делающий применение такого подхода очень сложным. Вообще говоря, вид функций, описывающих поведение погодных, лесорастительных, орографических условий не известен. Тем не менее, существуют методы, позволяющие делать некоторые выводы о характере даже таких моделей, называемых мягкими.

Предположим, что топологические характеристики системы уравнений, описывающих поведение природного пожара, не меняются при изменении типа функций, описывающих изменения характеристик. Это предположение следует из наблюдений: любой природный пожар развивается по сходному сценарию, в котором есть фазы роста площади и/или скорости и фазы затухания, завершающиеся погасанием. Таким образом, модель должна быть структурно устойчивой.

Целью данной работы является проведение предварительных исследований в области построения мягких моделей динамики площади природного пожара.

Использование для исследования существующих моделей сопряжено с существенными трудностями. Модели динамики площади пожаров, предложенные А. М. Гришиным, Г. А. Доррером, R. Rothermel, M. Finney и др. отличаются большим количеством факторов принятых к учету. Для целей данного исследования мы ограничимся упрощенной моделью пожара, которая будет отражать только общий характер поведения динамики площади пожара.

Пусть S – площадь пожара, зависящая от времени и некоторых параметров α и k, S_0 начальная площадь пожара, в момент времени t_0. Здесь и далее, под площадью пожара понимается площадь, пройденная огнем к моменту времени t. Таким образом, площадь пожара определяется как:

$$S=f(k,\alpha,t) \quad (1)$$

Изменение площади пожара запишем в следующем виде:

$$dS/dt=k\cdot\alpha\cdot t^{(\alpha-1)} \quad (2)$$

Объясним смысл показателей α и k. Показатель k определяет прирост площади в единицу времени, показатель α определяет динамику пожара. Подробно данная модель и условия ее применимости рассмотрены в работах [1, 2]. Расширим эту модель функциями, определяющими зависимость показателей от времени:

$$k=(b\cdot k_0\cdot e^{c\cdot t})/(b+k_0\cdot e^{c\cdot t-1}) \quad (3)$$

$$\alpha=\begin{cases}\alpha_0 & t\le t_k\\ \alpha_0-q\cdot\ln(t) & t_k\le t\le p\cdot t_k\\ 0 & t>t_k\end{cases} \quad (4)$$

Здесь k_0, t_k и a_0 – начальные условия, b, c, q, p – набор констант. Следует пояснить такой большой набор констант. На природный пожар на самом деле действует огромное число факторов. В данной работе мы сознательно упрощаем модель, для проверки гипотезы о применимости мягких моделей для описания динамики природных пожаров. Удобно проверить эту гипотезу с помощью имитационной модели. Такая модель была построена в системе AnyLogic. Принципиальная схема имитационной модели приведена на рис. 1.

Имитационная модель структурно состоит из следующих элементов:

Накопители *S0* и *S*, поток *V*, динамические переменные *k, alpha, system*, параметры k*0, tf, alpha0* и функция *myFunction*.

Динамические переменные *k* и *alpha* рассчитываются в ходе выполнения модели по формулам (3) и (4) соответственно. Параметры *k0, tf, alpha0* сопоставлены начальным условиям *k0, tk и a0*. Накопители *S0* и *S* представляют собой значения площади пожара в моменты времени *t0* и *t*. Динамическая переменная system и функция myFunction являются служебными и нужны для удобства реализации модели.

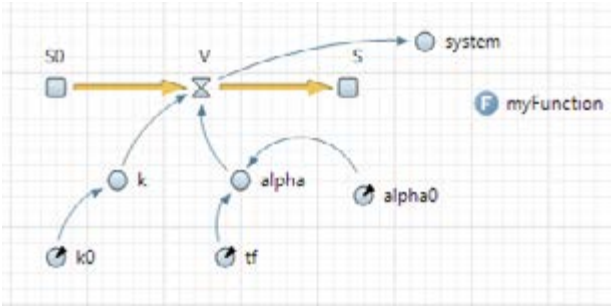


Рис. 1 - Принципиальная схема имитационной модели

Начальные условия задаются при старте модели случайным образом в следующих пределах:

$$0 \le k_0 \le 1$$
$$10 \le t_k \le 100$$
$$2 \le \alpha_0 \le 3$$

Распределения данных случайных величин равномерные, однако, могут быть заданы и другие виды распределений, что будет рассмотрено ниже. Результатом выполнения имитационной модели будет график зависимости площади пожара *S* от времени *t*. При начальных условиях

$$k_0 = 0{,}894$$
$$t_k = 31{,}378$$
$$\alpha_0 = 2{,}090$$

за 100 единиц модельного времени получим зависимость, показанную на рис 2.

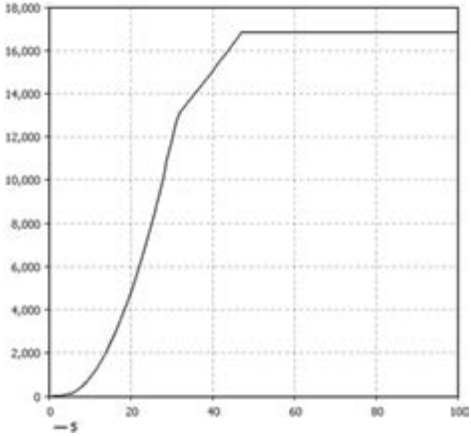


Рис. 2 – Результат выполнения модели

Как видно из рис. 2 перелом в развитии пожара наступил в момент времени t_k, а общая площадь составила примерно 17000 м^2 или 1,7 га.

Рассмотрим 500 запусков модели с начальными условиями, случайным образом варьируемыми в указанных выше пределах. Результаты приведены на рис. 3.

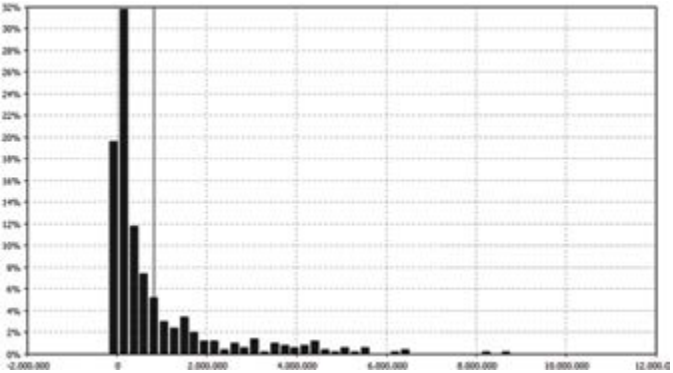


Рис. 3 – Результат выполнения модели

Распределение, приведенное на рис. 3 показывает достаточно классическую картину распределения пожаров по площадям в каком-либо регионе (см., например, работы [1, 3]). Средняя площадь пожара (тонкая вертикальная линия на рис. 3) составляет около 100 га, однако возможны катастрофические пожары с площадью, много большей средней, т.е. распределение площадей с т.н. «тяжелым хвостом».

Возникает вопрос, имеющий важное прикладное значение: при каких начальных условиях возможны катастрофические пожары? Практика показывает, что кроме достаточно очевидных ситуаций (низкая влажность, высокая температура воздуха, подходящая скорость ветра и т.д.) катастрофические пожары возможны и при достаточно «безобидных» сочетаниях начальных условий, при малом их изменении. Это говорит о неустойчивости состояния природной среды и лесорастительных условий в момент, предшествующий пожару и, особенно, в течение пожара. Адекватные модели динамики природных пожаров должны учитывать такую неустойчивость.

Зафиксируем $t_k = 50$, и исследуем чувствительность системы к изменениям параметра k_0 в пределах от 0 до 1 с шагом 0,01, одновременно задавая значения a_0 как случайной величины с равномерным распределением. Результат исследования приведен на рис. 4.

Как видно из рис. 4, при малом изменении параметра k_0 и фиксированном t_k возможны резкие (на порядок) скачки значения S. Безусловно, если мы хотим получить строгие кривые чувствительности модели к параметрам, следует зафиксировать все параметры, кроме исследуемого. Однако мы оставим вопросы чувствительности, устойчивости, управляемости и наблюдаемости данной системы для дальнейших исследований.

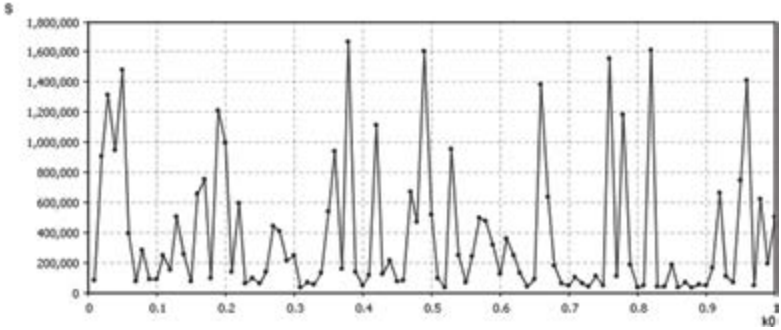


Рис. 4 – Исследование чувствительности модели к параметру k_0

Предполагая неустойчивость системы в смысле малого изменения начальных условий, мы, тем не менее, должны обеспечить выполнение условия структурной устойчивости модели, которое предполагает, что при изменении вида функций результат качественно не меняется. Предложенная имитационная модель тестировалась при изменении вида функций (3) и (4) на линейные, полиномиальные (до 3 степени), тригонометрические (синус и косинус с разными периодами и фазами). Также распределение случайных величин менялось на нормальное и биномиальное. Качественные результаты, касающиеся вида траектории изменения площади пожара, а также распределения площадей пожаров не изменялись.

Таким образом, применение мягких имитационных моделей позволяет, с одной стороны, обойти некоторые сложности при построении классических моделей, а с другой стороны, учесть важные условия, при которых возникает и развивается природный пожар. Возможно, применение подобных моделей позволит точнее прогнозировать катастрофические лесопожарные ситуации и эффективнее бороться с их последствиями. Полученные результаты носят предварительный характер, и, на наш взгляд говорят о перспективности дальнейших исследований в данном направлении.

Литература

1. Коморовский, В. С. Контроль и прогнозирование параметров крупных лесных пожаров как динамических процессов на поверхности Земли / автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сибирский федеральный университет. Красноярск, 2010.
2. Доррер, Г.А. Методика оценки и прогнозирования параметров крупных лесных пожаров на основе спутниковой информации Хвойные бореальной зоны" 2011 г., том XXVIII, №1-2, С. 18 – 26 Г.А. Доррер, В.С. Коморовский, С.П. Якимов.
3. Large wildfires in taiga subzones of Central Siberia Valendik E.N., Verkhovets S.V., Ponomarev E.I., Ryzhkova V.A., Kisilyakhov Ye.K. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2014. Т. 7. № 1. С. 43-56.

Информационные модели мониторинга циклических чрезвычайных ситуаций

В.В. Ничепорчук

ФГБУН Институт вычислительного моделирования СО РАН

Широкий спектр чрезвычайных ситуаций (ЧС), рискам которых подвержены территории Сибири, обуславливает комплексность задач оперативного мониторинга обстановки. Особенно актуальны вопросы предупреждения циклических ЧС природного и техногенного характера (весенние паводки, природные пожары и аварии систем ЖКХ), поскольку их возникновение, как правило, сопровождается большими размерами вреда.

Для решения задач информационной поддержки управления мероприятиями по предупреждению и ликвидации ЧС в 2011 году создан Территориальный центр мониторинга и прогнозирования Красноярского края (ТЦМП ЧС). В настоящее время ТЦМП ЧС использует большое количество программных систем различной степени сложности. При этом часть функций сбора и обработки данных дублируется, а ряд угроз природного и техногенного характера «выпадает» из сферы контроля.

Определение направлений модернизации и повышения эффективности системы комплексного мониторинга возможно путём анализа процессов деятельности (в частности, информационной поддержки управления) для всей системы обеспечения природно-техногенной безопасности региона. Простым и достаточно результативным инструментом формализации предметной области являются информационные модели, позволяющие наглядно представить комплекс входных и выходных данных, процессов их обработки, необходимых для этого ресурсов, требований и ограничений.

В статье представлен метод формализации функциональных задач оперативного комплексного мониторинга в виде информационных моделей. Комплекс моделей использован для проектирования и модернизации информационно-аналитических систем обработки данных наблюдения и контроля состояния окружающей среды и объектов техносферы.

Определим информационную модель как представление характеристик объектов и отношений, ограничений, правил и операций, предназначенное для описания проблемной области. Нотации модели могут использоваться всеми специалистами, работающими с этим области, независимо от их конкретных задач. Формализованное описание модели является необходимым условием автоматизации и компьютерной обработки [1].

Процесс формализации задач мониторинга и прогнозирования циклических ЧС природного и техногенного характера реализован в три этапа: построение концептуальной модели для каждого типа контролируемых ЧС, разработка структурной и функциональной моделей.

Пример концептуальной модели обработки информации для ЧС, обусловленных весенними паводками, представлен на рисунке 1.

Рис.1. – Формализация процессов управления безопасностью для обеспечения безопасности территорий при весенних паводках

Концептуальная модель определяет способы решения функциональных задач контроля обстановки и предупреждения ЧС, необходимые для этого информационные ресурсы и технологии. Формализовано взаимодействие элементов системы, их характеристики, выполнена классификация элементов с обоснованием признаков. В модели перечислены процессы, протекающие в системе, причинно-следственные связи, присущие системе и существенные для достижения цели моделирования. Здесь концептуальная модель представляется в виде так называемых интеллект-карт, позволяющих структурировать большие объёмы информации в различных областях [2-3]. В отличие от онтологий интеллект-карты не содержат жёстких требований формализации, просты в разработке и интуитивно понятны. В интеллект-карте «Паводки» описаны задачи для различных режимов функционирования, состав входных и выходных потоков, классификация источников данных, используемые аналитические и имитационные модели и др.

