

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы

Сибирский филиал



**Мониторинг, прогнозирование и моделирование
опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций**

Материалы научно-практического семинара
15 июня 2011 года

г. Железногорск
2011

УДК 634.0.43

ББК 43.488

Мониторинг, прогнозирование и моделирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Материалы научно-практического семинара. г. Железногорск, 15 июня 2011 года / Составители: Мельник А. А., Домрачев А. А., Калюжина Ж. С. – Железногорск, 2011. – 168 с.

15 июня 2011 года в Сибирском филиале Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России состоялся научно-практический семинар «Мониторинг, прогнозирование и моделирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций».

В сборнике представлены представленные материалы семинара, охватывающие следующие направления:

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

Издание предназначено для студентов и преподавателей ВУЗов, специалистов и всех интересующихся развитием культуры безопасности в российском обществе.

ISBN 978-5-904140-25-0

УДК 634.0.43

ББК 43.488

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России
Сибирский филиал

Содержание

Состояние системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций Сибирского региона	5
<i>С.С. Мецераков, С.Ю. Черных</i>	
ЭСПЛА-ПРО: программный интегратор системы мониторинга и поддержки принятия решений ГУ МЧС РФ по Красноярскому краю	13
<i>В.В. Ничепорчук, Л.Ф. Ноженкова</i>	
Информационно-психологическая безопасность населения в условиях чрезвычайной ситуации	22
<i>О.В. Бервенова</i>	
Рост бактериопланктона на органических почвенных экстрактах береговой зоны обрушения красноярского водохранилища и математическое моделирование	26
<i>Н.Н. Дегерменджи, И.И. Гительзон, А.Г. Дегерменджи</i>	
Оценка динамики растительности спутниковыми методами (результаты работы лаборатории экологической информатики ИБФ СО РАН)	33
<i>М.Ю. Чернецкий, А.П. Шевырногов</i>	
Использование биоиндикаторов для мониторинга радиоактивного загрязнения бассейна реки Енисей	43
<i>А.Я. Болсуновский, Д.В. Дементьев</i>	
Нормативно-правовое обеспечение тушения лесных пожаров	52
<i>Г.А. Доррер, В.С. Коморовский, С.П. Якимов</i>	
Метод оценки возможности воспламенения строений в населенных пунктах от лесных пожаров	60
<i>Г. А. Доррер, В.С. Коморовский</i>	
Основные принципы разработки стратегии по защите ООПТ в Алтае-Саянском экорегионе от антропогенных и катастрофических природных пожаров	65
<i>А.В. Брюханов, А.С. Шишкин, В.А. Иванов, Е.И. Пономарев</i>	

Непараметрическое моделирование лавинообразных процессов	71
<i>А.В. Медведев</i>	
Подход к оптимизации технологий тушения лесных пожаров	81
<i>С.В. Комиссаров, С.Н. Орловский</i>	
Возможное применение аэрокосмического мобильного комплекса для круглосуточного космического мониторинга пожаров	91
<i>В.В. Двирный, М.В. Елфимова, А.С. Исакова, Е.А. Симонов, В.Е. Чеботарев</i>	
Из опыта ликвидации открытых нефтяных и газовых фонтанов с возгоранием	97
<i>Н.Д. Булчаев, Е.В. Безверхая, А.В. Минеев</i>	
Система дистанционного мониторинга пожаров и земель агропромышленного комплекса	104
<i>Н.А. Тестоедов, В.И. Лавров, В.В. Двирный, М.В. Елфимова, А.С. Исакова, М.В. Валов</i>	
Оценка параметров крупных лесных пожаров по данным космического мониторинга	110
<i>Г.А. Доррер, А.А. Мельник, С.П. Якимов</i>	
Разработка базы данных в задаче мониторинга и прогнозирования наводнений	122
<i>А.А. Бурцев</i>	
Разработка регламента выполнения противопожарных мероприятий в зависимости от прогнозируемой пожарной опасности	130
<i>А.Н. Батуро, Н.В. Мартинович, А.А. Мельник</i>	

Состояние системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций Сибирского региона

С.С. Мецераков, С.Ю. Черных

Центр мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера центра управления в кризисных ситуациях Сибирского регионального центра МЧС России

Представлен доклад об основных направлениях деятельности центра мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера. Дополнительно рассмотрен вопрос об идентификации и порядке реагирования на возгорания, обнаруженные космическим мониторингом.

Работа центра мониторинга и прогнозирования ЧС организована на основании:

- положения о функциональной подсистеме мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС (Приказ МЧС России № 94 от 04.03.2011);
- постановления правительства № 794 от 30.12.2003 г. (о единой государственной системе предупреждения и ликвидации ЧС);
- приказа МЧС России № 632 от 31.12.2002г. (о видах формируемых прогнозов и сроках их предоставления).

1. Основными задачами Центра являются:

1. Организация мероприятий по мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.
2. Оперативный сбор, обработка и анализ информации о потенциальных источниках чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.
3. Прогнозирование возникновения ЧС, развития ЧС, и их последствий на основе оперативной фактической и прогностической информации, поступающей от взаимодействующих структур (УГМС, БВУ, филиалы ГС РАН, ОПОКИ, авиалесоохрана, ОДУ «Сибири», энергетических компаний (МРСК Сибири, МЭС Сибири).
4. Доведение информации об угрозе ЧС до ГУ, ЕДДС, глав МО, Центра «Антистихия» и НЦУКС, а так же контроль выполнения превентивных мероприятий.
5. Разработка и использование картографического материала в ГИС системах, моделей.

6. Ведение базы ЧС и происшествий по природным, техногенным, биолого-социальным рискам.

2. Межрегиональная система мониторинга и прогнозирования ЧС

Центр мониторинга входит в состав ЦУКС регионального центра.

Численность по штату 15 человек, состоит из 2 отделов:

- отдел мониторинга и прогнозирования (3 офицера, 7 гражданских служащих);

- отдел сбора и обработки информации (дежурная смена - 5 чел.)

В состав Сибирского федерального округа входят 12 субъектов Российской Федерации.

Территориальные центры мониторинга созданы:

- при администрациях субъектов в Новосибирской, Кемеровской областях, Республиках Бурятия, Тыва;

- при Главных управлениях МЧС России в Омской области, Забайкальском, Красноярском краях, Республиках Хакасия и Алтай;

- при администрациях и Главных управлениях одновременно в Иркутской, Томской областях, Алтайском крае.

Круглосуточное дежурство организовано во всех субъектах, кроме Республик Алтай и Тыва (из-за низкой штатной численности).

Таблица 1. Штатная численность центров мониторинга и прогнозирования ЧС в Сибирском Федеральном округе

№	Субъект	Наименование учреждения	Численность по штату/ фактически
1	Региональный центр мониторинга и прогнозирования ЧС	Отдел мониторинга и прогнозирования ЧС	15 / 14
		Отдел сбора и обработки информации	
2	Алтайский край	Центр мониторинга и прогнозирования ЧС КГУ Управление по обеспечению мероприятий в области ГО ЧС и ПБ	16 / 14
		Отдел мониторинга и прогнозирования ЦУКС МЧС России	
3	Республика Алтай	Управление гражданской защиты ГУ МЧС России	1 / 1
4	Омская область	Отдела мониторинга и прогнозирования ГУ «ЦУКС МЧС России по Омской области»	4 / 5
5	Томская область	ОГУ «Управление по делам ГО, ЧС и ПБ Томской области», Отдел мониторинга и прогнозирования	7 / 6

5	Томская область	Группа мониторинга и прогнозирования Государственного учреждения «ЦУКС МЧС РФ по Томской области»	7 / 6
6	Новосибирская область	Отдел мониторинга и прогнозирования ЧС Гос. учреждения «Центр по обеспечению мероприятий в области гражданской обороны, чрезвычайных ситуаций и пожарной безопасности»	11 / 10
7	Кемеровская область	Территориальный центр мониторинга и прогнозирования ЧС	39 / 36
8	Республика Хакасия	Отдел мониторинга и прогнозирования ЦУКС МЧС России	6 / 5
9	Республика Тыва	Группа мониторинга и прогнозирования в составе ЦУКС Агентства ГО и ЧС Республики Тыва	2 / 2
10	Красноярский край	Отделение мониторинга и прогнозирования ГУ «ЦУКС МЧС России по Красноярскому краю»	4 / 4
11	Иркутская область	Группа мониторинга и прогнозирования ЧС ОГКУ «Центр ГОЧС и ПБ»	7 / 6
11	Иркутская область	Отделение мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций ЦУКС МЧС России	7 / 6
12	Республика Бурятия	Государственное учреждение Республики Бурятия по делам ГО, ЧС и ПБ	5 / 5
13	Забайкальский край	Отдел мониторинга и прогнозирования ЦУКС МЧС России	6 / 6

В рамках единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (согласно постановления правительства № 794 от 30.12.2003 г.) организован обмен информацией в области мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Для этого на межрегиональном и территориальном (субъектовом) уровне центрами мониторинга заключены соглашения об информационном обмене с организациями, входящими в единую систему предупреждения и ликвидации ЧС.

С целью наблюдения и прогнозирования за источниками ЧС природного характера организован мониторинг за опасными гидрологическими, метеорологическими явлениями, сейсмическими событиями, геолого-геофизическими явлениями, лесопожарной обстановкой, лавиноопасной обстановкой, параметрами водной среды.

На межрегиональном уровне:

Для получения информации об опасных гидрометеорологических явлениях отлажено взаимодействие с Управлениями по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Обь-Иртышским, Западно-Сибирским, Среднесибирским, Иркутским и Забайкальским).

Информация о сейсмической обстановке поступает от Алтае-Саянского и Байкальского филиалов геофизической службы Сибирского отделения РАН, Красноярского НИИ геологии и минерального сырья, геофизической службы СО РАН (г. Обнинск).

Геолого-геофизический мониторинг основан на данных ОАО «Томскгеомониторинг» (г. Томск).

Информационную основу лесопожарной обстановки составляют донесения Красноярского филиала Национального ЦУКС по космическому мониторингу, классы пожарной опасности Гидрометцентра. Кроме того, используются данные региональных диспетчерских управлений агентств лесного хозяйства субъектов РФ, Департамента лесного хозяйства по Сибирскому федеральному округу (г. Новосибирск).

Информация о лавиноопасной обстановке поступает (через ГУ МЧС России) от Красноярского противолавинного центра Среднесибирского УГМС (г. Красноярск), Северобайкальского противолавинного центра Забайкальского УГМС (г. Северобайкальск), центров диагностики пути Восточно-сибирской ЖД (Дельбичинда, г. Иркутск), Красноярской ЖД (г. Междуреченск).

В целях отслеживания параметров работы ГЭС и их последствий для нормальной жизнедеятельности населения организован сбор информации с 2-мя представителями Федерального агентства водных ресурсов – это Енисейское и Верхне-Обское бассейновые водные управления. Еженедельно (ежемесячно) вопрос об установлении режимов работы основных ГЭС (т.е. сбросные расходы) решается на межведомственном совещании в Енисейском и Верхне-Обском бассейновых водных управлениях.

Для повышения оперативности и эффективности мер по реагированию на ЧС **обусловленных авариями на энергетических системах информация поступает от** ОДУ Сибири (Объединенным диспетчерским управлением энергосистемами Сибири), МРСК Сибири, Открытого акционерного общества «Федеральная сетевая компания Единой Энергетической системы» (ОАО «ФСК ЕЭС»).