Для разработки интеллект-карты использована программная системы Mind Manager Mindjet, имеющая мощный графический и аналитический инструментарий [4]. В качестве дополнительных анализируемых объектов в модель можно добавить другие сущности (оценки степени автоматизации функциональных задач оперативного мониторинга, состав отдельных подсистем и порядок их взаимодействия, условия расширения области применения информационно-аналитических систем и состава пользователей). Возможность расстановки в Mind Manager Mindjet логических связей между объектами нижнего уровня, например процессами и формами представления выходных данных, позволяет проиллюстрировать дополнительные характеристики объектов исследования. Это немного усложняет общее представление результатов анализа предметной области, однако полученный сетевой граф проще преобразовать в функциональную модель системы.

Концептуальная модель, объединяющая в единое целое задачи, способы их решения и необходимые ресурсы, может использоваться не только при проектировании и модернизации автоматизированных систем, но и для иллюстрации результатов анализа существующей деятельности. Например, при разработке моделей для циклических ЧС выявлении дефицит данных и средств моделирования для динамики действия опасных факторов ЧС и краткосрочного прогнозирования ситуации. В тоже время, ТЦМП ЧС занимается сбором данных, не являющихся характеристиками природно-техногенной безопасности региона.

Структурная модель разработана на основе анализа доступных информационных ресурсов и порядка их актуализации. Модель описывает в стандартных нотациях структуру и содержание семантических и пространственных данных. Кроме того, выделяются сущности, необходимые для формализации данных (справочники и классификаторы). Логические связи модели показывают:

- иерархию справочников и классификаторов;
- примерный состав аналитических моделей и представлений данных;
- способы интеграции данных о расположении объектов и топографической основы для построения картограмм и динамических карт обстановки.

Функциональная модель представляет собой перечень алгоритмов и формализованных схем процессов. Наиболее удобные формы представления – нотации IDEFX, ARIS, UML. Разработке функциональной модели автоматизированной системы предшествует формализация собственно процессов управления мероприятиями по предупреждению и ликвидации ЧС, определение характеристик необходимых для этого информационных потоков. Уровень детализации бизнес-процессов и количество диаграмм определяются сложностью функциональных задач и используемых моделей.

Большое количество видов природных и техногенных ЧС, уникальность объектов и территорий Красноярского края затрудняют разработку типовых сценариев действий в различных ситуациях. Некоторого упрощения задачи можно добиться путём предварительной оценки рисков возникновения ЧС для групп территорий с использованием экспертных оценок, математических и аналитических моделей.

Описание структурной и функциональной моделей более строгое, чем концептуальной, разрабатываемой на начальном этапе анализа проблемной области. Модели представляют собой второй уровень проектирования, детализируя состав и логические связи информационных ресурсов (семантических, пространственных данных, способов их представления), а также процессы обработки информации, включающие сбор, анализ и визуализацию.

Применительно к информационным моделям для конкретных циклических ЧС получены следующие результаты.

Процесс построения концептуальных моделей информационной поддержки управления в циклических ЧС содержит следующие этапы:

- проведение идентификация опасностей (аналогично задаче оценки рисков [5]);
- определение реципиентов риска (территорий, объектов, населённых пунктов);
- формирование перечня доступных измеряемых показателей;
- разработка аналитических моделей оценки угроз, включающих экспертное обоснование опасных и критических значений параметров, необходимых для реализации технологии автоматической индикации;
- анализ потоков входных данных (источников информации, структуры, объёма, регламента обновления).
- анализ выходных данных (формы представления, степень автоматической обработки, информационные процессы необходимые для этого);
- анализ доступности и возможности программной реализации методик прогнозирования.

Поскольку для ТЦМП ЧС задача прогнозирования является ключевой, опишем подробнее результаты анализа методик и походов. Можно выделить три класса метода прогнозирования вероятности возникновения и масштабов экстремального события (по возрастанию сложности):

1. автоматический подбор функции, описывающей тренд показателей и построение 1-3 прогнозных точек на основе данных предыдущих измерений;
2. построение специализированных аналитических моделей для поиска зависимостей между различными наблюдаемыми показателями, аналогичного периода наблюдений и др.;
3. генетический анализ опасных явлений, основанный на сложных математических моделях динамики природных и техногенных процессов, использовании больших объёмов статистических данных наблюдений.

На основе концептуальных моделей, аналогичных приведённой на рисунке 1, доработана структурная модель консолидированного хранилища данных ТЦМП ЧС в ER-нотации. В качестве комментариев к структурной модели приведено описание источников оперативных данных; частоты и объёма актуализации данных; де-

тализации и периода наблюдений для архивных данных. Функциональная модель построена для процессов консолидации данных; методов аналитической обработки и визуализации данных.

Разработка комплексных информационных моделей для циклических ЧС (весенние паводки, природные пожары и аварии систем ЖКХ) показала возможность создания типовой информационной модели, которая может стать основой методического обеспечения информационной системе мониторинга регионального уровня. В отличие от информационных моделей процессов управления в условиях паводков, модели для природных пожаров и аварийных ситуаций систем ЖКХ имеют более простой вид. Это свидетельствует о незначительной роли органов управления МЧС России для данных типов ЧС в повседневном режиме функционирования. В случае ЧС масштаба муниципальной и выше объектами управления становятся аварийно-восстановительные формирования муниципального уровня, имеющие прямое подчинение различным министерствам и ведомствам. Органы управления МЧС России при этом решают задачи взаимодействия и координации работ по ликвидации ЧС.

Использование информационных моделей позволяет в наглядном виде представить способы решения функциональных задач обеспечения природно-техногенной безопасности, необходимые для этого методики, модели, данные и технологии. Типовых информационных моделей в области управления природно-техногенной безопасности и, в частности, оперативного мониторинга, существенно дополняет формулировки устаревшего ГОСТ [6] и может служить основой разработки требований к информационно-аналитическим системам оперативного управления.

Литература

1. Новосельцев В.И, Тарасов В.Б, Голиков В.К., Дёмин Б.Е. Теоретические основы системного анализа. М.: Майор, 2006. – 592 с.
2. Интеллект-карты. Тренинг эффективного мышления. Электронный ресурс < http://www.mind-map.ru>. Дата обращения 15.05.2015 г.
3. Бьюзен Т. и Б. Супермышление. – 2-е изд. Мн.: ООО «Попурри», 2003. – 304 с.
4. Бехтерев С. Майнд-менеджмент» Решение бизнес-задач с помощью интеллект-карт. – М.: Альпина Паблишерз, 2009. – 308 с.
5. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010 – 2011. Менеджмент риска. Методы оценки рисков. – М.: Стандартинформ, 2012. – 74 с.
6. ГОСТ Р 22.1.01-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. – 1997. – 5 с.

Наземная лазерная съемка как инструмент для качественной пространственной оценки ущерба от лесных пожаров

А.В. Брюханов[1], А.В. Панов[1], С.В. Калякин[2], Н.В. Сиденко[1], В.М. Гузий[2]

[1] Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, г. Красноярск, Россия
[2] Филиал федерального государственного унитарного предприятия «Рослесинфорг» «Востсиблеспроект», г. Красноярск, Россия

Введение

Лазерная съемка как инструмент для оценки ущерба от лесных пожаров может применяться для определения характеристик целого ряда параметров, таких как величина запасов лесных горючих материалов на гарях и горельниках, пространственное расположение взрослых деревьев, подроста и подлеска, условий микрорельефа и т.д. и является относительно новым и перспективным методом измерений в лесной пирологии и лесоводстве. Измерение данных характеристик позволяет оценить интенсивность горения на пройденных огнем участках, силу пожаров и степень их воздействия на различные элементы лесных насаждений.

Изучению пожароустойчивости и огнестойкости различных видов хвойных пород в бореальных лесах РФ посвящено достаточно много работ отечественных исследователей. Все факторы, влияющие на ослабление деревьев условно можно разделить на две большие группы: когда они влияют на растение разово и долговременно с накопленным эффектом. К первой группе относятся повреждения, когда они, как правило, затронули только лишь какие-либо части деревьев: кроны, стволы, корни и т.д. Такой урон для растения обычно связан с разовыми механическими и термическими повреждениями, насекомыми-вредителями, погодными явлениями и рядом других воздействий. Ко второй группе повреждений, влияющих на растение опосредовано через окружающую среду, можно отнести значительные изменения в гидрологическом режиме, радиационном фоне, климатических условиях, качестве воды, почвы и воздуха, то есть в целом окружающей среды, в которой находится дерево.

В контексте нашего исследования мы постарались сконцентрироваться только лишь на первой группе повреждений, пожарного происхождения, которые происходят разово и к повреждению части деревьев (нижняя часть ствола и шейка корня), а также оценить как различные аспекты морфологического характера и имеющиеся повреждения растений влияют на их способность перенести термическое воздействие.

Район и методика исследований.

Наблюдения за влиянием различных факторов на огнестойкость деревьев проводились в насаждениях на территории Центральной Сибири в Красноярском крае (Сымско-Дубческая возвышенность в Туруханском лесничестве).

Сбор данных осуществлялся на постоянных пробных площадях, заложенных преимущественно в хвойных древостоях. На каждой пробе располагалось не менее 100 деревьев. Было заложено 5 пробных площадей в основном в сосновых типах лесах. Лиственные и темнохвойные насаждения представляли меньший интерес, так как даже низкоинтенсивные низовые пожары на их территории ведут практически к полной гибели древостоя. В данной работе мы рассматриваем, результаты исследований на пробах, расположенных в насаждениях с доминированием сосны обыкновенной.

Подбор, закладка и описание пробных площадей проводились согласно методическим указаниям (Сукачев, Зонн, 1961; Мелехов, 1975). Для определения количественных и качественных характеристик насаждений и оценки крупномерных древесных остатков, на нескольких пробных площадях использовалась стандартная методика сплошного перечета с помощью наземной высокоточной лазерной съемки, применяемая при государственной инвентаризации лесного фонда (ГИЛ) предприятиями ФГУП "Рослесинфорг" (согласно Приказу Рослесхоза №472 от 10.11.2011 «Об утверждении методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов»). Данные исследования включали в себя оценку жизненного состояния древесных растений выше 1,3 м. по 10-ти балльной шкале, наличия имеющихся видимых послепожарных повреждений, а также указание индивидуальных особенностей каждого дерева. В дальнейшем для удобства работы 10-ти балльная шкала, применяемая при ГИЛ, была адаптирована к более распространенной лесоводственной методике (Алексеев, 1989; Руководство по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий, 2007). Для оценки запасов остальных растительных горючих материалов (опад, лесная подстилка, живой напочвенный покров и т.д.) использовалась методика, разработанная Н.П. Курбатским (Курбатский, 1970; Баранов, Евдокименко, Курбатский, 1974). Данная методика предполагает закладку небольших учетных площадок (50х50 и 20х25 см) на запас лесных горючих материалов (ЛГМ), где количество площадок четко регулируется в зависимости от размеров общей площади исследуемого участка.

Результаты исследований и обсуждения

Анализируя полученные результаты, мы выявили, что наиболее значимыми факторами влияющими на пожароустойчивость являлись поверхностное расположение корневой системы, наличие значительных механических повреждений и диаметр ствола.

Влияние величины диаметра ствола на способность деревьев пережить пожар рассматривалось во многих работах как отечественных, так и зарубежных исследователей. Наши наблюдения подтвердили, что, несмотря на то, что диаметр ствола очень важен, тем не менее, его всегда нужно рассматривать только при прочих равных условиях. Индивидуальные особенности каждого дерева (ослабленность различными факторами, характеристики ствола, повреждения и т.д.), физическое месторасположения к горючим материалам, которые могут либо увеличить интенсивность горения, либо ее замедлить, обычно приводят к тому, что взрослые дре-

весные растения, располагающиеся рядом друг с другом, валежом или хвойным подростом могут погибнуть даже при диаметре более 32 см. В тоже время сосны со значительно меньшими диаметрами (16-24 см) в состоянии успешно пережить пожар, если они располагались на открытом месте, где сила горения падала с сильного (характерна низового устойчивого) до среднего и слабого (характерна для низового беглого пожара) (Рис. 1).

Рис. 1. Пример моделирования распространения пожара на основе пространственного картирования пробной площади с помощью наземной лазерной съемки и по комплексной оценке послепожарных факторов

В ходе сопряженного анализа пространственной структуры основного полога древостоя на данных площадях, выявлено, что индивидуальные особенности дерева и его месторасположения (характер повреждений, наличие вокруг дерева основных проводников горения) играют не менее важную роль в его способности пережить высокоинтенсивный низовой пожар (R – 0,81), чем порода (R – 0,74) и диаметр в нижней части ствола (R – 0,86) (Брюханов, Панов, Калякин и др., 2014).

При обработке результатов натурных исследований нами были получены пространственные комплексные характеристики пробных площадей после устойчивых низовых пожаров в основных типах леса, как в виде визуального плана, так и в виде числовых данных. Объединение планов с другими данными позволили подготовить подробные карты пространственной структуры основного полога древостоя с учетом всех показателей (таксационные, жизненное состояние, повреждения), подроста и подлеска, и расположения сухостоя и крупномерных древесных остатков (Рис. 1).

Видимые механические повреждения ствола (после пожара) оказывали на выживаемость деревьев, как правило, минимальное значение. Наибольший отпад (в

среднем до 89% для устойчивых низовых пожаров) характеризовался для сосен, имеющих значительные механические повреждение ствола (крупные старые пожарные подсушины, карры от подсочки), занимающие более 2/3 окружности ствола.

Проведенные исследования показали, что наиболее опасны с пожарной точки зрения для древесных растений повреждения нижней части ствола (при одинаковых размерных характеристиках). Особо опасно для деревьев повреждение более 2/3 окружности камбиального слоя, что как правило, приводит к летальным последствием для растения уже в первый год. Особенно опасны они для хвойных пород, так как в полученной ране скапливается значительное количество смолы являющейся легкогорючим веществом, значительно повышающим интенсивность горения на поверхности ствола. Такие повреждения обычно связаны с механическим воздействием из-за погодных условий (удары молний, ветровал, резкие перепады температур), а также при ударах от падения других деревьев. При подобных факторах воздействия обычно образуются глубокие трещины, длина которых, иногда измеряется метрами.

Поверхностное повреждение ствола несет угрозу в значительно меньшей степени для жизни дерева по сравнению с воздействием на корни и крону и степень ослабления деревьев после пожара зависит, от площади повреждения.