3. Мониторинг и прогнозирования ЧС

В целях предупреждения ЧС и обеспечения информационной поддержки при ликвидации ЧС, а также для своевременного принятия

управленческих решений в ЦМП формируются прогнозы ЧС различной заблаговременности (на основании приказа МЧС России № 632 от 31.12.2002 г.):

- долгосрочный прогноз ЧС на год;
- долгосрочный прогноз циклических ЧС на осенне-зимний период;
- долгосрочный прогноз циклических ЧС, обусловленных весенним снеготаянием;
- долгосрочный прогноз циклических ЧС, обусловленных природными пожарами;
- среднесрочный прогноз ЧС на месяц;
- краткосрочный недельный прогноз ЧС;
- оперативный ежедневный прогноз ЧС;
- экстренное предупреждение – немедленно после получения исходной информации и составления его текста.

Сформированные прогнозы представляются, как в органы МЧС России, так и в учреждения и организации различной ведомственной принадлежности, что позволяет заблаговременно принимать управленческие решения, направленные на снижение риска и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций.

За 2011 г. было сформировано экстренных предупреждений:

- по комплексам неблагоприятных и опасных метеорологических явлений: *всего – 26, оправдалось – 23;*
- экстренное предупреждение по угрозе подтопления: *всего – 13, оправдалось – 7.* В период весеннего половодья наблюдалось подтопление 7 населенных пунктов, из них 5 были спрогнозированы ежедневным прогнозом и экстренными предупреждениями;
- оперативные предупреждения по лавинам: *всего 3, оправдалось 2;*
- оперативная информация о зафиксированных термических точках: *всего – 96.*

4. Базы данных

В региональном центре мониторинга созданы и осуществляется сопровождение следующих БД:

- происшествий и ЧС техногенного, природного и биолого-социального характера, имевших место на территории СФО;
- сейсмических событий;
- параметров работы основных ГЭС (по данным бассейновых водных управлений);
- аварий и отключений на объектах энергетики (по сводкам ОДУ Сибири, МРСК Сибири).

По ЧС база данных ведется с 1999 года, по происшествиям – с 2001 года. Анализ информации, содержащейся в БД, позволяет выяснить основные источники ЧС для определенного места (с детализацией до уровня административного района) и времени в округе. Сведения из БД используются при составлении долгосрочных и среднесрочных прогнозов ЧС: на год, месяц, прогнозов циклических ЧС.

5. Наличие и применение цифровых карт в ГИС системах

В региональном центре мониторинга имеются в наличии электронные карты территории Сибирского региона векторного формата масштаба 1:1000 000 и 1:200 000.

Имеются специализированные слои карт (shape) которые характеризуют регион по видам: опасности, рельефа, растительности, населенных пунктов, потенциально опасных объектов, гидрологической составляющей. Электронные карты активно применяются при анализе гидрологической обстановки (рис. 1) и лесопожарной обстановки (рис. 2).

Из отдела приема и обработки космической информации ежедневно, в лесопожарный период, получаем информацию о термических точках и облачности в векторном виде, что позволяет накладывать эту информацию на карту региона и проводить тщательный анализ при угрозе лесных пожаров населенным пунктам и объектам экономики.

В паводкоопасный период с помощью электронной карты центр мониторинга отслеживает прохождение весеннего половодья. Широко используются карты и при составлении прогнозов различной срочности: ежемесячные, циклические, годовые.

6. Космический мониторинг

В режиме повседневной деятельности Центром мониторинга и прогнозирования ЧС обрабатываются и анализируются космические снимки и сведения по обнаруженным термическим точкам:

- для определения координат, площадей лесных и степных пожаров;
- для визуализации масштабов пожаров;
- для определения местоположения кромок ледостава,
- для определения погодных условий над регионом,
- для определения состояния постилающей поверхности земли.

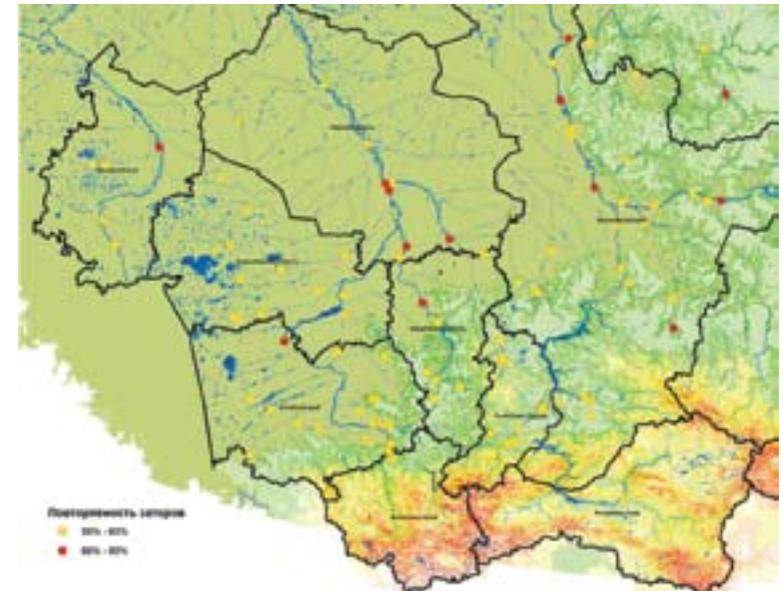


Рис. 1. Затороопасные участки на реках западной части Сибирского региона

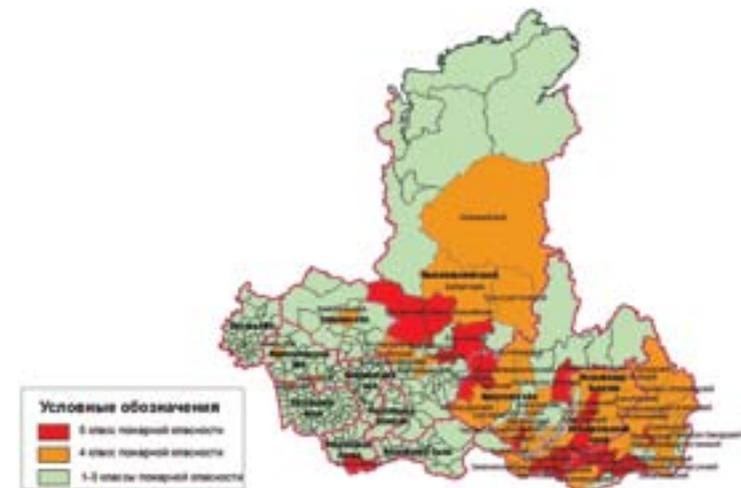


Рис. 2. Прогноз высоких классов пожарной опасности на территории СФО на 15.06.11г

7. Мониторинг лесопожарной обстановки

Центр мониторинга и прогнозирования ЧС использует в работе по прогнозированию обстановки связанной с природными пожарами данные получаемые от Красноярского филиала НЦУКС по космическому мониторингу.

В региональный центр мониторинга данные со спутников TERRA и AQUA (всего 10-12 витков в сутки) поступают в виде оперативных сводок с данными выявленных термоточек, два раза в сутки поступают сводные таблицы термических точек (за день и ночь), карты-схемы, обзорные снимки пожаров, облачной системы, карты температур Сибири.

Данная информация поступает в центры управления в кризисных ситуациях регионального центра и Главных управлений по каналам электронной почты (в течение 1 часа). А также размещается на специальных информационных ресурсах в intranet сети МЧС (в течение 30 минут).

С целью проведения анализа и контроля за организацией работы по проверке обнаруженных термических точек на уровне муниципального образования, организовано получение детализированных сообщений по каждой термической точке от ЕДДС и начальников пожарных гарнизонов (рис.3).

Далее установленным порядком отчет по проверке термических точек поступает через ЕДДС и ЦУКС Главных управлений в региональный центр (рис.4).

В отчетных документах требуется информация по:

- типу возгорания (лесной пожар, контролируемый/не контролируемый сельхозпал, сжигание отходов, техногенный пожар);
- принимаемые меры (задействованные силы и средства на ликвидацию, окарауливание), ответственные лицо;
- собственник (арендатор) земельного участка, ФИО, телефон;
- категории земель;
- источник предоставления информации.

Протокол №1
Красноярского регионального
центра МЧС России от _____ 2011 г. № _____

Начальнику Главного управления МЧС России по _____

СООБЩЕНИЕ по термической точке № _____
(номер термической точки по реалтеру)

с координатами: _____ град. ____ мин. СШ и _____ град. ____ мин. ВД
субъект СФО _____
район _____
населенный пункт/поселок _____
расстояние до населенного пункта _____, км

Довожу до Вашего сведения, что с _____ 2011 г. в _____ час. _____ мин.
от _____
_____ (ФИО полностью, должность, телефон (раб., дом))
поступило сообщение об обнаружении термической точки.

Информация с _____ 2011 г. в _____ час. _____ мин. доведена лично по
_____ (ФИО полностью, должность, телефон (раб., дом))

Принятые меры:
На место обнаружения термической точки с _____ 2011 г. с _____ по _____ час. выехали
(не выехали): _____
_____ (ФИО полностью, телефон, должность)

Всего _____ чел. _____ ед. техники.
Пробыты на место обнаружения термической точки с _____ 2011 г. в _____ час. _____ мин.

Результат
Информация по термической точке подтвердилась _____ (да/нет)
Краткая информация (что обнаружено, тип возгорания): _____

Термическая точка по состоянию на с _____ 2011 г. в _____ час. с _____ (разшифровка,
популярна, локализована, действует).
Краткая характеристика проводимых (проводимых, планируемых) мероприятий (мер),
задействованные силы и средства _____

Информация подтвердилась с _____ 2011 г. в _____ час. _____ мин. начальником гарнизона
пожарной охраны _____ (ФИО полностью)

Дистанция ЕДДС _____ (должность)

Ф.И.О. (полностью) _____

с _____ 2011 г. _____ час. _____ мин. Печать: _____

Рис. 3. Сообщение по термической точке

и наглядного представления ситуации [3]. Обеспечивается формирование информационных ресурсов – хранилищ данных мониторинга обстановки, поступающих из различных источников. Модульная архитектура системы позволяет конфигурировать ее для решения широкого спектра задач мониторинга и контроля оперативной обстановки, определенных нормативными документами [4, 5].

В работе рассмотрены принципы автоматизации процессов мониторинга обстановки, создания консолидированных хранилищ данных, приведены примеры использования ЭСПЛА-ПРО для решения различных функциональных задач.

Организация оперативного мониторинга обстановки

Основные элементы системы комплексного мониторинга Главного управления МЧС России по Красноярскому краю показаны на рисунке 1. Организация оперативного мониторинга обстановки имеет многоуровневую структуру. В систему наблюдения и лабораторного контроля обстановки (СНАК) входят представительства федеральных министерств и ведомств, региональные организации, органы управления МЧС РФ.



Рис. 1. Система оперативного мониторинга обстановки Красноярского края

На основе двухсторонних соглашений ведется межведомственный обмен данными – например, информация о паводковой обстановке

собирается и обрабатывается подразделениями гидрометслужбы, РАО ЕЭС, диспетчерских служб муниципальных образований, транспорта и др. Центр мониторинга и прогнозирования ЧС Главного управления МЧС РФ по Красноярскому краю интегрирует и обрабатывает потоки данных от элементов СНАК.

Информационные потоки оперативного комплексного мониторинга обстановки, проводимого центрами мониторинга органов управления МЧС России, условно можно разделить на три группы:

- ведомственная сеть мониторинга и прогнозирования – формирование докладов о метеорологической, гидрологической, сейсмической, радиационной, лесопожарной обстановке и другие виды мониторинга;
- территориальные органы управления РСЧС – отправка донесений о состоянии сил и средств постоянной готовности, ведомственных формированиях, контроль работы и т.п.;
- системы автоматического контроля обстановки – контроль гидрологических, эндогенных, лавинных и других природных процессов, состояния строительных конструкций в непрерывном режиме времени с помощью специализированных датчиков автоматического слежения и видеокamer.