Выводы:

На основе проведенных наблюдений можно констатировать, что наибольшее влияние на огнестойкость сосны обыкновенной, оказывает диаметр ствола дерева и характеристики залегания верхних горизонтальных корней. В меньшей степени выявлено влияние особенностей строения корневой шейки и имеющихся механических повреждений ствола. Наименьшее влияние на снижение огнестойкости деревьев сосны обыкновенной оказывали искривление или наклон ствола. Кроме того наши работы подтвердили, что наземная лазерная съемка является весьма перспективным методикой сбора пространственной информации в полевых условиях.

Литература

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С.51-57.
2. Баранов Н.М., Евдокименко М.Д., Курбатский Н.П. О методике определения запасов лесных горючих материалов. // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1974. – С. 149-166.
3. Брюханов А.В., Панов А.В., Калякин С.В., Сиденко Н.В., Гузий В.М. Применение методов наземной высокоточной лазерной съемки для оценки послепожарных последствий на свежих гарях и горельниках в Центральной Сибири. Материалы международной конференции ENVIROMIS-2014, 28 июня-05 июля 2014 года, Томск, Россия – Томск: SCERT, 2014. – С. 197-200.
4. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов. // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 5-58.

5. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. – М. – Л.: Гослестехиздат, 1948. – 126 с.
6. Мелехов И.С. Биология, экология и география возобновления леса. // Возобновление леса. – М.: Колос, 1975. – С. 4-21.
7. Приказ Рослесхоза от 10 ноября 2011 года №472 «Об утверждении Методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов» (с изменениями от 05.04.2012) http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/199
8. Приказ Рослесхоза от 29.12.2007 №523 «Об утверждении методических документов» (вместе с «Руководством по проектированию, организации и ведению лесопатологического мониторинга», «Руководством по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий», «Руководством по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований», «Руководством по локализации и ликвидации очагов вредных организмов») http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129394/
9. Сукачев В. Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 143 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-05-98053, и Гранта Президента Российской Федерации для Государственной поддержки молодых российских ученых МК-1691.2014.5.

Мониторинг воздействия пожаров на лесные экосистемы Забайкальского края

Е.А. Кукавская[1], Е.Г. Швецов[1], Л.В. Буряк[2], О.П. Каленская[2]

[1]ФГБУН Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
[2]ФГБОУ ВО Сибирский государственный технологический университет

Пожары являются природным постоянно действующим фактором, под воздействием которого формируются бореальные леса Евразии, их морфоструктура, устойчивость и биоразнообразие (Фуряев 1996). Каждая лесорастительная формация характеризуется определенным пожарным режимом, который определяется видом и силой пожара, размером, сезонностью и периодом повторяемости (Agee 1993; Crutzen, Goldammer 1993). Однако, в последние десятилетия под влиянием комплекса антропогенных и климатических факторов отмечается рост горимости лесов (Kasishke, Turetsky 2006). В настоящее время в России ежегодно возникают десятки тысяч лесных пожаров. В обычные годы пожары, как правило, своевременно локализуют, в то время как в отдельные пожароопасные сезоны в периоды длительной засухи площадь, пройденная пожарами, может достигать несколько миллионов гектар (Sukhinin et al. 2004; Vivchar 2011; Kukavskaya et al. 2013). В такие сезоны пожары растительности превращаются в стихийное бедствие, против кото-

рого еще не имеется радикальных средств борьбы. События 1996, 2003, 2006, 2012 и 2015 годов в Сибири и 2010 года в европейской части России это убедительно подтвердили. При дальнейшем изменении климата ожидается увеличение частоты пожаров, площади, пройденной огнем, продолжительности пожароопасного сезона, интенсивности горения, а также количества экстремальных пожаров и пожаров от молний (Flannigan et al. 2009). Уже сейчас в ряде регионов России наблюдается увеличение продолжительности пожароопасного сезона и частоты возникновения пожаров (Soja et al. 2006; Groisman et al. 2007), при этом наиболее чувствительными к изменениям являются территории юга Сибири (Malevsky-Malevich et al. 2008; Gustafson et al. 2010). Появляется все больше площадей, многократно пройденных пожарами, с нехарактерно коротким для данных регионов межпожарным интервалом (Куприянов 2009; Буряк и др. 2011). В этих условиях состояние отдельных компонентов природных комплексов регионов становится нестабильным и требуется постоянный экологический мониторинг.

Лесные экосистемы Забайкальского края характеризуются самой высокой степенью горимости на территории Российской Федерации (Kukavskaya et al. 2013). Территория Забайкалья рассматривается как область критического изменения земельного покрова под воздействием пожаров (Achard et al. 2006). Согласно данным дистанционного зондирования за период с 1996 по 2014 гг. ежегодная площадь пожаров в регионе варьировала от 0,2 до 6,0 млн. га (рисунок 1), в то время как оценки официальных данных по пожарам составили 0,02-0,9 млн. га за тот же самый период.

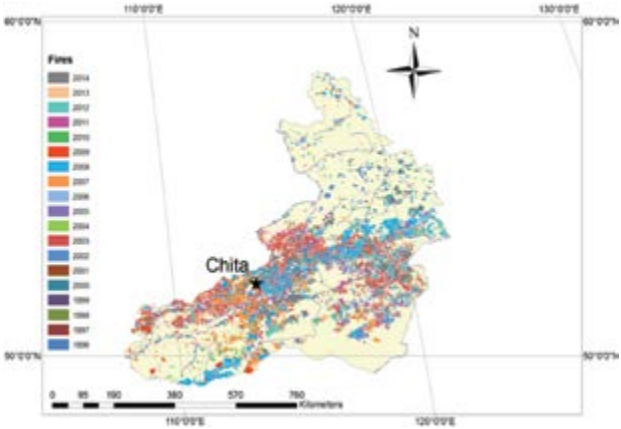


Рис.1. Распределение пожаров по территории Забайкальского края за период с 1996 по 2014 гг.

Самая высокая горимость в регионе наблюдается в центральных и южных районах края. В связи с засушливыми климатическими условиями, обусловленными недостаточным количеством осадков в зимний и летний периоды и аномально

высокой температурой, продолжительность пожароопасного сезона нередко составляет 7-8 месяцев. В последнее время для Забайкальского края стали все более характерны повторные пожары с периодичностью значительно ниже срока прохождения полного цикла развития коренных фитоценозов после воздействия пожара и достижения ими пожарной зрелости. В некоторых районах межпожарный интервал сокращается до 1-2 лет. По данным спутниковых систем за период с 1996 по 2014 гг. площадь, повторно пройденная пожарами, в Забайкальском крае составила 11,9 млн. га, при этом нередко пожары распространялись по одной и той же территории 3 и более раз за рассматриваемый период (рисунок 2).

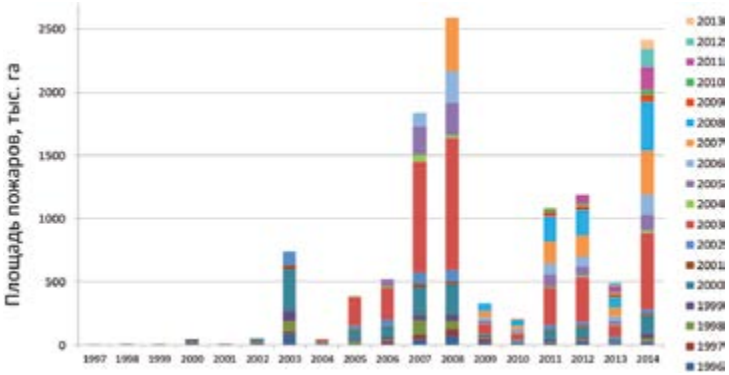


Рис. 2. Площади повторных пожаров в Забайкальском крае за период с 1996 по 2014 гг.

Огромные площади лесных земель пройдены высокоинтенсивными пожарами, уничтожившими полностью древостой и нижние яруса растительности. Пожары существенно изменили структуру и запасы напочвенных горючих материалов. При пожарах низкой интенсивности наблюдается снижение запасов на 8-20%, высокой интенсивности – 30-62%, в то время как на площадях, неоднократно пройденных пожарами за последнюю декаду, запасы органического вещества на поверхности почвы не превышают 5-10% от допожарных величин (рисунок 3). На повторно прогоревших участках крупных гарей наблюдается ветровая и водная эрозия почв. Эмиссии углерода при пожарах в светлохвойных насаждениях Забайкальского края варьируют от 2 до 12 тС/га. Нелегальные вырубки, широко распространенные в регионе, увеличивают пожароопасность территории и выход углерода при пожарах, который достигает 19 тС/га.

На крупных гарях Забайкальского края, заросших по вейниковому типу, процессы лесовосстановления затруднены, вплоть до полного отсутствия возобновления. Кроме того, установлено, что повторные пожары способствуют трансформации лесных земель в нелесные, в том числе остепнению участков гарей в южных лесо-

степных регионах и в нижних частях склонов южной экспозиции, а также опустыниванию в центральных районах Забайкальского края.

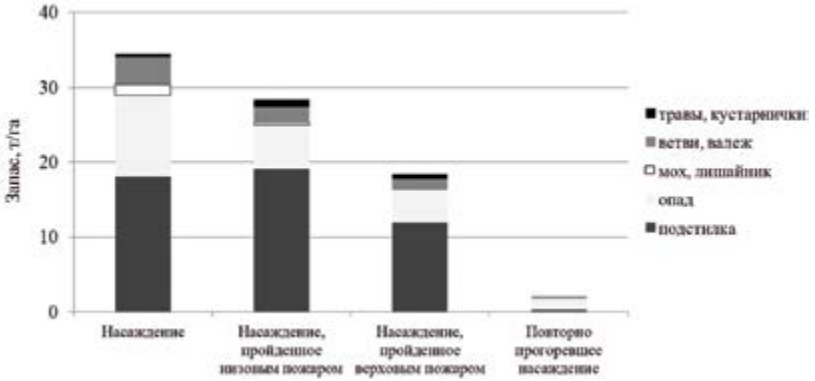


Рис.3. Влияние пожаров на запасы напочвенных горючих материалов

В сложившейся ситуации необходима разработка методики оценки степени нарушенности лесных экосистем Забайкальского края. Проведенный анализ восстановления после воздействия пожаров вегетационных индексов (NDVI, NBR, SWVI), полученных по результатам обработки спутниковых изображений, показал существенные различия для участков с различной степенью нарушенности (рисунок 4).

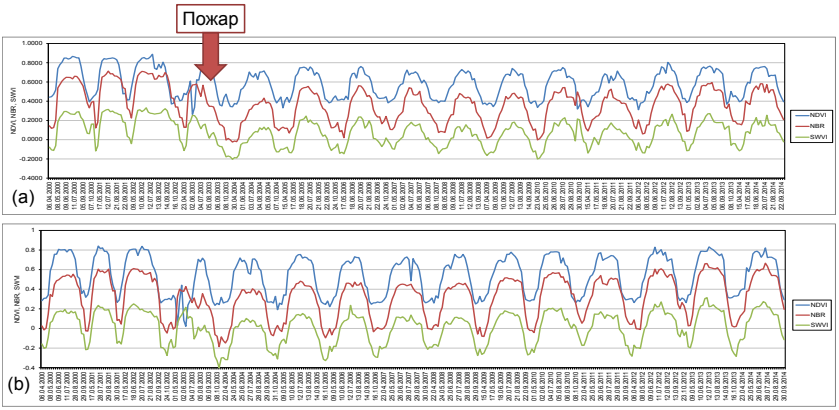


Рис. 4. Послепожарное восстановление вегетационных индексов в (a) сильнонарушенном насаждении с отсутствием возобновления; (b) малонарушенном насаждении.

Таким образом, лесные экосистемы Забайкальского края в последние десятилетия претерпевают существенные изменения под влиянием комплекса антропогенных и климатических факторов. Многократное воздействие огня на лесные эко-

системы вызывает постпирогенные сукцессии по дигрессионному типу и приводит к переходу земель покрытых лесной растительностью в не покрытые (гари) или в нелесные (пустыри, степи) земли. Выявление наиболее уязвимых регионов Забайкальского края необходимо для организации охраны лесов от пожаров и внедрения системы устойчивого лесоуправления и лесопользования.

Исследования выполнены при поддержке проекта РФФИ № 15-04-06567 и гранта Президента РФ № МК-4646.2015.5.

Литература

1. Achard F. Areas of rapid forest-cover change in boreal / F. Achard, D., Mollicone, H.-J. Stibig, L. Laestadius, A. Yaroshenko, P. Potapov, D. Aksenov, N. Lashchinsky, D. Smirnov, Z. Li // Eurasia For. Ecol. Manag. 2006. – Vol. 237. – P. 322–234.
2. Agee J.K. Fire ecology of Pacific Northwest forests / J.K. Agee, Washington, D.C.: Island Press. – 1993. – 493 p.
3. Crutzen P.J. Fire in the environment the ecological, atmospheric, and climatic importance of vegetation fires / P.J. Crutzen, J.G. Goldammer, New York: John Wiley and Sons. – 1993. – 456 p.
4. Flannigan M. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest / M. Flannigan, B. Stocks, M. Turetsky, M. Wotton // Glob. Change Biol. – 2009. – Vol. 15. – P. 549–560.
5. Groisman P.Y. Potential forest fire danger over Northern Eurasia-Changes during the 20th century / P.Y. Groisman, B.G. Sherstyukov, V.N. Razuvaev, R.W. Knight, J.G. Enloe, N.S. Stroumentova, P.H. Whitfield, E. Fortland, I. Hannsen-Bauer, H. Tuomenvirta, H. Aleksandersson, A.V. Mescherskaya, T.R. Karl // Global and Planetary Change. – 2007. – Vol. 56. – P. 371–386.
6. Gustafson E.J. Predicting global change effects on forest biomass and composition in south-central Siberia / E.J. Gustafson, A.D. Shvidenko, B. Sturtevant, R.M. Scheller // Ecological Applications. – 2010. – Vol. 20. – P. 700–715.
7. Kasischke E.S. Recent changes in the fire regime across the North American boreal region-Spetial and temporal patterns of burning across Canada and Alaska / E.S. Kasischke, M.R. Turetsky // Geophysical research letters. – 2006. – Vol. 33. –L09703, doi:10.1029/2006GL025677.
8. Kukavskaya E.A. Fire emissions estimates in Siberia: Evaluation of uncertainties in area burned, land cover, and fuel consumption / E.A. Kukavskaya, A.J. Soja, A.P. Petkov, E.I. Ponomarev, G.A. Ivanova, S.G. Conard // Canadian Journal of Forest Research. – 2013. – №43(5). – P. 493–506. doi: 10.1139/cjfr-2012-0367
9. Malevsky-Malevich S.P. An assessment of potential change in wildfire activity in the Russian boreal forest zone induced by climate warming during the twenty-first century / S.P. Malevsky-Malevich, E.K. Molkentin, E.D. Nadyozhina, O.B. Shklyarevich // Climatic Change. – 2008. – Vol. 86. – P.463–474. DOI 10.1007/s10584-007-9295-7.
10. Soja A.J. Satellite-derived mean fire return intervals as indicators of change in Siberia (1995-2002) / A.J. Soja, H.H. Shugart, A.I. Sukhinin, S.G. Conard, Jr. P.W.