На основе этих данных происходит контроль обстановки, прогнозирование, оценка степени опасности, защищенности, решение других задач. На сегодняшний день данные обрабатываются, в основном, средствами MS Office: ежедневные донесения представлены в формате MS Word, своды за период – в MS Excel, графическая информация – в том числе карты территорий и космические снимки – в MS PowerPoint. Большое число донесений, отсутствие средств формализации, агрегации и анализа данных существенно затрудняют анализ обстановки, приводят к большим трудозатратам на подготовку донесений, невозможности их использования для контроля и управления ситуацией. Потоки данных с муниципального и объектового уровня не агрегируются, большой объем данных на региональном и федеральном уровнях управления используются неэффективно. Для эффективного функционирования центра мониторинга и прогнозирования ЧС организовать сбор данных в формализованном виде, что позволит использовать методики анализа, прогнозирования обстановки, алгоритмы реагирования на экстремальные события в зависимости от уровня управления.

Для эффективного управления территориальной безопасностью объем информации и способы реагирования должны быть адекватны величине угроз жизнедеятельности населения и территорий. Необходима разработка критериев применения сил и средств в зависимости

от масштаба стихийного бедствия и техногенной катастрофы, формализация алгоритмов действий по управлению ликвидацией ЧС с учетом полномочий дежурно-диспетчерских служб и комиссий по ЧС различных уровней территориального управления.

Формирование консолидированных хранилищ данных

На сегодняшний день используются системы распределенного сбора и первичного анализа данных, разработанные как традиционные программы, либо как web-порталы. Чтобы формализовать разнородные потоки данных и обеспечить их использование для оперативного анализа обстановки, необходимо создавать консолидированные информационные ресурсы. Основные этапы формирования информационных ресурсов (хранилищ данных мониторинга обстановки и банков пространственных данных):

- формализация и автоматизация потоков входных и выходных данных;
- алгоритмизация процессов контроля, реагирования и управления для каждого вида событий;
- разработка моделей анализа периодичности, сезонности и масштабов проявления опасностей, состояния защищенности территорий.

Описанные принципы можно реализовать путем создания единого информационного пространства органов управления, ведомств и служб, проводящих оперативный мониторинг обстановки. Это обеспечит интеграцию всех данных в консолидированном хранилище. Ежедневное пополнение хранилища данных обеспечивают средства распределенного сбора данных, использующие формы сбора, справочники и классификаторы. Только после того, как данные попали в хранилище данных, они могут быть обработаны, использованы в модельных и прогнозных оценках, для визуализации в виде аналитических таблиц, графиков и картограмм (рис. 2).

С помощью функциональных подсистем формируются информационные потоки в виде формализованных донесений, аналитических отчетов, сводов. Сбор данных обеспечивается с применением специальных сервисов, позволяющих обеспечить шлюзы для поступления и обработки данных от ведомственных и территориальных систем. Для решения различных функциональных задач используются технологии оперативной аналитической обработки данных OLAP, динамического геоинформационного моделирования и экспертных систем. При подключении новых подсистем мониторинга либо датчиков автоматического контроля обстановки могут дополняться необходимые структурные элементы

хранилища данных, справочники и классификаторы, создаются аналитические модели и формы их представления. Консолидированное хранилище позволяет решать различные функциональные задачи и обеспечить большую согласованность действий при решении межведомственных задач. Например, в настоящее время существует несколько баз данных по лесным пожарам: ИДСМ «Рослесхоз», Авиационной базы охраны лесов, Центра защиты леса, Министерства природных ресурсов и лесного комплекса края. Сведения о количестве и характеристиках пожаров существенно различаются, что приводит к рассогласованности действий, основанных на различных оценках ситуации. Средства ведения хранилища данных позволяют проводить контроль оперативности, полноты, достоверности данных, вести журнал изменений.

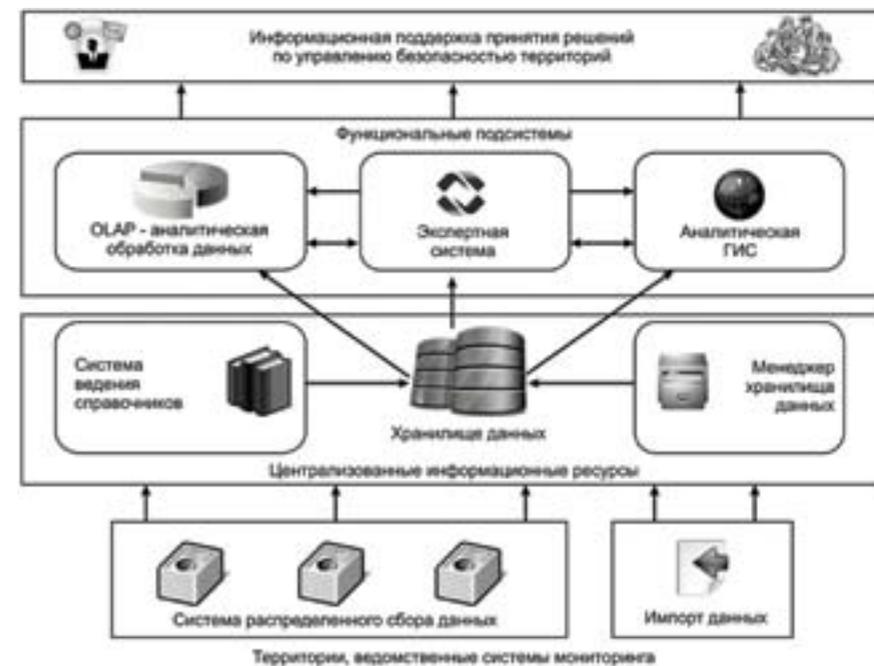


Рис. 2. Функционирование подсистем обработки данных оперативного мониторинга обстановки системы ЭСПЛА-ПРО

Интеграция хранилища данных со средствами распределенного сбора и обработки данных позволит решить важнейшую задачу – уменьшить объем неформализованных информационных потоков

в иерархии органов управления за счет организации доступа к первичной и агрегированной информации органов управления МЧС РФ и территорий всех уровней.

Решение задач мониторинга с применением системы ЭСПЛА-ПРО

Проиллюстрируем работу системы ЭСПЛА-ПРО на нескольких примерах. В повседневном режиме функционирования необходимо решение задач разработки долгосрочных мероприятий по обеспечению безопасности территорий и контроля их исполнения, в том числе путем анализа динамики изменений показателей. На основе оперативных и архивных данных строятся модели, позволяющие оценить вероятность наступления неблагоприятных событий, ранжировать территории по степени опасности и защищенности.

На рисунке 3 показан режим отображения данных ежедневного мониторинга обстановки.

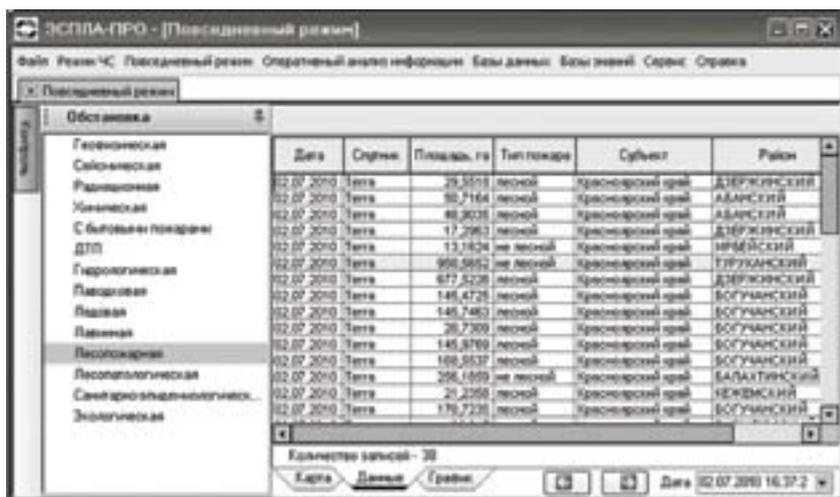


Рис. 3. Режим отображения данных ежедневного мониторинга обстановки в системе ЭСПЛА-ПРО

Для отображения оперативных данных пользователь выбирает дату (период) и тематический раздел. Приведен фрагмент оперативной карты распространения лесного пожара по данным космического мониторинга на среднемасштабной карте. Вкладки внизу экрана позволяют переключать режим отображения данных (таблица – карта – диаграмма), задавать период анализа.

Для более детального анализа выборки из больших наборов применяются средства OLAP и ГИС. В настоящее время базы данных системы содержат информацию о 3500 ЧС, 13000 чрезвычайных происшествий, о более чем 80000 лесных и 150000 бытовых и производственных пожарах. Построены аналитические модели по техногенным, природным, биолого-социальным ЧС и ЧПИ, авариям на системах ЖКХ, транспорте. Основу OLAP-моделей составляет гиперкуб данных, где измерениями являются территория, время и тип события, а показателями – количество, ущерб, число пострадавших и так далее. Средства построения отчетов и графических диаграмм позволяют представить результаты анализа данных в необходимом виде (рисунки 4, 5).

Год	-- Биолого-социальные ЧС		-- Природные ЧС		-- Техногенные ЧС		Итого по количеству ЧС	Итого по ущербу, т.р.
	Количество ЧС	Ущерб, т.р.	Количество ЧС	Ущерб, т.р.	Количество ЧС	Ущерб, т.р.		
2000	14	4	46	120	58	8	118	124
2001	4	0	47	62	83	115	134	177
2002	5	4	44	256	114	756	167	1 056
2003	3	0	44	1 479	81	148	128	1 627
2004	6	5	47	1 585	122	1 343	175	2 933
2005	3	1	41	41	218	100	262	142
2006	2	1	34	5 359	230	55	326	6 015
2007			35	50	202	404	297	484
2008	6	0	42	0	195	72	347	72
2009	4	2	38	0	57	42 009	89	42 011
Итого	51	17	538	9 952	1 364	45 072	1 903	54 641

Рис. 4. Пример представления данных о ЧС в Красноярском крае и материальном ущербе в виде кросс-таблицы OLAP

OLAP-анализ позволяет сделать выводы о характере техногенных ЧС. Структура техногенных ЧС в Сибири обусловлена особенностями промышленного и жилищного сектора. Определенной тенденции к увеличению или уменьшению количества ЧС и тяжести их последствий не наблюдается. Основное число погибших в ЧС приходится на бытовые пожары и дорожно-транспортные происшествия (показатель выше общероссийского на 7,3%).