Stackhouse // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. – 2006. – Vol. 11. – P. 75 – 96.

11. Sukhinin A.I. AVHRR-based mapping of fires in Russia: New products for fire management and carbon cycle studies / A.I. Sukhinin, N.H. French, E.S. Kasischke, J.H. Hewson, A.J. Soja, I.A. Csiszar, E.J. Hayer, T. Loboda, S.G. Conard, V.I. Romasko, E.A. Pavlichenko, S.I. Miskiv, O.A. Slinkina // Remote Sensing of Environment. – 2004. – Vol. 93. – P. 546 – 564.
12. Vivchar A. Wildfires in Russia in 2000-2008: Estimates of burnt areas using the satellite MODIS. MCD45 data / A. Vivchar // Remote Sensing Letters. – 2011. – Vol. 2(1). – P. 81 – 90.
13. Буряк Л.В. Последствия пожаров в ленточных борах юга Сибири / Л.В. Буряк, О.П Каленская, А.И. Сухинин, Е.И. Пономарев // Сибирский экологический журнал. – 2011. – №3. – С. 135 – 140.
14. Куприянов А.Н. Влияние повторных пожаров на восстановление сосновых насаждений в равнинной части Алтайского края / А.Н. Куприянов // Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса.– Красноярск: СО РАН. – 2009. – С. 102 – 104.
15. Фуряев В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования / В. В. Фуряев. – Новосибирск: Наука. – 1996. – 252 с.

Анализ факторов, повлиявших на катастрофические природные пожары в Хакасии в апреле 2015 года

И.А. Буслов, Г.А. Доррер

ФГБОУ ВО Сибирский государственный технологический университет

В апреле 2015 года на территории республики Хакасия произошла серия катастрофических пожаров.

По официальным данным погибло более 30 человек, около 5000 осталось без жилья.

Ущерб от этих пожаров оценивается более чем в 7 миллиардов рублей. Повреждения получили 1328 частных жилых домов на территории 33 населенных пунктов в шести районах республики. За медицинской помощью обратилось более 600 человек, около 80 из них госпитализированы.

Цель данной работы – попробовать разобраться в причинах катастрофы.

В статье приводятся данные с метеостанции WMO ID 29756 (пос. Шира). При изучении сложившейся ситуации использован большой объем данных с различных метеостанций, везде получились схожие результаты.

Табл. 1. Данные температуры на время 13.00 с метеостанции WMO ID 29756, град. Цельсия

	2015	2014	2013	2012	2011	2010
9 апреля	7,4	11,1	12,3	4	7,6	-6,2
10 апреля	6,9	15,4	19,7	14,2	13	-4
11 апреля	11,1	13,5	5,6	18,3	15,4	-2,8
12 апреля	21,6	-1,5	0,1	4	18,2	0,9
13 апреля	5,7	-1,1	4,3	5,8	19	4,7
14 апреля	5,1	5,1	1	11,4	12,6	6,2
15 апреля	8,2	7	4,4	15,5	15,9	3,3
16 апреля	4,8	9	1,6	16	20,4	6,8
17 апреля	4,7	11,7	6,3	6,6	16,4	6,4

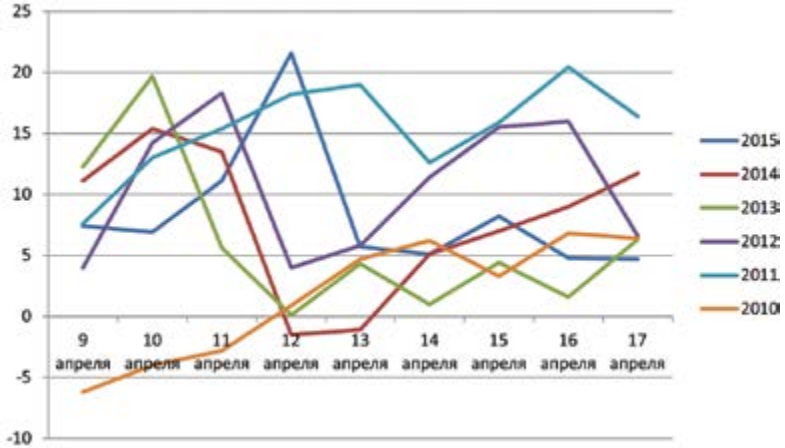


Рис. 1. График по данным температуры (град. Цельсия) на время 13.00 с метеостанции WMO ID 29756

В таблице 1 приведены не все метеоданные, а только информация на 13.00 каждого дня (для ее упрощения). Пик распространения пожаров пришелся на 12 апреля. На графике (рис. 1, рис.2) видно резкое повышение температуры в этот день на 10 градусов.

Как известно, относительная влажность сильно зависит от температуры. При значительном повышении температуры происходит значительное снижение влажности. Со снижением относительной влажности происходит рост дефицита влажности, который провоцирует быстрое высыхание поверхности (почвы, горючего).

Рассмотрим более подробно суточные приращения температур заданного периода в 2015 году.

Табл. 2. Суточные приращения температур заданного периода в 2015 году

Период	2015
9-10 апреля	-0,5
10-11 апреля	4,2
11-12 апреля	10,5
12-13 апреля	-15,9
13-14 апреля	-0,6
14-15 апреля	3,1
15-16 апреля	-3,4
16-17 апреля	0,1

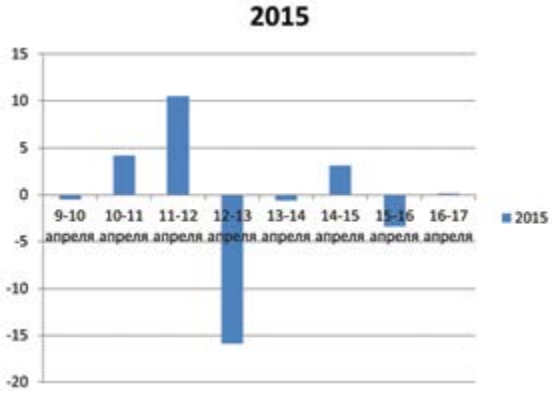


Рис. 2. График суточных изменений температур заданного периода в 2015 году

Табл. 3. Средняя скорость ветра в 13.00 с метеостанции WMO ID 29756, м/с

	2015	2014	2013	2012	2011	2010
9 апреля	6	3	4	3	5	4
10 апреля	4	4	7	4	0	3
11 апреля	3	7	9	2	2	3
12 апреля	15	3	3	3	0	2
13 апреля	3	2	3	3	5	3
14 апреля	9	2	2	3	3	2
15 апреля	3	3	4	5	3	2
16 апреля	1	2	2	8	6	5
17 апреля	5	2	7	4	2	7

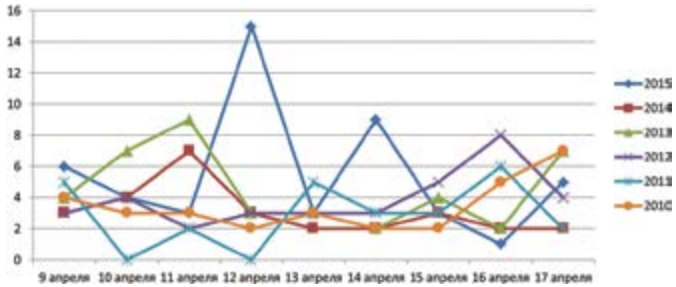


Рис. 3. Средняя скорость ветра в 13.00 с метеостанции WMO ID 29756, м/с по годам

12 апреля 2015 года наблюдался аномально сильный ветер для этого времени года (табл. 3, рис. 3). И именно 12 апреля началось стремительное развитие пожаров в регионе. Этот показатель является рекордным за последние 6 лет.

Аномально сильный для этого времени года ветер стал фактором, ускорившим высыхание горючего, а так же распространение пожаров.

Табл. 4. Показатель Нестерова, посчитанный по данным метеостанции WMO ID 29756

	2015	2014	2013	2012	2011	2010
9 апреля	2	4	1	1	4	1
10 апреля	1	4	2	1	4	1
11 апреля	1	4	2	1	1	1
12 апреля	2	1	2	1	1	1
13 апреля	1	1	2	1	2	1
14 апреля	1	1	2	1	2	1
15 апреля	1	1	3	1	3	1
16 апреля	1	2	3	1	3	1
17 апреля	1	2	3	1	3	1

Табл. 5. Показатель ПВ-1, посчитанный по данным метеостанции WMO ID 29756

	2015	2014	2013	2012	2011	2010
9 апреля	2	4	1	1	3	1
10 апреля	1	4	2	1	3	1
11 апреля	1	4	2	1	1	1
12 апреля	2	1	2	1	1	1
13 апреля	1	1	2	1	2	1
14 апреля	1	1	2	1	2	1
15 апреля	1	1	3	1	3	1
16 апреля	1	2	3	1	3	1
17 апреля	1	2	3	1	3	1

Табл. 6. Показатель ПВ-2, посчитанный по данным метеостанции WMO ID 29756

	2015	2014	2013	2012	2011	2010
9 апреля	2	4	1	1	4	1
10 апреля	1	4	2	1	4	1
11 апреля	1	4	2	1	3	1
12 апреля	2	1	2	1	3	1
13 апреля	1	1	2	1	3	1
14 апреля	1	1	2	1	3	1
15 апреля	1	1	3	1	3	1
16 апреля	1	2	3	1	3	1
17 апреля	1	2	3	1	4	1

Классы пожарной опасности (табл. 4-6), традиционно используемые для оценки влажности горючего слоя, оказались неэффективны при таких резких изменениях температур в условиях степей.

Это связано как с частотой их определения, так и с самой методикой расчета этих показателей. Вероятность возникновения подобных ситуаций может быть оценена, исходя из приращения температуры и времени, за которое это приращение произошло, а классы пожарной опасности могут быть дополнены этой информацией.

На территории Хакасии существовали небольшие очаги пожаров. Из-за экстремальных условий, описанных выше, площадь этих очагов значительно выросла в короткое время.

Дальнейшая работа по данной тематике будет направлена на нахождение границ условий, при которых возникает высокая вероятность катастрофического пожара, с использованием методов математического моделирования.

Выводы:

1. Классы пожарной опасности неэффективны при резких изменениях температур в условиях степей.
2. Классы пожарной опасности могут быть объективнее, если их дополнить таким образом, чтобы они учитывали резкие изменения погодных условий.
3. Резкие изменения температуры могут значительно повысить опасность пожара в степи, а если они сопровождаются сильным ветром, то могут привести к катастрофическим последствиям.

Литература

1. Доррер, Г.А. Динамика лесных пожаров / Г.А. Доррер. – Красноярск: СО РАН, 2008. – 404 с.
2. Mell, W. Wildland fire behavior modeling: perspectives, new approaches and applications / W. Mell, R.J. McDermott, G. P. Forney // Proceedings of 3rd Fire Behavior and Fuels Conference,Spokane, Washington, USA. – 2010. – P. 45-62/

3. Mell, W. A physics-based approach to modeling grassland fires / W. Mell, M. A. Jenkins, J. Gould, Ph. Cheney // International Journal of Wildland Fire. – 2007. – Vol. 16. - P. 1- 22.
4. Гришин, А. М. Математические моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. / А. М. Гришин. - Новосибирск: Наука, 1992. - 408 с.
5. Доррер, Г.А. Система обучения специалистов пожарной службы «Тайга-3» / Доррер Г.А., Яровой С.В., Буслов // Фундаментальная информатика, информационные технологии и системы управления: реалии и перспективы. FIITM-2014: материалы международной науч.-практич. конф. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014 . – С. 150-156.
6. Погода в мире [Электронный ресурс], [2004-2015]. - Режим доступа: http://rp5.ru/.- Погода в мире.
7. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства [Электронный ресурс], [1997-2015]. - Режим доступа: http://www.nffc.aviales.ru. - Погода в мире.

Повышение пожарной и промышленной безопасности на магистральных газопроводах с помощью использования геоинформационной системы при прогнозировании применения пожарно-спасательных подразделений

Д.С.Буданов

ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Уменьшение продолжительности и интенсивности пожаров на магистральных газопроводах является одним из важных направлений пожарной и промышленной безопасности. Последствия аварии на магистральных газопроводах зависят прямо пропорционально от времени обнаружения аварии на магистральном газопроводе, а также оперативностью реагирования пожарно-спасательных подразделений для ликвидации последствий аварии. Для указанной оперативности зачастую зависит и сама возможность локализации аварии, т.к. линейные краны, отсекающие аварийную нитку многониточной линейной части магистрального газопровода при длительном развитии аварийной ситуации могут потерять работоспособность. Указанные обстоятельства, в условиях возникновения аварий[1], свидетельствуют о необходимости оперативного прибытия пожарно-спасательных подразделений для ликвидации разрывов на магистральных газопроводах.

1 На магистральных трубопроводах, входящих в перечень наиболее надёжных, ежегодно происходит до 25-30 аварий (от 0,18 до 0,20 аварий на 1000 км в год). На протяжении последних 5-7 лет этот показатель остается относительно стабильным [1].

Важнейшее направление дальнейшего развития технологии транспортирования газа – минимизация человеческого фактора в управлении этим технологическим процессом и переход на его максимальную автоматизацию в рамках интерактивного (человеко-машинного) режима управления, что диктует необходимость совершенствования автоматизированных систем управления указанным технологическим процессом, составной частью которых являются автоматические системы пожарной безопасности. Таким образом, управление технологическими процессами должны осуществлять современные комплексы программно-технических средств, представляющие собой системы автоматизации применения пожарно-спасательных подразделений, разработанные в соответствии с действующей в газовой промышленности нормативной базой и типовыми требованиями.

Поэтому статья, а также разрабатываемая автором методика применения пожарно-спасательных подразделений при обеспечении ликвидации последствий ЧС, по нашему мнению, является актуальной.

Отметим, что существует ряд предпосылок, свидетельствующих о наличии опасности роста аварийности на трубопроводах. К основным из них относятся.

1. Старение газотранспортной сети (так как в последние 10-15 лет темпы нового строительства, капитального ремонта и реконструкции газопроводов существенно отставали от темпов их «старения», сегодня у 80% газопроводов срок эксплуатации превышает 20-25 лет.
2. Географическое положение, свидетельствующее о том, что территория Сибирского федерального округа, относится к первой дискомфортной климатической зоне, которая характеризуется суровой продолжительной зимой и коротким летом, что способствует появлению новых опасностей и угроз, требует внедрения новых не полностью отработанных и опробованных технологий.
3. Фактор возрастания доли аварий, связанных с диверсионно-террористическими действиями на фоне общемирового роста террористических угроз в последние несколько лет[2].

В настоящее время, для контроля за ситуацией и содействия разработке превентивных мер, способных предотвратить рост аварий и обеспечить смягчение их последствий, функционирует Геоинформационная система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций на объектах Единой газотранспортной системы ОАО «Газпром» (ГИСАМП «Газ ЧС»).

На основе данной геоинформационной системы возможно и необходимо применение разрабатываемой методики прогнозирования применения пожарно-спасательных подразделений при обеспечении ликвидации последствий ЧС на газотранспортной системе в Сибирском федеральном округе (далее по тексту Методика) (рис. 1).

Рис. 1. Схема отработки аварии на магистральном газопроводе

Примечание. *Авария на магистральном газопроводе и отключение аварийного участка. Пульт приема сигнала. Автоматизированное рабочее место, на котором реализуются расчёты Методики. Пожарно-спасательное подразделение, используемое в соответствии с Методикой.*

В соответствии с рис. 1 концептуальный алгоритм прогнозирования применения пожарно-спасательных подразделений при аварии на магистральном газопроводе включает последующие шаги, расчёты, в рамках которых осуществляются на АРМе, представленном на рис. 1.

Шаг 1. Вычисление параметров аварии на магистральном газопроводе. Для вычисления параметров геоинформационной системой мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций на объектах Единой газотранспортной системы ОАО «Газпром» используются:

- время обнаружения аварии и локализации аварийного участка;
- время отключения аварийного участка;
- длина отключенного участка;
- расстояние от места разрыва газопровода до начала (по направлению движения газа) отключенного участка;
- расстояние от места разрыва газопровода до конца (по направлению движения газа) отключенного участка;
- технические и технологические характеристики газопровода.

Шаг 2. Приём сигнала об аварии на пульте приема сигнала и инициализация программного комплекса автоматизированного рабочего места, на котором реализуются расчёты Методики.

Шаг 3. Реализация программного комплекса автоматизированного рабочего места, осуществляющего на основе анализа дорожной обстановки на сети автомобильных дорог в зоне аварии и возможностей пожарно-спасательных подразделений выбор, по критерию минимизации времени ликвидации аварии, того подразделения, использование которого реализует минимум соответствующей целевой функции.

В заключение отметим, что объекты магистральных газопроводов относятся к важным для страны объектам жизнеобеспечения, а вопросы их безопасности являются приоритетными при проектировании и строительстве магистральных газопроводов. Причём при выборе методов или методик противопожарной защиты предпочтение отдается комплексным подходам, применению эффективных, оправдавших себя на практике и одобренных ОАО «Газпром» средств.

Литература

1. Анализ риска аварий на магистральном трубопроводе, транспортирующем широкую фракцию легких углеводородов / С.И. Сумской [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 2. С. 17-19.
2. Павлов С.Г., Долгов С.И., Ракитина Г.С., Шершнева Л.В. Оценка надежности поставок газа на объектах Единой системы газоснабжения ОАО. Москва: ОАО ВНИИГАЗ, 2007.

Сравнительный анализ методик прогнозирования взрывов газопаровоздушных смесей на примерах реальных промышленных аварий

С.Г. Алексеев[1,2], Е.С. Гурьев[1], А.С. Авдеев[1], Н.М. Барбин[1,3]

[1]НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН
[2] ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России
[3] ФГБОУ ВО Уральский государственный аграрный университет

В настоящее время в России действуют различные методики прогнозирования последствий взрывов газопаровоздушных смесей, которые нашли отражение в РБ Г-05-039-96, РД 03-409-01, ПБ 09-540-03, СП 12.13130.2009, ГОСТ Р 12.3.047-(98)2012, Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности [1-7]. За рубежом данные взрывы классифицируются как Vapor Cloud Explosions или сокращенно VCEs. В качестве эталонных методов используются методики TNO (Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetens-chappelijk Onderzoek – Нидерландская организация прикладных научных исследований) и BST (Baker–Strehlow–Tang) [8-13]. В качестве объекта сравнения выбран также метод Дорофеева [14-16], который частично заимствован методикой РД 03-409-01 [2].

Ранее было показано, что сравнительный анализ вышеуказанных методик на примере расчетной аварийной ситуации, связанной с разливом авиакеросина марки РТ не позволяет отдать предпочтение тому или иному методу [17-19].

Для верификации отечественных и зарубежных методик выбраны следующие примеры: взрыв изопентана в производственном помещении дегазации производства изопренового каучука [20], взрыв циклогексана на предприятии «Нипро» (Nypro) в г. Фликсборо (Flixborough) в Великобритании [21,22], гептана на

территории предприятий CAI и Arnel Manufacturing Facility в г. Дэнверс в США [23]. Выбор этих примеров обусловлен тем, что в ранее проведённых исследованиях этих промышленных аварий визуальным методом установлены радиусы зоны разрушения [20-23].

Установлено, что для дефлаграционных взрывов метод BST2 (последняя модификация BS и BST методов) дает наилучший результат прогнозирования VCEs. Однако принимая возможную погрешность визуального определения воздействия избыточного давления взрыва, предсказания по методикам РД 03-409-01 и ME-TNO (мультиэнергетический метод TNO) следует признать удовлетворительными. В случае VCEs в режиме детонации наилучшие прогнозы дают методы Дорофеева и ТНТ из РД 03-409-01.

Литература

1. РБ Г-05-039-96. Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического воздействия. – М.: НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000. – 40 с.
2. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: справ.-правовая система «КонсультантПлюс».
3. ПБ 09-540-03. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. [Электронный ресурс]. Режим доступа: справ.-правовая система «КонсультантПлюс».
4. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: справ.-правовая система «КонсультантПлюс».
5. ГОСТ Р 12.3.047-98. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: справ.-правовая система «КонсультантПлюс».
6. ГОСТ Р 12.3.047-2012. ССБТ. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. [Электронный ресурс]. Режим доступа: справ.-правовая система «КонсультантПлюс».
7. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». [Электронный ресурс]. Режим доступа: справ.-правовая система «КонсультантПлюс».
8. CPR 14E. Methods for the Calculation of Physical Effects. “Yellow Book” / By ed. C.J.H. van den Bosch, R.A.P.M. Weterings. – Hague: Gevaarlijke Stoffen, 2005. – 870 p.
9. Baker Q.A. Vapor cloud explosion analysis / Q.A. Baker, M.J. Tang, E.A. Scheier, G.J. Silva // Process Safety Progress. –1996. – Vol. 15, № 2. – P. 106-109.
10. Baker Q.A. Recent developments in the Baker-Strehlow VCE analysis methodology / Q.A. Baker, C.M. Doolittle, G.A. Fizgerald, M.J. Tang // Process Safety Progress. – 1998. – Vol. 17, № 4. – P. 297-301.

11. Tang M.J. A new set of blast curves from vapor cloud explosion / M.J. Tang, Q.A. Baker // Process Safety Progress. – 1999. – Vol. 18, № 3. – P. 235-240.
12. Tang M.J. Comparison of blast curves from vapor cloud explosions / M.J. Tang, Q.A. Baker // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2000. – Vol. 13, № 3-5. – P. 433-438.
13. Pierorazio A.J. An update to the Baker–Strehlow–Tang vapor cloud explosion prediction methodology flame speed table / A.J. Pierorazio, J.K. Thomas, Q.A. Baker, D.E. Ketchum // Process Safety Progress. – 2005. – Vol. 24, № 1. – P. 59-65.
14. Dorofeev S.B. Blast effect of confined and unconfined explosions / S.B. Dorofeev // Proc. 20th ISSW "Shock waves" / by ed. B. Sturtevant, J. Shepherd, H. Hornung. – Singapore: Scientific Publishing Co., 1996. – Vol. 1. – P. 77–86.
15. Dorofeev S.B. A flame speed correlation for unconfined gaseous explosions / / S.B. Dorofeev // Process Safety Progress. – 2007. – Vol. 26, № 2. – P. 140–149.
16. Dorofeev S.B. Evaluation of safety distances related to unconfined hydrogen explosions / S.B. Dorofeev // International Journal of Hydrogen Energy. – 2007. – Vol. 32, № 13. – P. 2118–2124.
17. Алексеев С.Г. Сравнительный анализ методик прогнозирования последствий взрывов газопаровоздушных смесей / С.Г. Алексеев, Е.С. Гурьев, А.С. Авдеев, Н.М. Барбин // Проблемы анализа риска. – 2013. – Т. 10, № 4. – С. 12-19.
18. Алексеев С.Г. Методы оценки взрывоопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VII. BST-методы / С.Г. Алексеев, А.С. Авдеев, Н.М. Барбин, Е.С. Гурьев // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22, № 12. – С. 23-30.
19. Алексеев С.Г. Методы оценки взрывоопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. VIII. Сравнение методов Дорофеева, РД 03-409-01 и BST2 / С.Г. Алексеев, А.С. Авдеев, Н.М. Барбин, Е.С. Гурьев // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24, № 3. – С. 6-12.
20. Бесчатнов М.В. Промышленные взрывы. Оценка и предупреждение / М.В. Бесчатнов. – М.: Химия, 1991. – 432 с.
21. The Flixborough Disaster. Report of the Court of Inquiry // Report of Department of Employment of H.M.S.O. – L.: Her Majesty's Stationery Office, 1975. – 93 p.
22. Маршалл В. Основные опасности химических производств / В. Маршалл. – М.: Мир, 1989. – 672 с.
23. Confined vapor cloud explosion (10 injured, and 24 houses and six businesses destroyed) CAI, Inc. and Arnel Company, Inc. // Report No 2007-03-I-MA. – Washigton: CSB, 2007. – 122 p.

Сравнительный анализ методов определения температуры вспышки на примере диалкиламинов

В.В. Смирнов, С.Г. Алексеев, А.Ю. Кошелев

ФГБОУ ВПО Уральский институт ГПС МЧС России

Производные алифатических аминов имеют широкое применение в химической промышленности и быту. Температура вспышки веществ и материалов играет большую роль в обеспечении пожаровзрывобезопасности технологических процессов при хранении, транспортировке и использовании горючих жидкостей [1]. Ранее отмечалось, что температура вспышки является критерием пожаровзрывоопасности горючих жидкостей [1]. Данный показатель применяется в строительстве при категорировании помещений, зданий и сооружений промышленного назначения, определении классов зон электроустановок.

На основании экспериментальных данных [2-4] нами определены коэффициенты *a* (0,64) и *b* (38,87) для уравнения Орманди-Крэвена (1) для вторичных алкиламинов (табл. 1), кроме того, предложены уравнения (2)-(4) для расчета температуры вспышки от количества атомов углерода в молекуле (Nc), коэффициента в реакции горения перед кислородом (β) и стехиометрической концентрации ($C_{стх}$).

Табл. 1. Уравнения для прогнозирования температуры вспышки вторичных аминов.

Уравнение (единицы измерения)	Номер уравнения	Область применения
$T_{всп} = a \cdot T_{кип}(K) + b$ (К)	1.	$1 \le Nc \le 13$
$T_{кип} = (44618,4 + 3153,7 \cdot N_C \ln N_C)^{0,5}$ (К)	2.	$1 \le Nc \le 13$
$T_{всп} = 10,18\beta + 181,51$ (К)	3.	$1 \le Nc \le 13$
$T_{всп} = 180,11 + \frac{212,18}{C_{стх}}$ (К)	4.	$1 \le Nc \le 13$

Установлено, что правило «углеродной цепи» [5], действует и в ряду вторичных аминов. С помощью формул 1-4 и правила «углеродной цепи» [5] определены значения температуры вспышки для набора из 25 соединений. Точность уравнений оценивалась с помощью среднего абсолютного отклонения D полученных величин от экспериментальных значений (5):

$$D = \frac{1}{n}\sum\left|\frac{T^{р}_{всп} - T^{э}_{всп}}{T^{э}_{всп}}\right| \cdot 100\%, \qquad (5)$$

где $T^{р}_{всп}$ – расчетное значение температуры вспышки, *К*; $T^{э}_{всп}$ – экспериментальное значение температуры вспышки, *К; n* – количество измерений.