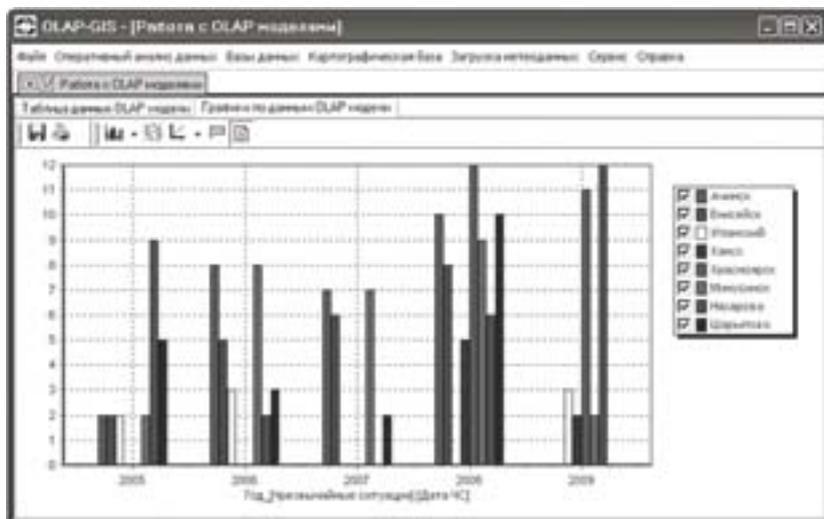


Рис. 5. Представление данных о количестве ЧС в виде аналитической диаграммы в разрезе год/территория

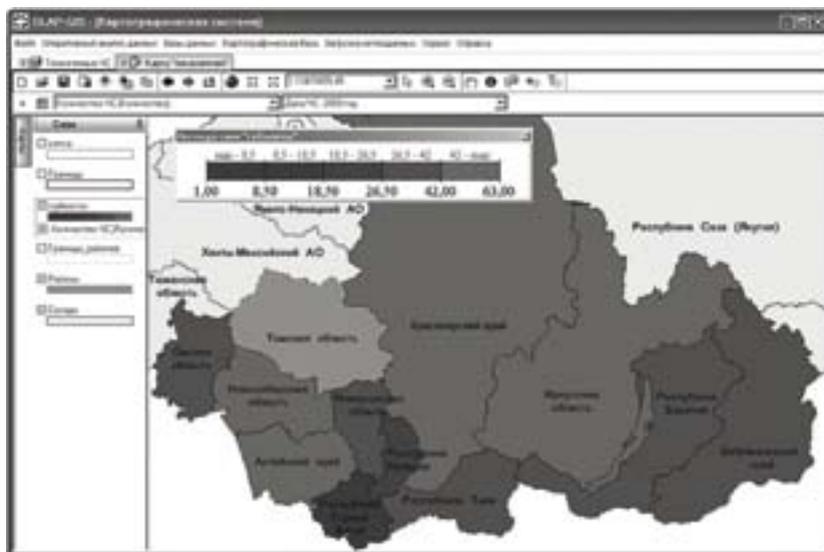


Рис. 6. Картограмма распределения числа техногенных ЧС по субъектам Сибирского федерального округа за 2009 год

Для большей наглядности полученных результатов разработаны средства динамического картографирования результатов анализа (рисунков 6). При выборе показателя легенда карты перестраивается автоматически. Инструментарий аналитической ГИС позволяет настраивать отображение и содержание карты, способы классификации показателей.

Построенные OLAP-модели применяются для планирования мероприятий по снижению риска, а также для разработки паспортов безопасности объектов и территорий, других документов, использующих статистические данные. Например, на основе OLAP-анализа карточек зарегистрированных пожаров в сельских населенных пунктах обоснована необходимость создания новых формирований в сельских районах Красноярского края. Помимо статистики пожаров проведены оценки населенных пунктов и инфраструктуры, характеризующие состояние пожарной безопасности, затрат на создание и оснащение муниципальных постов пожарной охраны [6]. Удобный интерфейс позволяет просмотреть изменение ситуации за произвольный период, отобразить данные на карте, сформировать отчетные документы по стандартным формам. Упрощенные функции агрегации, построения сводов, изменения вида аналитических таблиц, построения сложных аналитических моделей позволяют эффективно анализировать данные мониторинга, выявлять тренды, периодичность и прочие зависимости.

Использование технологий прямого доступа к данным позволяет сократить объем ежедневных донесений, а средства представления данных и формирования аналитических отчетов обеспечивают повышение эффективности использования данных оперативного мониторинга обстановки.

Заключение

Технология построения комплексных систем, реализованная в системе ЭСПЛА-ПРО, составляет функциональную основу программного интегратора системы мониторинга и поддержки принятия решений Главного управления МЧС России по Красноярскому краю. Средства сбора и первичного анализа данных обеспечивают наполнение консолидированного хранилища данных. Модульный принцип построения и открытая архитектура позволяют интегрировать информационные ресурсы межведомственных систем мониторинга, обеспечить оперативную аналитическую обработку данных, анализ и прогнозирование обстановки.

Создание центров мониторинга и прогнозирования ЧС является важным этапом повышения уровня безопасности населения и территорий. Внедрение высокотехнологичных средств автоматизации в работу территориальных органов управления МЧС РФ должно сопровождаться изменениями в повседневной деятельности специалистов, смещени-

ем акцентов с подготовки донесений на анализ данных, планирование и обоснование мероприятий по предупреждению ЧС и нормализации оперативной обстановки. Автоматизация работы этих структур позволит сократить затраты на управление силами и средствами постоянной готовности, а накапливаемая база прецедентов будет служить хорошим учебным пособием для специалистов МЧС.

Библиографический список

1. Постановление Правительства РФ от 28.01.2002 № 65 «О федеральной целевой программе «Электронная Россия (2002 – 2010)» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2002. – № 5. – Ст. 531.
2. Концепция развития информационного общества и формирования электронного правительства в Красноярском крае до 2014 года (электронный ресурс) – <http://www.it.krskstate.ru/zak/proekt//0/doc/6147>.
3. Ноженкова Л.Ф., Евсюков А.А., Ничепорчук В.В., Марков А.А. Применение методов оперативного анализа данных для обработки результатов мониторинга ЧС на региональном уровне управления // Сб. матер. Международного научно-практического конгресса «Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения». 21-23 сентября 2010 г. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 3-11.
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2003 г. № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2004. – № 2. – Ст. 121.
5. Постановление Правительства Красноярского края от 09.02.2011 № 80-П «Об утверждении Положения о краевой подсистеме мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на территории Красноярского края // Ведомости высших органов государственной власти Красноярского края от 21 февраля 2011 г. – №7 (448).
6. Ноженкова Л.Ф., Исаев С.В., Ничепорчук В.В., Евсюков А.А., Морозов Р.В., Марков А.А. Средства построения систем поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации ЧС // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2008. – №4. – С. 46-55.
7. Ноженкова Л.Ф., Исаев С.В., Ничепорчук В.В., Евсюков А.А., Морозов Р.В., Марков А.А. Применение экспертной ГИС для анализа пожарной обстановки в Красноярском крае // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. – №2. – С. 75-85.

Информационно-психологическая безопасность населения в условиях чрезвычайной ситуации.

О.В. Беренова

*кандидат политических наук,
заместитель начальника отдела Научно-технического управления*

Чрезвычайная ситуация (ЧС) по своей сути – динамичная, деструктивная система с интенсивной положительной обратной связью. Для перевода в иное – стабильное состояние она нуждается во внешнем воздействии компенсаторного характера.

Стремительное развитие информационного пространства, рост компьютерных и телекоммуникативных технологий, их широкое внедрение во все сферы жизнедеятельности обусловили появление явных и скрытых информационно-психологических воздействий, многие из которых носят негативный характер и влияют на массовое сознание.

Наиболее действенным инструментом, позволяющим минимизировать и отчасти компенсировать последствия негативного влияния ЧС на массовое сознание являются средства массовой коммуникации (СМК), их главным объектом являются люди, и, в частности, их морально-психологическое состояние.

Люди действуют не на основе реальных данных, а предпочитают картину мира, которая складывается у них под воздействием СМК. Формируя определенное общественное мнение, оказывая влияние на сознание и поведение людей, они изменяют и самого человека.

Но если в условиях нормального функционирования общества для этого требуется относительно долгий период времени, то в условиях ЧС перемены в поведении происходят одновременно, степень влияния СМК на психику людей достигает своего апогея.

Благодаря СМК любая ЧС получает информационно-коммуникативный резонанс, который либо усиливает катастрофичность последствий, либо помогает уберечься от депрессии, апатии, т.е. осуществляя своего рода психотерапию социальной сферы.

Современная медиареальность такова, что информация о ЧС доминирует над освещением всех остальных событий повседневной жизни, формирует зависимость потребителя от подобного рода информации, формирует эффект привыкания массового сознания к катастрофам, их неизбежности. В результате в обществе отсутствует адекватное восприятие безопасного поведения в ЧС.

Отсутствие равновесного соотношения между реальным уровнем ЧС и характером их отображения в информационном пространстве приводит к тому, что граждане попадают под двойной психологический пресс: самой ситуации и ее отражением в масс-медиа. СМИ, являясь по сути своей социальным регулятором общества, не способствуют социально-психологической стабильности общества в момент ЧС и не выполняют одного из своих главных назначений- психокоррекции массового сознания.

Это требует, с одной стороны, изучения механизмов воздействия СМИ, а с другой - регулирования информационных процессов.

Таким образом, СМК необходимо рассматривать с одной стороны, как субъект управления состоянием обществом, а с другой – как элемент структуры общества, который сам требует управления.

Необходимо заметить, что вопросам управления информацией в условиях ЧС (имеется в виду ее гуманитарная составляющая), уделено недостаточно внимания, что же касается вопросу о роли СМИ и степени их влияния на общество в рассматриваемых условиях – таких исследований практически не встречается.

Отчасти, конечно же можно встретить эти вопросы среди других проблем и направлений – в журналистике, где акцент делается на этическую сторону подачи информации, в психологии, где прослеживаются попытки выявить степень информационного воздействия на психическое состояние населения, в теории рисков, где процесс информирования рассматривается больше как технологический. Но вот чего-то общего, что могло бы лечь в основу своеобразного курса, где бы рассматривались качественные и количественные параметры информации, ее социально-психологическая направленность, а значит и специфика управления информацией в области предупреждения ЧС, к сожалению нет.

Поведение человека в ЧС определяется в первую очередь, естественно возникающим чувством страха. При преодолении этого чувства осуществляются три основные стратегии:

- само- с взаимопомощи, т.е. определенной самоорганизации;
- смирения и фатализма;
- разрушительной паники.

Конструктивное поведение людей во многом зависит от степени подготовленности людей к действиям в экстремальных ситуациях, где поведение в ЧС выступает в качестве индикатора прочности существующего социального порядка, который во многом определяется сложившейся культурой общества, и в частности, культурой безопасности человека, которая выражается.

Чем выше культура безопасности личности, тем меньше вероятность того, что человек станет источником или жертвой подобной ситуации.

Как хорошо известно, особенностью психологии масс является ее внушаемость, легковерность, предпочтение слухов официальной информации. Все эти особенности определяют специфику работы в условиях ЧС.

Во-первых, резко меняется механизм работы человека с информацией. Происходит резкое сужение числа параметров, подлежащих обработке (семантические, психологические, визуальные). По этой причине человек иначе оценивает поступающую информацию, гипертрофируя значимость того или иного параметра. Такие условия сужения информационного потока формируют специфические модели действия и реагирования человека на сообщения.

При этом возникает реальная угроза манипулирования общественным сознанием, которое возможно осуществлять, всего лишь меняя показатели.

Так о последствиях воздействия ядерных отходов на население можно сказать - 1000 человек могут умереть от ядерных отходов или в среднем не более одного человека может умереть в течение 10 лет.

В кризисной ситуации необходимо заранее вводить определенные стабилизаторы поведения, призванные перевести его в социально приемлемое русло. Биологические требования могут блокироваться более сильными социальными нормами.

Опыт психиатрии катастроф свидетельствует о том, что в возникновении психических нарушений ведущая роль принадлежит не самой ЧС, а тому, насколько человек как личность воспринимает, переживает и интерпретирует данное событие. Любая ситуация как многофакторное явление может стать чрезвычайной для любого из присутствующих в этом зале, если она воспринимается как лично-значимая, а само переживание по своей интенсивности и длительности может превысить индивидуальные компенсаторные ресурсы данной личности.

Такое понимание имеет свое физиологическое обоснование.

Еще И.П. Павлов писал, что «чрезвычайность и сила внешнего раздражителя совершенно относительны. Эта чрезвычайность определяется предшествующим опытом, а сила действия внешнего раздражителя зависит от состояния нервной системы».

При работе в условиях ЧС средствами массовой информации, а также тем, кто работает с ними необходимо учитывать ряд факторов, к примеру, сложившееся представление в массовом сознании о том, что стихийные бедствия – это неизбежное, неподвластное человеческой

воле и контролю событие, которое в равной степени затрагивает в равной степени все население. И они как бы, предопределены свыше.