Результаты оценки D по правилу углеродной цепи, уравнениям (1)–(4) в сравнении с методами ACDLabs 2014, T.E.S.T. (Toxicity Estimation Software Tool) version 4.1

(Consensus method, Hierarchical method), Rowley (формула (6) [6]) и ГОСТ 12.1.044-89 (формула (7) [7]) приведены в таблице 2.

$$T_{всп}(K) = \frac{\sum(ng_i \cdot fp_i) + \delta}{\lambda \ln(8\beta) + 1} + \varepsilon \qquad (6)$$

где ng_i – количество *i*-группы; fp_i – эмпирический коэффициент *i*-группы; β – коэффициент в реакции горения перед кислородом; δ, ε, λ – эмпирические постоянные.

$$t_{всп}(^0C) = 0{,}659 \times t_{кип} + \left[\sum_{i=1}^{n}(a_i 1_i) - 73{,}14\right] \qquad (7)$$

где a_i – эмпирический коэффициент *i*-группы; l_i – количество *i*-группы.

Таб. 2. Сравнение методов прогнозирования температуры вспышки вторичных аминов.

Метод	*D*	
	%	K
Уравнение (1)	2,07	6,08
Уравнение (2)	1,40	4,10
Уравнение (3)	1,47	4,27
Уравнение (4)	1,44	4,15
Уравнение (6)	3,77	10,28
Уравнение (7)	11,12	32,03
ACDLabs 2014	1,48	4,44
T.E.S.T. (Consensus method)	5,36	13,99
T.E.S.T. (Hierarchical method).	4,67	12,31
Правило «углеродной цепи»	2,23	6,34

Литература

1. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Температура вспышки. Часть I. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 5. – С. 35-41.
2. База данных DIPPR 801 [Электронный ресурс]. URL: http://dippr.byu.edu/public/chemsearch.asp (дата обращения 07.04.2014).
3. База данных университета Akron. URL: http://ull.chemistry.uakron.edu/erd/ (дата обращения 07.04.2014).
4. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL: http://www.sigmaaldrich.com/catalog (дата обращения 15.05.2014).
5. Алексеев С.Г., Барбин Н.М., Смирнов В.В. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. VII. Нитроалканы // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 12. – С. 22-24.

6. Rowley J. Flammability limits, flash points, and their consanguinity: critical analysis, experimental exploration, and prediction: dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. – Brigham Young University, 2010. – 261 P.
7. ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – Введ. 01.01.91 г. Доступ из сборника НСИС ПБ. – 2012. – № 1 (47).

Уменьшение рисков возникновения пожаров на базе данных космического мониторинга термических точек

М.В. Елфимова[1], В.В. Двирный[2], В.В. Голованова[3], Г.В. Двирный[2], К.М. Двирная[2]

[1]ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
[2]АО «Информационные спутниковые системы им. ак. М.Ф. Решетнёва»
[3] ФГУП Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В. Фрунзе

В настоящее время проводится космический мониторинг и составляются таблицы термических точек (ТТ), например, на территории Сибирского Федерального округа (СФО). Таблицы содержат достаточно большой объём информации: номер ТТ, номер пожара, субъект, район, географическая широта и долгота, населенный пункт, дистанция до него и азимут, дата первого наблюдения, время пролёта спутника и станция приёма, время доведения информации о ТТ до главного управления (ГУ) и до диспетчера, время доклада диспетчера о результатах проверки ТТ до ГУ, тип возгорания, принимаемые меры, привлекаемые средства и силы, кто тушит, текущее состояние природного пожара (ликвидирован, локализован, действует), время ликвидации, локализации, кто осуществляет проверку, категория земель, собственник (арендатор) земельного участка, контроль доведения информации до собственника. Надо отметить, что в весенний период, большинство пожаров и повышенный риск, особенно при сильном ветре происходит от неосторожного обращения людей с огнём (разведение костров, пал сухой травы и др.).

В таб.1 совершенно очевидны два субъекта повышенного риска возникновения пожаров в СФО: Забайкальский край и Республика Хакассия.

Предлагается на основе такого сводного анализа принимать примитивные меры во избежание тех трагедий от пожаров, которые случились начиная с 12 апреля 2015г. Это концентрация техники МЧС в этих районах, патрули, разъяснительная работа и др.

По тушению природных пожаров наиболее опасных, которые недалеко от населенных пунктов разработаны специальные – ориентированные системы поддержки принятия решений [1].

Постоянно уделяется внимание профилактике природных пожаров [2], однако, как показывает практика, эти меры необходимо усилить. С использованием данных космического мониторинга существует методика расчета параметров лесных пожаров [3], зная которые и имея достаточную картину термоточкам в СФО, на наш взгляд можно уменьшить риски, связанные с этим природным явлением и человеческими факторами. Например, если принять какой-то уровень количества пожаров в регионе и если этот уровень в 10 раз превышает показатель по другим регионам, то в этом регионе необходимо срочно принимать профилактические меры. Наш анализ рисков возникновения пожаров в регионах можно рассматривать, как прикладную задачу теории случайных процессов с проблемой «пересечений уровней» или задачу исследования выбросов случайных процессов, которые уже давно относят к классу «постоянно актуальных» задач [4],[5]. Причин для этого, безусловно, много, но наиболее важными, по-видимому, следует считать междисциплинарный характер теории, сложность аналитических исследований, широту и разнообразие практических приложений, в которых эта теория помогает решать новые задачи. Применительно к рискам возникновению пожаров такие задачи возникают при изучении вероятностных моделей колебаний характеристиктермоточек, при изучении флуктуационных явлений, анализе пороговых значений количества термоточек в регионе.

В проблематике пересечений уровней получено много новых аналитических и расчетно-экспериментальных результатов. Одновременно с этим из-за большого разнообразия приложений заметно увеличился и разрыв между самой теорией и ее практическими применениями. Несмотря на многочисленные (в основном журнальные) зарубежные и отечественные публикации до настоящего времени по существу не предпринимали попыток охватить проблематику пересечений уровней «в целом» с точки зрения прикладных задач управления предотвращения природных и техногенных пожаров.

Особенности проблемы пересечений уровней заключаются в том, что прежде чем рассматривать какой-либо самостоятельный раздел исследований, целесообразно очертить его границы. В данном случае нужно определить само содержание проблемы – класс изучаемых характеристик, основные задачи, входящие в теорию пересечений уровней, связь этих задач со смежными направлениями исследований.

При изучении системы возникновения пожаров предложено использовать модели, построенные на основе теории случайных процессов. Любой случайный процесс полностью определяется семейством своих реализаций. Если рассмотреть отдельную реализацию $\xi(t), t \in [t_0, t_0 + T]$, непрерывного процесса $\xi(t) \equiv \{\xi(t), t \in T\}$, то при описании ее поведения можно выделить совокупность «особых точек» и ввести физически наглядные числовые характеристики. Так, в частности, зафиксировав некоторый постоянный пороговый уровень H, поведение функции $\xi(t)$ можно характеризовать числом ее положительных выбросов $n^+(H,T)$ над этим уровнем H, числом отрицательных выбросов $n^-(H,T)$ или общим числом пересечений $n(H,T) = n^+(H,T) + n^-(H,T)$ уров-

ня Н реализацией $\xi(t)$ на интервале времени $[t_0, t_0 + T], T < \infty$. Величины $\tau^+(H) = \tau_{+-}(H)$ и $\tau^-(H) = \tau_{-+}(H)$ соответствуют при этом длительностям положительных и отрицательных выбросов или длительностям интервалов между последовательным положительными и отрицательными: (+ –) и (– +) пересечениями уровня Н. В момент времени $t = t_1$ траектория $\xi(t)$ впервые выходит за уровень Н, следовательно, τ_0 - время первого достижения границы Н. За отрицательные выбросы предложено принять уже потушенные.

Функция $\xi(t), t \in [t_0, t_0 + T]$, на интервале $T < \infty$ имеет конечное число максимумов $n_{макс}(T)$ и минимумов $n_{мин}(T)$ с различными высотами ξ_m, причем в момент времени $t = t_m$ функция $\xi(t)$ достигает наибольшего (абсолютного) максимума $\xi_{mm} = \xi(t_m)$. Следовательно, при описании реализации $\xi(t)$ можно воспользоваться числом ее экстремальных значений, величиной экстремальных значений, длительностью временных интервалов между отдельными экстремумами. В точках максимумов и минимумов функции $\xi(t)$ производная этой функции $\xi'(t)$ пересекает нулевой уровень Н=0. При учете этой особенности многие характеристики экстремумов принципиально могут быть также рассмотрены как характеристики типа «пересечений уровней».

Ясно, что помимо названных характеристик интерес могут представлять пересечения траектории $\xi(t)$ с некоторой функцией $H(t)$, поведение производной $\xi'(t)$ в моменты выхода $\xi(t)$ за уровень Н, относительные длительности нахождения реализации $\xi(t)$ в заданных областях и ряд других. Характеристики, наиболее часто используемые в приложениях по анализу системы возникновения пожаров, сведены в таблице 2.

Число пересечений траекторией $\xi(t), t \in T$, заданного уровня Н (число выбросов)	$n(H,T)$, $n^{\pm}(H,T)$
Число экстремальных значений траектории термоточек (число максимумов, минимумов, ...)	$n_{экст}(T)$, $n_{\frac{макс}{мин}}(T)$
Высота локальных максимумов термоточек	ξ_m
Высота абсолютного максимума - супремума	ξ_{mm}
Время первого достижения заданной границы	$\tau_0(H)$
Относительная длительность пребывания траектории $\xi(t)$ в заданной области $\xi \geq H$ или $\xi \in [H_1, H_2]$	$t^+(H)$, $t(H_1, H_2)$
Длительность выбросов траектории $\xi(t)$ над уровнем Н	$t^+(H)$
Длительность интервалов между последовательными максимумов и минимумов траектории термоточек	τ_{M-m}

Необходимо подчеркнуть, что характеристики подобного типа являются функционалами, заданными на выборочных функциях случайного процесса, т.е. сами являются случайными величинами. При их анализе можно интересоваться матема-

тическими ожиданиями (средними значениями) $M\{...\}$, дисперсиями $D[...]$ или плотностями вероятностей $p(...)$ соответствующих величин.

Вся совокупность перечисленных характеристик принципиально может быть отнесена к характеристикам выбросов случайного процесса $\xi(t)$, так как в той или иной мере они отражают особенности временной структуры выбросов траектории $\xi(t)$, $t \in T$ на уровне Н. При иной интерпретации эти же характеристики можно отнести к характеристикам класса пересечений уровней. Более того возможен и еще один полезный способ представления (а, следовательно, и анализа) введенных характеристик. Последовательность особых точек траектории $\xi(t)$ можно интерпретировать как случайную последовательность событий (выбросов, максимумов, экстремумов, ...), происходящих во времени. Множество точек $\{t_i\}, i = 1, 2, 3, \ldots$, случайно распределенных на оси времени, образуют при этом поток случайных событий, т.е. случайный точечный процесс.

При решении этой практической задачи очень многое зависит от целей исследования, условий задачи, вида рассматриваемой вероятностной модели и вида изучаемых или используемых характеристик выбросов.

Рассмотрим анализ структуры флуктуационных процессов. Модели флуктуационных явлений весьма разнообразны, однако центральное место в теории флуктуаций занимает модель гауссовского процесса. Эту модель предложено использовать в данном приложении.

Предположим, что $\xi(t)$ - непрерывный стационарный гауссовский процесс с математическим ожиданием $m_\xi = M\{\xi(r)\} = 0$, дисперсией σ_ξ^2 и некоторой корреляционной функцией $R_\xi(\tau) = \sigma_\xi^2 r(\tau)$. Одномерная плотность вероятности такого процесса имеет вид

$$p_\xi(\xi; t) = \left(2\pi\sigma_\xi^2\right)^{-1/2} \exp\left(-\xi^2 / 2\sigma_\xi^2\right) \tag{1}$$

а совместная плотность вероятности для значений $\xi(t)$ и $\xi'(t) = d\xi(t)/dt$ записывается как

$$p(\xi, \xi'; t) = p_\xi(\xi; t) p_{\xi'}(\xi'; t) = \frac{1}{2\pi\sigma_\xi\sigma_1} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma_\xi^2} - \frac{\xi'^2}{2\sigma_1^2}\right) \tag{2}$$

где $\sigma_1^2 = \sigma_{\xi'}^2 = -\left.\dfrac{d^2 R_\xi(\tau)}{d\tau^2}\right|_{\tau=0} = -R_\xi''(0)$ - дисперсия производной $\xi'(t)$.

Результат (2) непосредственно следует из общий свойств производной $\xi'(t)$ стационарного случайного процесса $\xi(t)$ и известного свойства устойчивости гауссовского распределения при линейных преобразованиях (в данном случае при дифференцировании). По аналогии с формулой (2) может быть записана и совместная плотность вероятности для значений первой и второй производных $\xi'(t)$,

$\xi''(t)$ рассматриваемого процесса:

$$p(\xi', \xi'; t) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp\left(-\frac{\xi'^2}{2\sigma_1^2} - \frac{\xi''^2}{2\sigma_2^2} \right) \tag{3}$$

где $\sigma_2^2 = \sigma_{\xi''}^2 = d^4 R_\xi(\tau) / d\tau^4 \Big|_{\tau=0} = R_\xi^{(4)}(0)$ - дисперсия процесса $\xi''(t)$.

Выражения (1)-(3) являются достаточными исходными данными для вычисления основных характеристик траектории $\xi(t)$ $t \in [t_0, t_0 + T]$, гауссовского процесса:

$$N^+(H,T) = \frac{1}{2} N(H,T) = \frac{T}{\sqrt{2\pi}} \left[-r''(0) \right]^{1/2} \varphi(h),$$

$$h = H / \sigma_\xi,$$

$$T^+(H) = 1 - \Phi(h),$$

$$\bar{\tau}^+(H) = \frac{1}{N^+(H,1)} \left[1 - \Phi(h) \right] = \left(\frac{2\pi}{-r''(0)} \right)^{1/2} \frac{1 - \Phi(h)}{\varphi(h)},$$

$$N_{экст}(T) = 2N_{макс}(T) = \frac{T}{\pi} \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right) = \frac{T}{\pi} \left[-r^{(4)}(0) / r''(0) \right]^{1/2} \tag{4}$$

Для удобства численных расчетов характеристики (4) выражены через табулированные функции:

$$\varphi(x) = (\Phi' x) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-x^2/2),$$

$$\Phi(x) = (2\pi)^{-1/2} \int_{-\infty}^{x} \exp(-y^2/2) dy \tag{5}$$

Величина $[1 - \Phi(x)]\varphi^{-1}(x)$ известна как отношение Миллса и для гауссовского распределения также табулирована.