Техногенные катастрофы, особенно радиационные и химические, воспринимаются как события, которые имеют свою причину и конкретных виновников. Они сопровождаются более длительными переживаниями страха, более высоким уровнем агрессии. Социально-психологические последствия носят более масштабный характер и способствуют «расплыванию катастрофы» в последующие периоды после ЧС.

Возможно, в условиях ЧС техногенного характера информация, наряду с ее главным атрибутом – оперативностью, должна носить больше аналитический характер (разъяснять причины произошедшего), быть направленной на обучение и соблюдение правил поведения. Очень важно выстраивать информационные потоки в тесном контакте с властью.

Если рассматривать информационное пространство как совокупность множества информационных полей, создаваемых средствами массовой коммуникации, где его ядром выступает общественное мнение и массовая психика, можно сказать, что нынешнее состояние информационного пространства России таково, что психологическое травмирование населения при активном содействии СМИ охватывает не только тех, кто непосредственно пострадал. Но и огромные слои населения, находящиеся в роли виртуальных участников события.

Отчего же столь травматично, это информационное пространство.

Чрезвычайные ситуации в журналистике находятся в том же семантическом поле, что и скандальные происшествия. Происходит это по причине того, что СМИ функционируют в основном в логике модели, которая в коммуникативистике называется моделью резонанс. Созданные по этой логике аналитические и псевдоаналитические сюжеты воссоздают катастрофу, описывая ее во вновь созданном «катастрофическом контексте».

Последствия такой рефлексии неконструктивного характера очевидны.

Рост критических настроений и даже агрессии по отношению к СМИ во всех слоях показывает, что, с одной стороны, усиливается травматизация массового сознания СМИ, а с другой - активизируется стремление к самозащите, которое выражается в падении доверия к СМИ, а также в попытках определить критерии «экологической безопасности» информационной среды.

Результаты проведенных опросов, выявили основные характеристики, распространяемой средствами массовой коммуникации информации:

- низкая достоверность информации при ее высокой избыточности
- негативная смысловая нагрузка,
- сенсационность,
- отсутствие дифференциации информационных потоков
- низкий уровень взаимодействия с властью
- отсутствие реального интереса к последствиям ЧС.

Эксперты считают, что форма представления стрессогенной информации, по крайней мере, должна отвечать ряду условий, обеспечивающих минимальный уровень защиты населения:

- конструктивное представление проблемы (показ людей в состоянии активного сопротивления действительности по преодолению возникшей ситуации)
- анализ возможных способов преодоления трудностей
- информирование о ходе решения проблемы
- оказание психологической поддержки пострадавшим и участникам спасательной операции (демонстрация социального одобрения и помощи).

В кратком изложении суть проблемы сводится к следующему. Результаты комплексного изучения психологами стрессоустойчивости населения, побывавшего в зоне ЧС показали, что одно из лидирующих мест в структуре стресс-факторов ЧС занимает психологический фактор, связанный с подачей неадекватной информации.

Таким образом мы можем и должны говорить о необходимости выстраивания информационно-психологической защиты населения, которая должна осуществляться на федеральном и региональном уровнях, строится на основе взаимодействия социальных институтов с общественными организациями и СМИ.

УДК 572.4

Рост бактериопланктона на органических почвенных экстрактах береговой зоны обрушения Красноярского водохранилища и математическое моделирование

Н.Н. Дегерменджи¹, И.И. Гительзон², А.Г. Дегерменджи²

1. Красноярский государственный медицинский университет,

2. Институт биофизики СОРАН

Экологическое прогнозирование динамики микроорганизмов и качества воды в Красноярском водохранилище основано на знании зависимости удельной скорости роста (УСР) от лимитирующих субстратов. Объектом исследования является влияние почвенного экстракта материала береговых обрушений - перманганатной окисляемости - ХПК (химическое потребление кислорода) на рост автохтонного бактериопланктона Красноярского водохранилища. Определяется максимальная УСР и константа Михаэлиса-Ментена. Данные параметры использовались в экомодели Красноярского водохранилища для оценки эффективности самоочищения.

Введение

Красноярское водохранилище представляет собой глубокий слабопроточный водоем с преимущественно сезонно контролируемым протоком. В разнообразном использовании водохранилища преобладает гидроэнергетика. Площадь водного зеркала составляет 2000 кв. км, объем - 73.3 куб. км, длина - около 390 км, средняя ширина - 5-6 км. Одной из отличительных характеристик водохранилища является значительная переменность уровня водной поверхности - от 234 до 225 м, т.е. диапазон составляет 18 м. Возраст водохранилища - 37 лет. Гидробиология водохранилища характеризуется интенсивным "цветением" сине-зеленых водорослей, достигающим до 1.4-3.3 г/куб. м сухого веса. (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Melosira granulata* (0.34 г/куб. м) и *Fragilaria crotonensis* (0.31 г/куб. м)).

Микроорганизмы играют основную роль в круговороте углерода, азота, фосфора и серы, а также в минерализации и самоочищении, как в естественных, так и в искусственных аквасистемах [1]. Полное описание микробиологического блока водных экосистем должно ос-

новываться не только на стехиометрии элементного цикла, но также на кинетических характеристиках процессов и их зависимости от условий среды во время эксперимента. Введение экспериментальных кинетических характеристик в математические прогнозные модели представляет собой новые прогрессивный путь и должно способствовать повышению адекватности теории при прогнозировании состояния экосистемы. Основные трудности возникают при выборе субстрата для экспериментов по кинетическим характеристикам. Анализ источников некоторых органических веществ в Красноярском водохранилище показал, что основным компонентом является процесс деструкции прибрежной зоны. Количество отложений при деструкции прибрежной полосы при прогнозе на десятилетний период составляет около 40% общего баланса, однако с завершением строительства Саянского моря (вверх по течению) оно поднимется до 73%. Разрушение лесных почв, чернозема способствует поступлению гумуса и других органических соединений в Красноярское водохранилище. Все это приводит к необходимости исследования УСР бактериопланктона (Б) на почвенных экстрактах материалов разрушения береговой полосы и его поглощение.

Материал и методика

Почвенных экстракт культуральной среды для культивирования Б приготавливался из почв различных горизонтов, разрушающихся в районе водной станции Сыдинского залива. Микробиологические взятие образцов с целью культивации было проведено на той же водной станции в стерильных условиях на глубине 20 см от поверхности с одновременной фильтрацией фито- и зоопланктона.

Почвенные экстракты приготавливались по методу Фишера [2]: 1кг почвы плюс 1 литр 0.1% водного раствора Na_2CO_3 , естественная экстракция в течение 24 часов со встряхиванием, центрифугированием и стерилизацией автоклавированием. Химическая потребность в кислороде (ХПК) чистого желтого почвенного экстракта составляла 140 мг ХПК/л. Изменение начальной концентрации органического вещества во время экспериментов по выращиванию Б осуществлялось перемешиванием различных пропорций экспериментального объема Б и объема экстракта: в контроле (с) - 200 мл экспериментального и 0 мл экстракта, 1 - 20 и 180; 2 - 60 и 140; 3 - 100 и 100; 4 - 140 и 60; 5 - 180 и 20. Колбы помещались в термостат при температуре 20°C. Общая численность Б определялась прямым счетом на ядерных фильтрах под люминесцентным микроскопом; в конце эксперимента измерялась остаточная концентрация ХПК в супернатанте в каждой колбе.

Результаты по кинетике роста

Из динамики величины X ($[X]=\text{кл/мл}$) B во время экспериментов (с, 1-5) рассчитывалась УСР: $G(S_{\text{ХПК}})=\ln(X2/X1)/(t2-t1)$, где $S_{\text{ХПК}}$ - средняя концентрация ХПК в течение экспериментального периода $t1, t2$. По этим данным (рис. 1) была рассчитана максимальная УСР $\mu_{\text{max}}=0.117 \pm 0.0191 \text{ 1/ч}$, константа Михаэлиса-Ментена ($K_S=7.85 \pm 6.6 \text{ мг ХПК/л}$), а также коэффициент поглощения органики почвенного экстракта $B: y=11.74 \pm 1.17 \text{ г ХПК/г биомассы}$.

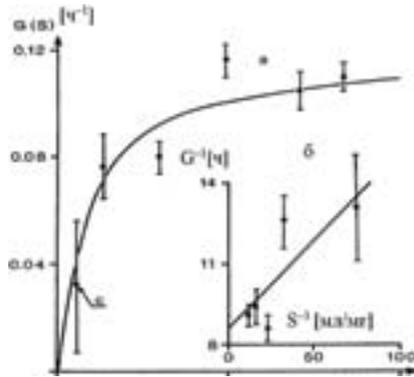


Рис. 1. График зависимости УСР (G) бактериопланктона от ХПК концентрации почвенных экстрактов ($S_{\text{ХПК}}$) из материалов обрушений берегов Красноярского водохранилища: а - прямые координаты; б - обратные координаты; с - опыт, не использовавшийся при расчетах μ_{max} и K_S

Модельный прогноз: динамика бактерий

Расчет динамики B проводился по имитационной модели экосистемы. Модель имеет следующие основные блоки: гидрологический блок (осуществляющий гравитационное и ветровое течения), блок морфометрии водоема, гидрохимический блок, экологический блок. Экологический блок содержит следующие компоненты: диатомовые и сине-зеленые водоросли, B , зоопланктон, простейшие, химические компоненты. Зависимость УСР от B представлена на Рис. 1.

Расчет динамики B совместно с представлением натуральных полевых данных (по заливу Сыда Красноярского водохранилища) проводился для вариантов экосистем различной степени сложности (обозначенных на Рис. 2 цифрами 1-8):

1. только гидрологическая модель, биологические процессы «заморожены»;

2. B ограничено ХПК, остальные компоненты отсутствуют;
3. присутствуют следующие компоненты: диатомовые и сине-зеленые водоросли, бактерии, простейшие, органическое вещество, фосфор, азот, при отсутствии зоопланктона и круговорота;
4. то же, что и вариант 3, но с круговоротом;
5. то же что и вариант 3, за исключением повышения G_{diatom} и зоопланктона;
6. то же что и вариант 5, но с круговоротом;
7. то же что и вариант 6, за исключением еще большего повышения G_{diatom} ;
8. то же что и вариант 3, но с включением каннибализма зоопланктона, и круговоротом, G_{diatom} несколько ниже.

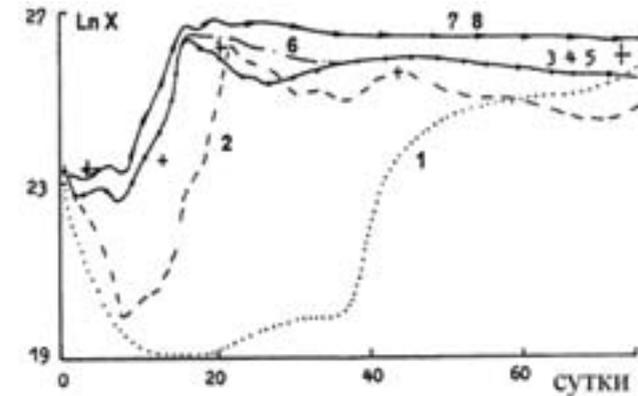


Рис. 2. Расчетная динамика бактерий (\pm данные наблюдений)

Динамика B связана с входными потоками ограничивающей рост органики в «камеру». При снижении притока органики B отмирает и плотность B снижается. Важным следствием этого является то, что приток allochthonной органики как таковой не может адекватно объяснить наблюдаемую динамику B и становится необходимым допустить образование дополнительного allochthonного вещества в водной экосистеме.