Обычно при изучении флуктуационных явлений интерес представляет зависимость характеристик вероятностной структуры $\xi(t)$ от спектрально-корреляционных свойств процесса $\xi(t)$. В данном случае эта зависимость определяется параметром:

$$-r''(0) = \sigma_\xi^{-2} \sigma_1^2 = \int_0^\infty \omega^2 S_\xi(\omega) d\omega \Big/ \int_0^\infty S_\xi(\omega) d\omega = \lambda_2. \tag{6}$$

При широкополосных процессах $\xi(t)$, когда спектральная плотность $S_\xi(\omega)$ сосредоточена вблизи частоты $\omega_0 = 0$, а нормированная корреляционная функция $r(\tau) = \rho(\tau)$ - некоторая монотонно убывающая функция *τ*, значение спектрального момента λ_2 полностью определяется эффективной шириной $\Delta\omega_Э$ и коэффициентом формы к спектральной плотности:

$$\lambda_2 = \kappa^2 \Delta\omega_Э^2 .$$

Если процесс $\xi(t)$ узкополосный и функция $R_\xi(\tau)$ имеет вид

$$R_\xi(\tau) = \sigma_\xi^2 r(\tau) = \sigma_\xi^2 p(\tau) \cos\omega_0\tau , \qquad (7)$$

$$\omega_0 \rhd \Delta\omega_Э$$

то значение

$$\lambda_2 = -\sigma_\xi^{-2} R_\xi''(0) = \omega_0^2 - p''(0) = \omega_0^2 + \kappa^2 \Delta\omega_Ý^2 \qquad (8)$$

При учете этих результатов формулы (4) в решении нашей задачи состояния системы возникновения пожаров по времени возможно выполнять детальный анализ вероятностной структуры флуктуационных гауссовских процессов.

Таким образом, имея модель, которая со временем будет уточняться на основе мониторинга из космоса системы возникновения пожаров, возможно будет предсказать пути ее развития и времени существования для своевременного принятия мер по предотвращению возможных пажаров в регионах СФО.

Литература

1. Коморовский В.С. Разработка ГИС-оринтированной системы поддержки принятия решений по тушению природных пожаров вблизи населенных пунктов и объектов защиты/ В.С. Коморовкий, А.В. Дудин// X Всероссийская конференция по теоретическим основам проектирования и разработки информационных систем (ПРИС-2012). – Красноярск, 2012. – с.78-80.
2. Андреев Ю.А. Профилактика, мониторинг и борьба с природными пожарами (на примере Алтае -Саянского экорегиона): справочное пособие / Ю.А. Андреев, А.В. Брюханов. – Красноярск, 2011. – 272 с.
3. Коморовский В.С. Методика расчета параметров лесных пожаров как динамических процессов на поверхности Земли, с использованием данных космического мониторинга/ В.С. Коморовский, Г.А. Доррер// Вестник СИБГАУ. – Красноярск. Вып. 3 (29) – с.47-51.
4. В.И. Тихонов, В.И. Хименко. Проблема пересечений уровней случайными процессами. Радиофизические приложения. Радиотехника и электроника, 1998, том 43, №5, с. 501-523.

Табл. 1. Сводная таблица термических точек на территории СФО по состоянию на 18.03.2014 года

Субъект	Всего на территории РФ				5 км зона населенных пунктов			Приграничная зона (15 км до гос. Границы)			Приграничная территория за пределами РФ		
	Кол-во ТТ	Кол-во П	ППО, га	ПГ, га	Кол-во ТТ	ППО, га	ПГ,га	Кол-во ТТ	ППО, га	ПГ, га	Кол-во ТТ	ППО, га	ПГ, га
Забайкальский край	173	144	48514	118412	96	27617	73550	8	3261	12839	0	0	0
Иркутская обл.	1	1	386	386	1	386	386				0	0	0
Кемеровская обл.	1	1	222	222	1	222	222				0	0	0
Красноярский край	3	3	1014	1014	3	1014	1014				0	0	0
Респ. Бурятия	6	5	1744	1744	1	142	142				0	0	0
Респ.Хакасия	19	12	4719	7540	19	4719	7540				0	0	0
Итого за СФО	203	166	56599	129318	121	34100	82854	8	3261	12839	0	0	0

- ПГ – площадь гарей (сумма площадей контуров пожаров)
- ППО – площадь пройденная огнем (сумма площадей контуров термических точек)

По средствам космического мониторинга на территории округа выявлено 203 термические точки, из них:

15 – сжигание отходов (мусор, порубочные остатки) (Забайкальский край – 14, Республика Бурятия – 1);

54 – неконтролируемый пал растительности (Забайкальский край – 33, Красноярский край – 3, Республика Бурятия – 5, Республика Хакасия - 13);

127 – контролируемые отжиги растительности (Забайкальский край – 123, Республика Хакасия – 4);

1 – горение факела (Иркутская область);

1 – техногенный пожар (Кемеровская область);

5 – не подтвердилась (Забайкальский край – 3, Республика Бурятия – 2).

В 5 км зоне от населенных пунктов зарегистрировано 121 термическая точка (Забайкальский край – 96, Иркутская область – 1, Кемеровская область – 1, Красноярский край – 3,Республика Бурятия – 1, Республика Хакасия – 4). Угрозы населенным пунктам нет.

В приграничной зоне на территории РФ зарегистрировано 8 термических точек на территории Забайкальского края.

В приграничной зоне за пределами РФ термических точек не зарегистрировано.

Прогнозирование последствий опасности использования космических аппаратов с ядерным реактором

В.В. Двирный[1], М.В. Елфимова[2], Г.В. Двирный[2], В.В. Голованова[3], Д.О. Козлов[1]

[1]ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет
[2]ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России
[3] ФГУП Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В. Фрунзе

Несмотря на небольшой возраст ядерной энергетики после открытия Чедвиком нейтрона в лаборатории Резефорда в Кембриджском университете в 1932 г. в мире в настоящее время широко используются ядерные силы. С управляемых ядерных реакций началась эра и военного, и мирного атома. Были созданы атомные и водородные бомбы, атомные ледоколы, подводные лодки и электростанции, стали применяться ядерные энергетические установки (ЯЭУ) в космических аппаратах (КА).

Проблема оснащения космических аппаратов надежными системами энергообеспечения стала очевидной почти сразу после запусков первых искусственных спутников Земли.

Одним из предложений для решения данной проблемы с высокой эффективностью является использование ядерных источников энергии. Но их применение на космических аппаратах сопряжено с решением большого комплекса проблем обеспечения радиационной безопасности – как биосферы Земли на участке выведения спутника, так и полезной нагрузки КА в космическом пространстве.

Впервые эксперимент с ЯЭУ SNAP-10A одноименного аппарата проведен в апреле 1965 г. в течение 90 суток при этом прошла отработка безопасного выведения КА с ЯЭУ на орбиту.

Реактор SNAP-10A (System of Nuclear Auxiliary Power - Система дополнительного ядерного питания; общее наименование программы космических реакторов и радиоизотопных генераторов) был разработан в компании Boeing по заказу ВВС и Комиссии по атомной энергии США. Он работал на тепловых нейтронах и использовал уран-235 в качестве топлива, гидрид циркония как замедлитель и натрий-калиевый жидкий теплоноситель. Тепловая мощность реактора составляла, по разным источникам, от 39.0 до 45.5 кВт. Термоэлектрический преобразователь обеспечивал выходную электрическую мощность от 500 до 650Вт. [1]

В России по характеристикам, но не по конструкции, термоэлектрический реактор- преобразователь «Ромашка» был создан под руководством М.Д.Миллионщикова и Н.Н.Пономарева-Степного и впервые запущен в Институте атомной энергии (ИАЭ, ныне Российский научный центр «Курчатовский институт») в августе 1964 г. Основой установки был реактор на быстрых нейтронах с тепловой мощностью 40 кВт, использующий в качестве топлива карбид урана при температуре в активной зоне 1770°С. Термоэлектрический преобразователь на кремний-германиевых полупроводниковых элементах, расположенный снаружи отражателя реактора, преобразовывал в электрическую энергию часть выделяемого тепла - до 800 Вт.

Первый опыт решения этих задач в нашей стране был получен при запуске в космос космических аппаратов с радиоизотопными источниками энергии. В 1965 г. были запущены два экспериментальных КА связи типа «Стрела-1» с радиоизотопными термоэлектрическими генераторами (РИТЭГ) «Орион-1», работающими на полонии-210. Вес генераторов составлял 14,8 кг, электрическая мощность – 20 Вт, срок работы – 4 месяца. В последующие годы проводились работы, направленные на повышение мощности и ресурса РИТЭГ для луноходов и автоматических межпланетных станций. В то же время разработанные конструкции отличались между собой применяемыми изотопами, термоэлектрическими материалами, конструктивными формами и т.п. Все это значительно усложняло и удорожало создание подобных энергетических установок (ЯЭУ).

Применение ЯЭУ в космосе предусматривает их использование только в тех сферах, где нет возможности решить задачу с помощью других источников энергии.

Главным источником энергии на околоземных орбитах являются солнечные элементы, мощность и КПД которых за последнее время значительно выросли. Если еще несколько лет назад разработчики ЯЭУ ориентировались на уровень мощности 20 кВт, то сегодня такой уровень обеспечивается солнечными источниками энергии. В то же время для полетов в дальний космос использование ядерных энергетических установок практически не имеет альтернативы. Для таких масштабных проектов, как экспедиция на Марс, преимущество использования ядерной энергетики не вызывает сомнений. Причем ЯЭУ может служить не только источником энергии для жизнеобеспечения экипажа и питания аппаратуры, но и средством, обеспечивающим движение, в том числе с помощью ядерного ракетного двигателя. [2]

В соответствии с современными представлениями это может быть транспортно-энергетический модуль, обеспечивающий вывод аппарата на орбиту или возможность смены орбиты. Такая двухрежимная установка с уровнем мощности около 100 кВт обеспечит вывод космического корабля на рабочую орбиту, и уже там обеспечит энергопитание на более низком уровне мощности.

В 1998 г. Правительство Российской Федерации приняло постановление «О концепции развития космической ядерной энергетики в России». Эта Концепция направлена на сохранение лидирующих позиций России в области космических ядерных технологий, высококвалифицированных кадров, уникальной экспериментальной и производственно-технологической баз, инфраструктуры научных центров и предприятий, которые осуществляют работы в данной области [3].

Таким образом, сейчас наблюдается настоящий ренессанс космической ядерной энергетики – для решения амбициозных энергоемких задач на околоземной орбите и в дальнем космосе требуется колоссальная энергия, дать которую в настоящее время способны только ядерные энергетические установки. При должном финансировании и внимании мирового ученого сообщества к этой технологии человечество уже в ближайшей перспективе будет способно подойти к промышленному освоению космоса, пилотируемому полету на Марс и исследованию дальних планет.

При эксплуатации ядерно-энергетических установок возникают проблемы, из которых одна из важнейших это обеспечение радиационной безопасности после окончания срока активного существования.

Вопросы, связанные с использованием КА с ядерными энергетическими источниками, в том числе ядерными реакторами, обсуждались в ООН. Был сделан вывод о возможности их безвредного применения в космическом пространстве при условии соблюдения соответствующих мер безопасности, главной из которых является использование «орбит высвечивания». Иногда их называют орбитами длительного существования. На орбитах длительного существования, имеющих высоты 800—1000 км, происходит распад радиоактивных материалов до приемлемого уровня, гарантирующего при возвращении на Землю допустимые дозовые эквиваленты, рекомендованные Международной комиссией по радиологической защите для неаварийных условий.

Содержание радиоактивных изотопов продуктов деления 235U в реакторе определяется тепловой мощностью и ресурсом функционирования в активированном состоянии. Для реактора- преобразователя «Топаз» с тепловой мощностью 180 кВт активность продуктов деления (Ku) в зависимости от времени выдержки после выключения ЯЭУ приведена в таблице 1. При этом оценивались два ресурса функционирования ядерного реактора — 90 сут и 2 года. [1]

Согласно теории ядерных превращений Резерфорда, уже через три года выдержки ядерного реактора после его выключения продукты деления 235U определяются изотопами: стронций-90 + иттрий; рутений-106 + родий-106; цезий-137; церий-144+ празеодим-144; прометий-147 и европий-155. Периоды полураспада стронция-90 и цезия-137 составляют около 30 лет, в то время как остальные вещества, входящие в состав продуктов деления 235U, имеют периоды полураспада в диапазоне от 0,78 до 2,64 года. После выдержки около 100 лет в реакторе из продуктов деления остаются только изотопы: стронций-90 и цезий-137, причем мощность дозы γ- излучения от реактора определяется в основном активностью цезия-137.

Данное обстоятельство обусловило необходимость определения требуемого времени существования ядерного реактора на орбите высвечивания. Это время рассчитывается по начальной активности цезия-137 (*Qo*) на момент выключения реактора при его допустимой остаточной активности (*Qдоп*) :

$$Q_0=1{,}314NT\,(K_u); \quad (1)$$

$$Q_{доп}=(Q_{доп})\,e^{\lambda t}\,(K_u), \quad (2)$$

где *N* — тепловая мощность ядерного реактора, кВт; *T* — ресурс функционирования ядерного реактора в активированном состоянии, год; *T* — время высвечивания ядерного реактора после отключения, год; λ — постоянная распада цезия-13 7, год-1.Расчеты показывают, что для КА с ядерным реактором «Топаз» при времени активного функционирования 90 сут требуемое время существования на орбите высвечивания равняется 270 лет. В случае если активное функционирование реактора достигает 2 лет, то время высвечивания становится равным 360 лет.