Модельный прогноз: динамика самоочищения

Еще одним применением кинетических характеристик является прогноз самоочищения. В качестве нового параметра введем экономическую оценку ущерба, наносимого сбросами предприятий в со-

вокупности с температурными перепадами на Енисее после строительства Красноярской гидроэлектростанции. Летняя температура на участке от Дивногорска до Красноярска упала с 18-20°C до 10-12°C [3], в то время как зимняя температура воды поднялась на один - два градуса выше точки замерзания. Такие изменения должны оказывать влияние на экосистему.

Для получения эколого-экономической оценки ущерба допустим, что существует только одно загрязняющее вещество (например, общая концентрация S органического вещества), поглощаемого B . Самоочищение представляет собой снижение S вниз по течению. При допущении высокой турбулентности в вертикальных и боковых измерениях, что вполне вероятно для Енисея, очищение зависит только от расстояния вдоль реки, r , и от времени t . Уравнение динамики экосистемы, объединенное с уравнениями движения Сан-Венана (1) для нестационарного потока жидкости имеют вид:

$$\begin{cases} I_0 - \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{v^2}{c^2 R} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial r}, \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial r} = q \\ \frac{\partial s}{\partial t} + v \frac{\partial s}{\partial r} = -G(s)X, \quad \frac{\partial X}{\partial t} + v \frac{\partial X}{\partial r} = -G(s) \frac{1}{y} X \end{cases} \quad (1)$$

$$I \equiv i_0 - \partial h / \partial r$$

с типичными граничными и начальными условиями [4, 5] Здесь t - время; r - координата, рассчитанная вдоль потока; Q - расход воды; i_0 - уклон дна; h - уровень воды; I - уклон водной поверхности в виде разности между уклоном дна и глубиной (h), изменяющейся по потоку; $v(r,t)$ - средняя скорость на участке r ; g - ускорение тяжести; R - гидравлический радиус; $c=c(R)$ - коэффициент Шези (Shezy factor); g - приток на единицу водного потока; $w(h,t)$ - «живое» сечение; $X(r,t)$ - биомасса B ; $G(s)$ - УСР B как функция S ; $S(r,t)$ - концентрация загрязняющего вещества, т.е. растворенного органического вещества (РОВ); $1/y$ - коэффициент урожайности.

Для простоты рассмотрим стационарную задачу для системы (1). Решение такой системы относительно $s(r)$ (при линейной УСР: $G(s) = \mu_{max} / K_s * S \equiv k * S$ имеет вид:

$$s(r) = (X_0 / y + s_0) s_0 / (X_0 / y * \exp[k(X_0 / y + s_0)r / v] + s_0), \quad (2)$$

где $s_0 = s(0)$, $X_0 = X(0)$, т.е. для $r=0$.

В случае, когда УСР B описывается уравнением Моно $G(s) = \mu_{max} s / (K_s + s)$ аналитическое выражение для $s(r)$ преобразуется к трансцендентному виду:

$$s_0 ((X_0 / y + s_0) - s(r))^a / s(r) = (X_0 / y)^a \exp[k(X_0 / y + s_0) r / v], \quad (3)$$

где $a \equiv 1 + (X_0 / y + s_0) / K_s$.

Проанализируем следующую ситуацию: каким образом s_0 - начальная концентрация загрязняющего вещества в месте «предыдущего» выброса влияет на фоновую концентрацию этого вещества на участке до «следующего» выброса? Можно показать (см. формулу (3)), что при очень высоких и очень малых концентрациях s_0 величины $s(r)$ будут небольшими. Следовательно, существует такая критическая величина $s_0 + s_0^{crit}$, после которой концентрация $s(r)$ снижается, т.е. может возникнуть «парадоксальная ситуация», когда при повышении загрязненности где-то вверху по течению концентрация загрязнения на некотором расстоянии вниз по течению снижается. При большой начальной биомассе X_0 имеем аналитическую оценку: $s_0^{crit} > v / (rk)$. Учет насыщения в зависимости УСР (3) может вызвать появление еще одной критической концентрации s_0 , после которой фоновая концентрация вновь начнет подниматься (Рис. 3).

Допустим, что на расстоянии r' был произведен сброс того же загрязняющего вещества с очистных сооружений со скоростью Q_d и концентрацией $S_i(r')$. Обозначив концентрацию РОВ на расстоянии r' - ε_1 ($\varepsilon_1 \approx 0$) вверх по течению от места сброса как $S_{up}(r')$ и вниз по течению ($r'^2 + \varepsilon_1$), как $S_{down}(r')$, получаем (при условии полного перемешивания)

$$S_{down}(r') = Q / (Q_d + Q) S_{up}(r') + Q_d / (Q_d + Q) S_i(r')$$

$$\text{или } (1 + \beta) S_{down}(r') = S_{up}(r') + \beta S_i(r'), \quad (4)$$

Где $\beta \equiv Q_d / Q$ - коэффициент перемешивания. При неполном перемешивании Q можно заменить на соответствующий поток.

Величина S_p может быть связана с концентрацией загрязняющего вещества на входе очистного сооружения (P) отношением $aP / (a + m) = S_i$. Стоимость (m) резко повышается с повышением степени очистки. Наивысшая возможная концентрация $S_{down}(r')$ не должна превышать максимально допустимую концентрацию - ПДК. Следовательно, S_i также имеет верхний предел $S_i \leq (1 + \beta) ПДК / \beta + S_{up} / \beta$. Это условие, ограничение $S_i(p)$ и выражение (4), приводят к искомой формуле стоимости очистки (m) с допущением на предисторию самоочищения в реке

$$m = \{a[\beta (P - ПДК) + (S_{up}(r') - ПДК)]\} / \{\beta ПДК - (S_{up}(r') - ПДК)\}. \quad (5)$$

В зависимости от требуемой точности оценки (m) концентрацию S_{up} в (5) можно рассматривать в виде (2) или (3). Оценка m сама по себе не определяет ущерба; скорее стоимость сохранения природы (очистки), но изменения этой величины могут обеспечить знание ущерба или прибыли при изменении условий. При объединении с (2) выражение (5) обеспечивает стоимость очистки как функцию параметров экосистемы, таких как максимальная УСР, урожайность и т.д. Если эти важнейшие

характеристики соотнесены с влиянием факторов окружающей среды, B_i , таких как температура, токсиканты и т.д. составляющие ущерба можно определить для любого фактора.

а) Общий ущерб - составляющие ущерба. В общем случае стоимость очистки (m) является функцией внешних факторов (B_i), или $m = m(B_1, \dots, B_n)$. Соответственно, общий ущерб (или прибыль) Δm при небольших отклонениях B_i от начальных величин B_i оценивается выражением:

$$\Delta m = \sum_{i=1}^n (\partial m / \partial B_i) | B_i^* \Delta B_i$$

Величина $\partial m / \partial B_i$ определяет ущерб или экономию приписываемые «единичному» изменению влияния B_i , а $\Delta m_i = (\partial m / \partial B_i) \Delta B_i$ представляет собой составляющую ущерба в случае изменения коэффициента на ΔB_i .

Проведем оценку ущерба, вызванную изменением, скажем, температуры, T . Применим $S_{up}(r')$ в виде уравнения (2) или при строгих ограничениях. Легко доказать, что $m = (Q_1 \exp(dr) + l_1) / (Q_2 \exp(dr) + l_2)$, где явный вид параметров не приводится для экономии места $d = kX_0 v^{-1} / y$. Пусть $d = d(T)$. В диапазоне исследованных температур было экспериментально обнаружено, что $(\partial k / \partial T) > 0$. Другими словами, приводится увеличивающаяся часть УСР как функция температуры. Тогда,

$$\Delta m_i \equiv (\partial m / \partial T) \Delta T = \lambda (\partial m / \partial T) \Delta T \quad (\lambda < 0) \quad (6)$$

Последнее выражение показывает, что с падением температуры $\Delta m T$ положительно. Следовательно, снижение температуры приводит к ущербу, который можно оценить в строгих количественных терминах по формуле (6).

б) Какова стоимость самоочистки? На этот необычный, но важный вопрос можно ответить очень четко. В гипотетическом случае отсутствия самоочистки ($k=0$) стоимость очистки составляет

$$m_0 = a (\beta P - S_{up}^{crit} + s_0) / (S_{up}^{crit} - s_0), \text{ где } S_{up}^{crit} \equiv (1 + \beta) ПДК.$$

С допущением природного механизма очистки ($k \neq 0$) она составляет

$$mk = a [\beta P - S_{up}^{crit} + S_{up}(r)] / [S_{up}^{crit} - S_{up}(r)].$$

При равенстве всех прочих условий стоимость дается разностью ($m_0 - m_k$). В действительности, это - оценка финансовой «помощи» очистному сооружению, обеспечиваемой водной экосистемой. Тогда, $E = (m_0 - m_k) / m_0$ представляет собой экономию, приписываемую данной «помощи». Преимущество данной оценки заключается в независимости от параметра a - стоимости самоочистки, которая является неизвестной.

Для конкретизации оценки ущерба воспользуемся экспериментальными результатами, полученными на Красноярском водохранилище.

Нами принято, что та же зависимость УСР (рис.1) сохраняется в нижнем бьефе Красноярского водохранилища ($S_{ХПК}$) и выражена как

$$S_{sgr} : S_{sgr} = S_{ХПК} * 1.7 \quad [6].$$

$$G(S) = k'(T)S / (13.75 + S);$$

$$k'(T) = 0.34 \exp\{-[(T - 32)/11.3]^2\}.$$

Расчетные величины E , S_{up} и m для некоторых модельных параметров ($P=1.000$; $\beta = 0.01$; $a = 1$; $x_0 = 0.33$; $ПДК=10$), экспериментальных данных ($G(S)$ (рис.1) и $y = 0.0501$) и натуральных значений ($r = 40$ км; $v = 4$ км/час) показаны на рис.3. $S_{up}(r)$ использовалась в виде уравнения (3). В модельном примере снижение средней летней температуры на 10°C привело к 40%-ному снижению экономии.

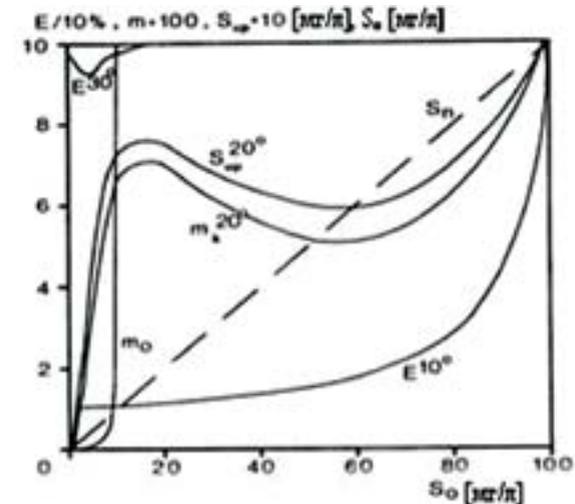


Рис. 3. Самоочищение (E), стоимость очистки (m) и концентрация загрязняющего вещества ПОВ (Sup) как функция концентрации «выше» по течению (So); цифры сверху - температуры воды; Sn - концентрация без самоочистки ($k=0$)

При данной оценке экономических последствий экологических изменений экосистема рассматривается в свете экономической целесообразности. Объединение с другими экспертными критериями может привести к комплексному принятию решений по водопользованию. Преимуществом предлагаемого подхода является четкость всех легко

определяемых параметров. Данный подход может быть итеративно использован для полного описания экономической эффективности экосистемы для всей реки.

В настоящей статье мы рассмотрели нетрадиционный подход к моделированию качества воды и динамики Б, основанный на цепочке теоретических и экспериментальных исследовательских этапов. Данный экспериментальный метод получения кинетической информации совместно с моделированием может найти применение в различных сферах водопользования на водохранилищах.

Работа выполнена при поддержке Интеграционными проектами СО РАН № 50 и № 95.

Библиографический список

1. Карр, Н. Г. и Б. А. Уиттон (1982): Биология цианобактерий, стр. 1-688. Унив. Беркли Пресс, Беркли.
2. Теплер, Е.З., Б. К. Шилинкова и Г. Л. Переверзева (1987): Микробиологический практикум, стр. 1-239 (на русском яз.). Агропромиздат, Москва.
3. Гительзон, И. И., Н. С. Абросов, М. И. Гладышев, А. Г. Дегерменджи, Ф. Я. Сидько, А. П. Шевырногов, В. М. Голд и С. З. Голд (1985) Енисей: проблемы крупнейшей реки Сибири. стр. 471-485. В: Дегенс, Е. Т. и Р. Херрера (ред.), Кругооборот углерода и минеральных веществ в крупнейших реках мира. Сондербд. N58, SCOPE/UNEP, Гамбург.
4. Антонцев, С. А. и А. М. Меирманов (1979): Математические модели совместного движения поверхностных и грунтовых вод, НГУ, Новосибирск.
5. Дегерменджи, А. Г., Н. С. Печуркин и А. Н. Шкиденко (1979): Автостабилизация факторов роста в биологических системах, стр. 1-141 (на русском яз.). Наука, Новосибирск.
6. Алёкин, О. А. Основы гидрохимии, стр. 1-444. Гидрометеиздат, С.-Петербург.

Оценка динамики растительности спутниковыми методами (результаты работы лаборатории экологической информатики ИБФ СО РАН)

М.Ю. Чернецкий, А.П. Шевырногов

Институт биофизики СО РАН

Аннотация

Представлены результаты работы лаборатории экологической информатики в области изучения динамики растительности. Проведена отработка методики изучения динамика растительности на примере Северной Евразии и юга Красноярского края. Показан глобальный тренд NPP за 1982-2000 гг. Найденному тренду соответствует тренд NDVI по Северной Евразии за этот же период. Показано, что в настоящее время имеется тенденция к замедлению фотосинтетической активности. В то же время имеется линейная тенденция увеличения температуры. Показано, что для более точного определения динамики NPP необходима корректировка с учетом особенностей большего числа биомов, чем используется в настоящее время. Разработана методика автоматической классификации растительного покрова. Разработана методика позволяющая находить зоны стационарного весеннего развития растительности.

Введение

В настоящее время в число опасных природных процессов входит возможное глобальное потепление, связанное с накоплением в атмосфере парниковых газов. Динамика NPP имеет связь с глобальной динамикой CO₂. Для понимания протекающих процессов необходимо моделирование, например с помощью минимальных моделей. Для моделирования необходимы спутниковые измерения NPP глобального и регионального уровня. Динамика NPP, полученная с помощью спутниковых данных, связана с уровнем фотосинтетической активности и температурой. В свою очередь, на глобальную динамику влияют региональные аномалии. Кроме того, некоторые региональные аномалии могут являться индикаторами наступающих глобальных изменений. В данной работе представлены результаты работы лаборатории экологической информатики в области изучения динамики растительности. Отработка методики изучения динамика растительности была проведена на примере Северной Евразии и юга Красноярского края.

Оценка глобальной чистой первичной продукции (ЧПП) для верификации и корректировки минимальных теоретических и экспериментальных моделей

Для прогноза и понимания глобальных биосферных процессов, необходимо моделирование. В свою очередь, моделирование биосферной динамики немислимо без адекватной оценки глобальной чистой первичной продукции (ЧПП) растений. Т.к. именно накопление углерода растительностью является основой глобального круговорота углерода.

В последнее время ряд источников показывает тренд на увеличение глобальной ЧПП. Возможно это связано с потеплением климата. И действительно расчеты, на основе модели GloPEM (Рис. 1, 1982-2000 гг., AVHRR), показали, что за этот период наблюдается положительный тренд роста ЧПП, на 10% [1].

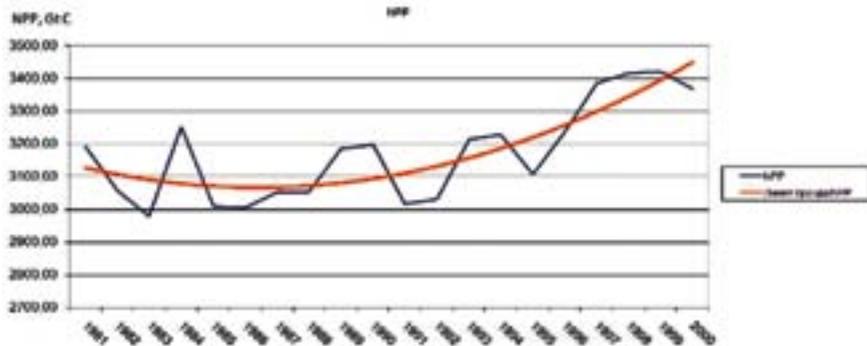


Рис.1 Глобальная динамика ЧПП в течение 1982-2000 гг.

Так же были рассчитаны средние значения ЧПП (1982-2000, AVHRR), по широтам, получены две широтные зоны максимальной продуктивности, от 33° до 55° с.ш. и от 11° с.ш. до 11° ю.ш. Сопоставление этих зон с глобальной картой типов растительности позволяет сказать, что основной вклад в производство продукции вносят луга, пахотные земли и смешанные и хвойные леса северных широт и вечнозеленые широколиственные леса тропиков.

Для проведения измерений на региональном уровне, глобальные модели ЧПП слишком обобщенные. Поэтому была проведена корректировка значений ЧПП рассчитанной на примере модели GloPEM с использованием наземных данных. Данная корректировка проводилась для растительности Восточной Сибири на основе полевых данных, предоставляемых Институтом леса СО РАН.

Объектами исследования являлись территории юга Красноярского края, предгорье Западного Саяна - постоянные пробные площади ИЛ СО РАН (наблюдения с 1968г). Территория характеризуется четко выраженной поясностью наблюдаемых лесных экосистем. На небольшой по площади территории с ростом высоты над уровнем моря наблюдаются три различные экосистемы. Черневой пояс, высота над уровнем моря до 500 м – тип леса: кедровник крупнотравно-папортниковый. Интенсивные вырубki последних 50-ти лет привели к формированию на местах вырубok гетерогенных по составу насаждений – пихтовых, березовых, осиновых. Горно-таежный, 500-1000 м, - кедровник черничный. Субальпийский, 1000-1500 м – кедровник чернично-зеленомошный.

Для целей корректировки была модифицирована модель GloPEM для данных коэффициента отражения MODIS 500 метров. Проведена корректировка спутниковых данных в соответствии с наземными измерениями.

Результат показал, что при расчете ЧПП по спутниковым модельным данным необходимо учитывать фенологические особенности разных видов лесной растительности (рис. 2).

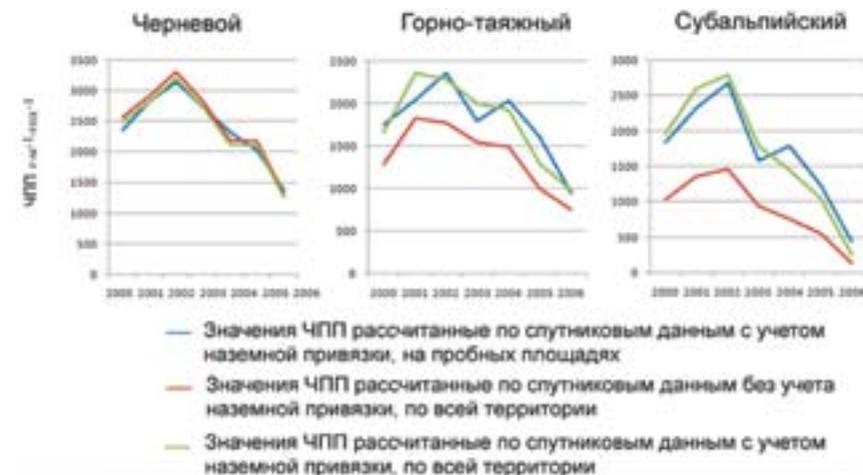


Рис. 2 Сравнение скорректированных и нескорректированных значений ЧПП по всей исследуемой территории и по пробным площадям

Таким образом, было показано, что для дальнейшего углубления понимания динамики ЧПП необходима корректировка существующих глобальных моделей на большее количество типов растительного покрова.

Разработка методов для изучения многолетней динамики растительного покрова на глобальном и региональном уровне

Выводы, сделанные с помощью глобальных моделей ЧПП необходимо подтверждать посредством динамики NDVI и температуры. Т.к. динамика NDVI, рассчитанная в пределах одного биома (например, бореальные леса) отражает динамику первичной продукции. Кроме того, по NDVI временной ряд имеет протяженность с 1982 г.

Районами исследования являлись горная тайга Западного Саяна и бореальные леса Северной Евразии. Для выделения трендов использовались непараметрические методы STL (Seasonal-Trend Decomposition) и SSA (Spectral Singular Analysis) [2,3,4].

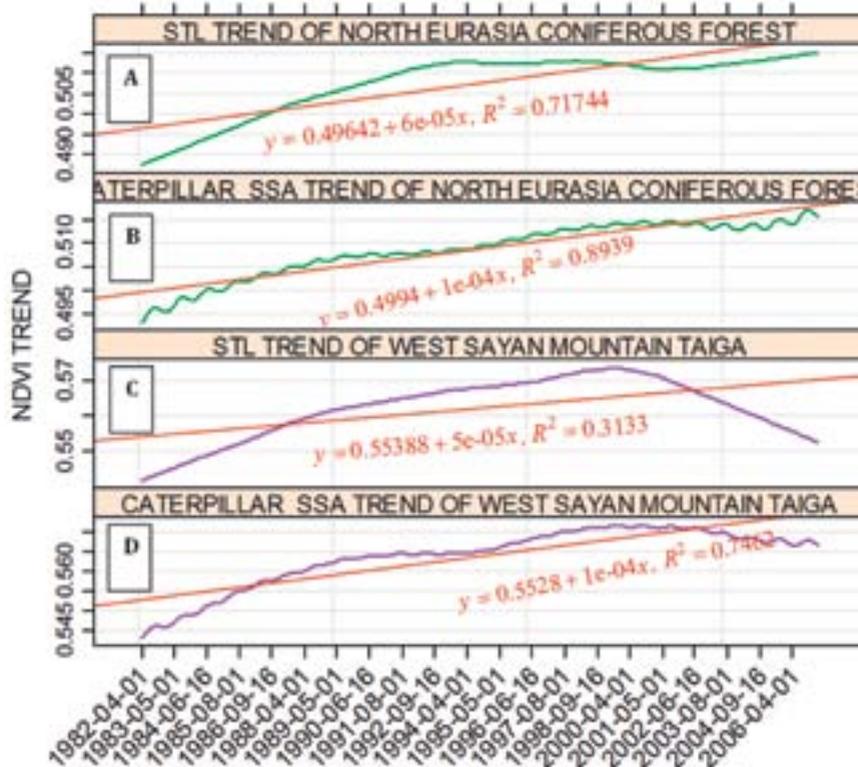


Рис. 3 Тренды AVHRR-GIMMS 1982-2006, полученные методами STL и SSA. А – STL, В – SSA, Хвойные и смешанные леса Северной Евразии, С – STL, D – SSA, Горная тайга западного Саяна.

По результатам работы найдено, что начиная с 1999-2000 гг. тренд NDVI, исследуемого района горной тайги, сменил направление с положительного на отрицательное (Рис. 3, 4). Сравнение с бореальным поясом Северной Евразии показало, что хотя смены направления тренда еще не произошло, наблюдается явное снижение скорости роста, т.е. выход на «плато».