Активность продуктов деления [Ku] в зависимости от времени выдержки после выключения ЯЭУ

Табл. 1

Время, сут	Ресурс	
	90 сут	2 года
0	455 000	488 000
1	136 000	168 000
10	62 750	93 200
360	2470	10 180
1080	585	3440
1800	304	2124
360 лет	0,014	0,119

Для анализа радиационной опасности, которую может представлять КА с ядерным реактором при приземлении после высвечивания на орбите длительного существования около 300 лет, следует рассмотреть различные ситуации, приводящие к некоторому облучению ограниченной части населения в зависимости от степени аэродинамического разрушения реактора при спуске в атмосфере, его механического разрушения и заглубления при ударе о поверхность воды или грунта.

В случае падения КА или отделившегося ядерного реактора в населенный пункт или в зону производственной деятельности человека он в целом или разрушенном виде будет довольно быстро обнаружен и утилизирован.

Рассмотрим два предельных варианта:

Реактор после падения и незначительного заглубления в грунт, снег или воду не обнаружен в течение 10 сут. Минимальное расстояние, на котором могут постоянно находиться люди, определяется линейным параметром жилой постройки, составляющим 8-10 м.

Расчет дозы облучения Д (бэр) осуществляется по формуле:

$$Д = \frac{Q_{доп} \cdot K_{\gamma}}{R^2} \cdot F(\gamma pr) \cdot \frac{1}{k} \cdot t$$

где $Q_{доп}$.– допустимая активность, МКи; Кγ – у-постоянная изотопа, R-расстояние, F(γpr) — коэффициент самопоглощения γ-излучения в реакторе с учетом многократного рассеяния; *к* — коэффициент ослабления γ-излучения в жилой постройке, грунте, воде; *t* — продолжительность облучения.

При $Q_{доп}$.= 119 МКи; $K\gamma$= 3,1; $F(\gamma pr)$ = 0,25; *R* = 1000 см; *k* = 1; *t* = 240 ч максимальный уровень облучения некоторого контингента населения не превысит 0,022 бэр, что составляет приблизительно 20 % от годовой дозы облучения за счет естественного радиоактивного фона местности (порядка 0,1 бэр/год). Если учесть, что площадь, ограниченная изолинией, соответствующей 20 % от уровня фона, лежит в пределах площади круга от упавшего реактора радиусом 63 м, то ясно, что контингент облучаемых лиц крайне ограничен.

Реальные дозы облучения должны быть ниже с учетом ослабления у-излучения в жилой постройке *(к* > 2), а также в грунте и воде. Например, *к*= 100 для слоя почвы 0,5 м и слоя воды 1,0 м.

В другом предельном случае предполагается, что КА с реактором приземлился вблизи населенного пункта, место его падения было обнаружено и отдельные лица непосредственно контактируют с реактором или его фрагментами. Время возможного контакта на расстоянии 1 м составит не более 1 сут до его изъятия и утилизации. Уровни облучения отдельных лиц при таком контакте составят около 0,2 бэр, что приблизительно в 2,5 раза ниже предела дозы 0,5 бэр для ограниченной части населения, действующего на момент разработки ЯЭУ.

Таким образом, возможные уровни облучения при падении ядерного реактора после его высвечивания на орбите длительного существования не принесут вреда здоровью человека. Разрушение КА с реактором и разброс ядерного топлива также не представляют опасности для внутреннего облучения организма человека, т. к. растворимость топлива UO2 в окружающей среде чрезвычайно мала. Вероятность выхода изотопов урана и цезия-137 из топлива в окружающую среду при нормальных атмосферных условиях близка к нулю, поэтому их миграция по биологическим (пищевым) цепочкам практически отсутствует.

Литература

1. А.В. Романов. Теория комплексной оптимизации проектирования космических аппаратов с ядерными термоэмиссионными энергетическими установками./ Под ред. Б.И. Полетаева, А.П. Ковалева.-СПб.: ООО «НПО «Профессионал», 2010.-474 с.
2. В.В. Двирный, Г.В. Двирный, Д.О. Козлов, Е.С. Сидорова, Е.А. Кокорина. Возможность применения ядерных энергетических установок в космических аппаратах и проблемы транспортировки.Журнал Интеллект и наука./ Труды XIII Международной молодёжной научной конференции. г. Железногорск.-11с.
3. Журнал «Атомная стратегия» № 30, июнь 2007 г.

Анализ сложившейся пожарной обстановки на территории республики Хакасия в апреле 2015 г.

С.С. Мещеряков, С.А. Савельева

ФКУ «ЦУКС СРЦ МЧС России»

На территории Республики Хакасия в связи с интенсивным прогреванием воздуха уже в апреле этого года среднесуточные температуры стали положительными и достигали значений до +10+15, местами до +22 с отсутствием достаточного количества осадков.

На фоне метеорологических условий на территории Республики сформировался 2-ой, а местами и 3 классы пожарной опасности, благоприятствующие возникновению пожаров в степной и лесной зонах.

Аналогичные погодные условия наблюдались в указанный период и на территории южных районов Красноярского края, Республики Тыва.

Указанные метеорологические условия стали предпосылкой возникновения чрезвычайной ситуации на территории Республики Хакасия.

Прогноз (№120-6-14 от 25.03.2015г) высокой горимости территории Республики был направлен заблаговременно до начала пожароопасного периода, еще в марте, где были определены территории на которых ожидается раннее формирование среднего III класса пожарной опасности (КПО) и в ряде районов высокого (IV КПО). К таким территориям были отнесены: республики Хакасия, Тыва, Бурятия, Забайкальский край и Иркутская область.

Об ухудшении обстановки на территории республики так же было доведено последующими еженедельными прогнозами от 2 апреля 2015 года №130-6-12, от 9 апреля №137-6-12 и ежедневными прогнозами.

С 1 по 20 апреля на территории Республики зарегистрировано 436 термических точек, это на 13 термоточек больше аналогичного периода прошлого года:

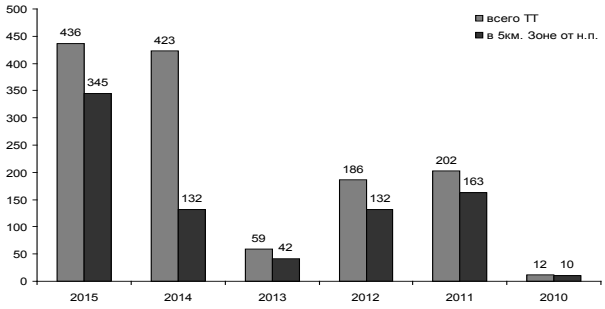


Рис.1 Распределение общего количества возгораний и вблизи 5 км от населенных пунктов на территории Республики Хакасия в апреле 2010 по 2015 года

Количественно возгорания в степной территории превышают возгорания в лесной зоне (Рис.2) из чего видно, что в основном доминируют низовые беглые пожары, на долю которых ежегодно приходится от 70 до 80 % и более.

Рис.2

Уже с начала апреля, регистрируется резкое нарастание термических точек, что видно из графика динамики возникновения возгораний, чему способствовали метеорологические показатели, при этом из всех зарегистрированных возгораний 79% обнаружено в 5 километровой зоне.

Помимо сухой фазы климатического цикла территория Хакасии имеет высокий коэффициент рекреационной нагрузки – 0,6, что становится ежегодно основной причиной возгорания, высокая горимость наблюдалась на территории следующих районов: Алтайского, Ширинского, Усть-Абаканского, Аскизского, Орджоникидзевского, Боградского, Бейского.

Основная доля пожаров приходится на выходные дни, сухая и теплая погода установившаяся на территории привела к росту очагов возгораний. Так в пятницу 3 апреля обнаружено 11 возгораний, а уже в субботу 4 апреля - 51 возгорание. Периодическая облачность в последующие дни стала причиной не полного выявления возгораний на территории республики, поэтому 11 апреля зарегистрировано 8 возгораний, а 12 апреля в воскресенье при рассеивании облачности было уже зарегистрировано –105 очагов (Рис.3,4).

12 апреля на территории Республики, резко ухудшилась метеорологическая обстановка, опасным явлением явилось усиление порывов ветра до 31 м/с (метеостанция Шира на 16.00 местного вр).

Информация о вновь выявленных очагах на территории Республики Хакасия поступила в Центр мониторинга и прогнозирования после пролета спутника TERRA в 07:15 московского вр, через облачность были зарегистрированы хорошо просматриваемые точки вероятного возгорания на территории двух районов Орджоникидзовского, Ширинского, далее информация со спутников проходила в 08:53, 09:04 и 10:43 московского вр.

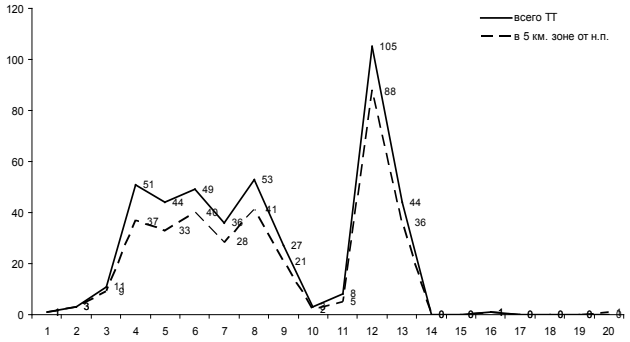


Рис.3 Динамика возникновения возгораний на территории Республики Хакасия с 1 по 20 апреля 2015 года

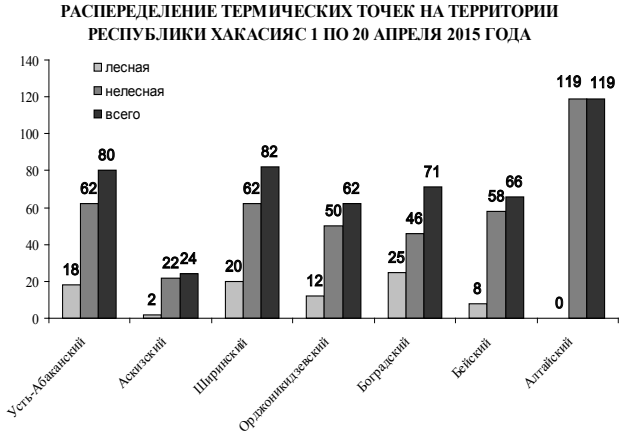


Рис.4

За 12 апреля на территории Республики было зарегистрировано 105 точек вероятного возгорания, из которых 85% подтверждены как действующие очаги, 84% действовали на удалении менее 5 км от населенных пунктов.

Они были классифицированы как неконтролируемый пал – 94%, при этом 5% термоточек не проверялись.

Первый переход пожара на населенные пункты зарегистрирован в 07:40 мск. произошло возгорание 6 жилых домов в н.п. Целинное Ширинского района, в н.п. Трошкино Ширинского района произошло возгорание 8 домов.

Таким образом из-за неудовлетворительно проведённых мероприятий органами местного самоуправления по противопожарному обустройству территорий прилегающих к землям лесного фонда и неорганизованному взаимодействию с органами лесного хозяйства не были вовремя проведены работы по тушению лесных пожаров и не были проведены предупредительные мероприятия для нераспространения огня на населённые пункты, садоводческие общества, что привело к переходу пожаров на населенные пункты.

Переходы огня на населенные пункты не могли быть неожиданным фактом стихийного природного бедствия, так как после полной съемки спутниками территории Хакасии, только 33 точки вероятного возгорания возникли именно 12 апреля, остальные 57 действовали более 2-х суток, они составили 63%.

Штормовое предупреждение об усилении ветра с порывами до 25 м/с на территории Республики Хакасия было получено от Среднесибирского УГМС в телефонном режиме в 07:15 МСК, на основании чего было подготовлено Экстренное предупреждение о вероятном возникновении ЧС, вызванных неблагоприятными метеорологическими явлениями, отправка документа прошла в 07:35 МСК, электронной почтой.

Выводы:

Не смотря на разрыв между приемами ночного и дневного времени данных различных спутников, наличии облачности на территории Республики Хакасии, ЧС сложившаяся на территории не была не предвиденной о чем свидетельствует вся:

1. Прогнозная информация на год, месяц, неделю и на предстоящие сутки.
2. Информация, по космическому мониторингу включающая в себя:
   - обзорные снимки высокотемпературных пожаров;
   - обзорные снимки пожаров с дымовыми шлейфами;
   - карты схемы термических точек;
   - карты схемы облачности;
   - карты схемы количества осадков;
   - карты схемы пожарной опасности;
   - сводная таблица пожаров с учётом 5 км зоны удаления населённого пункта от пожара;
   - сводную таблицу по степени градации опасности природных пожаров.
3. Ежедневные бюллетени погоды, прогнозов зон и периодов (сезонов) высокой и чрезвычайной пожарной опасности.
4. Информация, получаемая непосредственно Главным управлением по Республике Хакасия от авиационной базы по охране лесов субъекта.
5. Вся информация, ежедневно, доводилась, согласно, установленного регламента, сбоя в получении информации не зафиксировано.
6. Вместе с тем необходимо сказать, что даже при наличии небольшой облачности и соответственно отсутствия охвата всей территории по выявлению

очагов возгораний, в течение долгого периода, работа по ликвидации выявленных и подтвержденных очагов не проводилась, чему свидетельствуют повторные термические точки, сроком действия от 2-х и более суток.

7. Кроме этого, в соответствии с Федеральным законом выпуск экстренной информации осуществляют только федеральный орган исполнительной власти в области гидрометеорологии и смежных с ней областях и его территориальные органы. В нашем случае доведение экстренной информации должно было пройти через ФП РСЧС – ШТОРМ – одна из задач – это оперативное доведение экстренной информации (штормовых предупреждений) об ожидаемых опасных гидрометеорологических явлениях органам государственной власти, органам управления РСЧС и населению.

Для заметок:

Для заметок:

Для заметок:

Научное издание

Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций

Материалы V Всероссийской научно-практической конференции
17 июня 2015 года

СОСТАВИТЕЛИ:

МЕЛЬНИК Антон Анатольевич,

БАТУРО Алексей Николаевич,

ИВАНОВ Дмитрий Владимирович,

ГУЛЯЕВА Елена Валерьевна,

КАЛЮЖИНА Жанна Сергеевна

Материалы публикуются в авторской редакции.

Подписано в печать 10.12.2015.

Тираж 100.