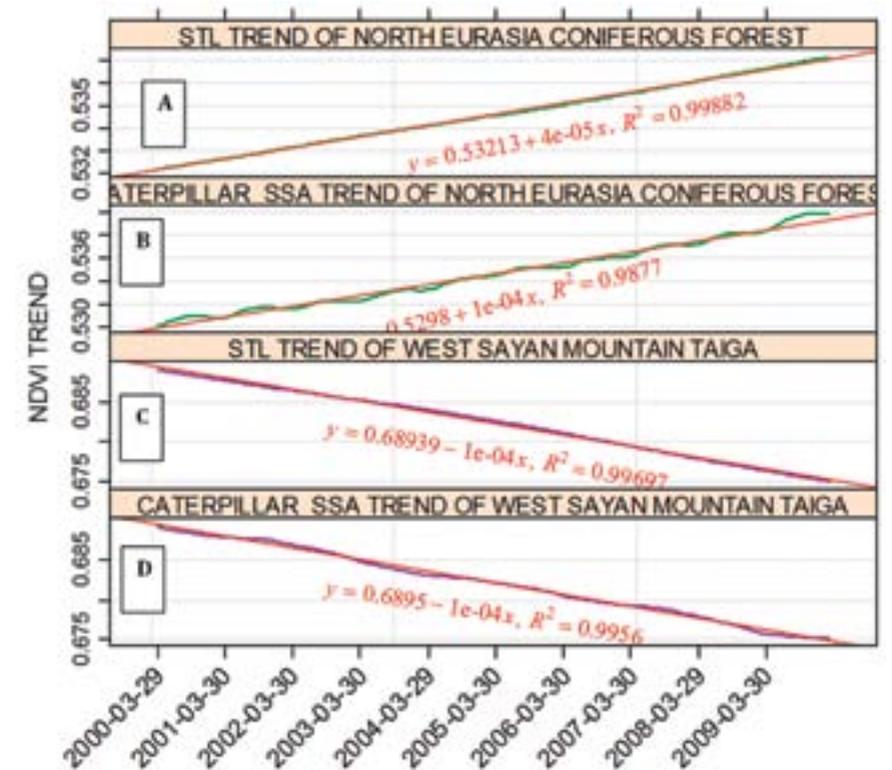


Рис. 4 Тренды NDVI MODIS 2000-2009, полученные методами STL и SSA. А – STL, В – SSA, Хвойные и смешанные леса Северной Евразии, С – STL, D – SSA, Горная тайга западного Саяна.

Анализ трендов радиационной температуры поверхности показал, что действительно, для выделенного района горной тайги тренд температуры снижается, в то время как для Северной Евразии повышается.

Для того чтобы исключить ошибку аппаратуры было проведено сравнение данных спектрорадиометров Terra и Aqua. Регрессионный анализ

по пересекающимся годам 2002-2010 показал высокую степень связи $r=0.996$ и $r=0.993$ для временных рядов и трендов соответственно.

Для того, чтобы исключить ошибку предварительной обработки данных, было проведено сравнение с данными температуры воздуха метеостанции «Ермаковское». В данном случае регрессионный анализ так же показал достаточно высокую степень связи, $r=0.96$ и $r=0.79$ для временных рядов и трендов соответственно. Так же, была найдена довольно высокая степень связи между временными рядами и трендами температуры воздуха и NDVI. Тренды температуры воздуха Северной Евразии по данным NCEP-DOE Reanalysis 2 так же подтверждают тренд, найденный на основе спутниковых данных.

Так же было обнаружено, что найденные тенденции развития NDVI, в общем, соответствуют некоторым литературным источникам. В ряде работ делается предположение, что если температура будет продолжать повышаться, продуктивность растительности северного полушария сменить свой знак с положительного на отрицательный. Однако, как правило, исследуются линейные тренды, которые все еще показывают положительный общий тренд. Отрицательные линейные тенденции были найдены только в некоторых областях.

Таким образом, в работе была показана важность определения нелинейных трендов развития растительности. Эта важность была доказана посредством определения нелинейных трендов NDVI в течение 1982-2009 гг.

Определение зон стационарного весеннего развития растительности методом угловых коэффициентов

Известно, что динамика лесной растительности связана с антропогенным и климатическим воздействием на лесные экосистемы. Особый интерес представляют фенологические изменения лесной растительности в переходные периоды. Изучение изменчивости в такие периоды может обеспечить получение входных данных для моделей углеродного цикла, т.к. скорость, начало и конец вегетационного периода имеют большое значение при оценке потребления растительностью углекислого газа.

Основной характеристикой фенологических изменений была выбрана скорость вегетации – тангенс угла наклона касательной к кривой возрастания или убывания вегетационного индекса во времени, характеризующий скорость изменения фенологических стадий растительности [5,6].

Для расчетов использовался NDVI и EVI (Enhanced Vegetation Index).

В результате была разработана методика угловых коэффициентов, позволяющая проводить сравнительный анализ динамического со-

стояния экосистем [7]. На основе методики угловых коэффициентов рассчитаны скорости весеннего роста лесной растительности района Минусинской котловины и Западного Саяна 2000-2009 гг. На основе 10-летних данных скоростей роста рассчитан коэффициент вариации, на основе которого были выявлены зоны со стационарным и аномальным весенним развитием (Рис. 5).

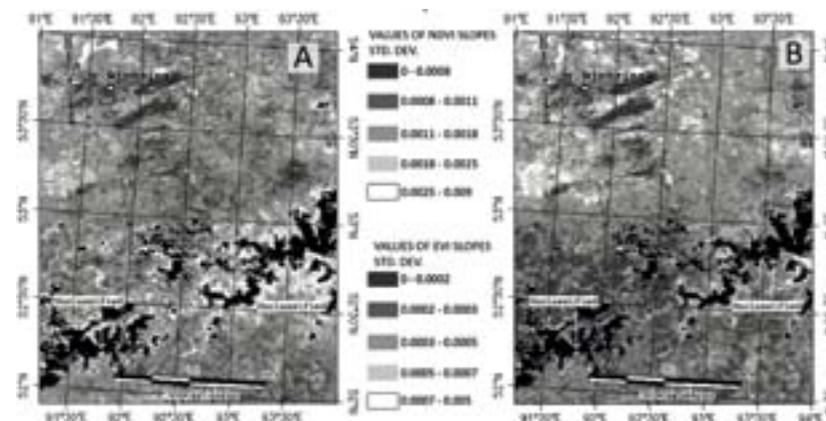


Рис. 5. Коэффициент вариации скоростей вегетации, рассчитанное на основе А - NDVI и В - EVI. Среднее за весну 2000-2009гг.

Методика автоматической классификации на основе линейного преобразования временного ряда спутниковых изображений

В настоящее время большинство методов классификации растительного покрова, основано на наличии большого объема обучающих выборок. Однако, экспертная информация, необходимая для формирования обучающей выборки, не всегда доступна в полном объеме и статистически значима. Например, для ряда лесных районов Сибири последние материалы лесоустройства датируются 90-ми годами прошлого века.

С другой стороны, одиночные космоснимки практически всегда содержат определенную долю шума, обусловленную атмосферными явлениями и ошибками аппаратуры. Однако, если рассматривать временной ряд различных параметров космической съемки (NDVI, температура, NPP и др.) в течение вегетационного периода, то возможно отделение сигнала от шума, выявление полезной информации. Кроме того, появляется новый тип информации, позволяющий выходить на интегральные физиологические свойства растительного покрова. Таким образом, в работе излагается новая методика автоматической классификации территории на основе динамики вегетационных индексов.

Классическим методом для отделения сигнала от шума, в многомерном пространстве, является метод главных компонент. Кроме того к настоящему времени разработан ряд методов использующих идею метода главных компонент. Т.е. идею линейного или нелинейного преобразования многомерного пространства. Таким многомерным пространством может являться временной ряд спутниковых изображений. В данном случае большое значение имеет частота повторения космосъемки определенной территории и длительность архива данных. По этой причине в этой работе используются данные спектрорадиометра MODIS.

Метод автоматически выделяет фенологически схожие пространственные структуры растительного покрова. Последующий анализ позволяет идентифицировать принадлежность полученных классов.

Для выделения главных компонент был использован метод MNF (Minimum Noise Fraction) [8]. Кластеризация проводилась методом Kernel K-Means. В качестве метода классификации с учителем был выбран Support Vector Machines.

На рис. 6 представлена схема разработанной методики.



Рис. 6. Схема работы методики

В качестве проверочных классов был выбран ряд регионов соответствующих основным типам ландшафтов юга Красноярского края и Хакасии (Рис. 7-8). Проверочные классы были выделены на основе данных лесоустройств, DEM и анализа изображений высокого разрешения.

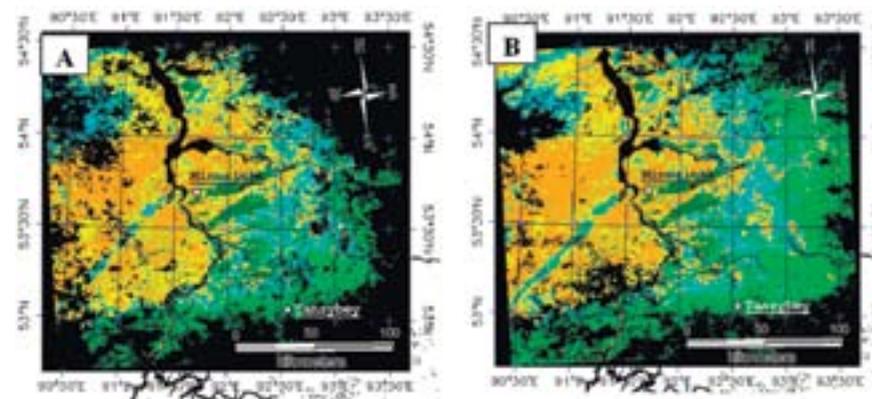


Рис. 7 Результат автоматической классификации. А-2001, В-2002

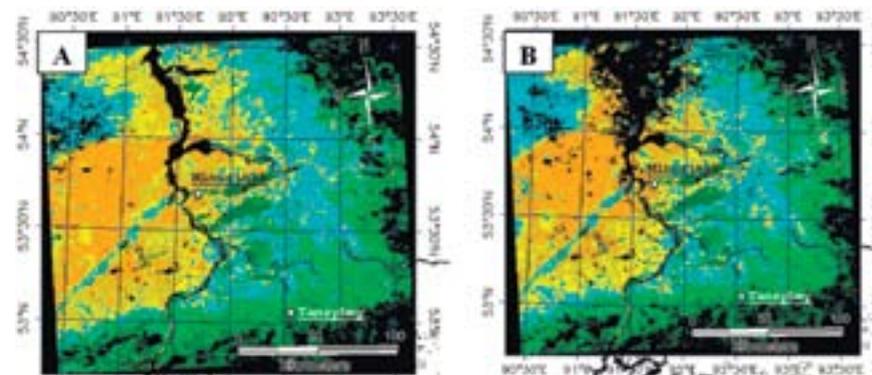


Рис. 8 Результат автоматической классификации. А-2009, В-2010

В результате расчета матрицы ошибок было получено, что общая точность равна 81.65%.

Методика выявляет особенности сезонной изменчивости вегетационных индексов рассматриваемой территории. Это, в свою очередь, является оценкой фенологической изменчивости растительного покрова в течение вегетационного сезона.

Можно предположить, что при прочих равных условиях, при отсутствии событий катастрофического характера, такая изменчивость будет зависеть от типа растительности. Достаточно высокая точность классификации подтверждает это предположение.

Кроме очевидной практической значимости, с точки зрения классификации растительного покрова, данная методика, при дальнейшем развитии, даст возможность уточнить алгоритмы расчета чистой первичной продукции по спутниковым данным. Это объясняется тем, что одним из факторов, вносящим искажения в расчет первичной продукции, является грубая оценка пространственного разнообразия типов растительности.

Недостатком предложенной методики является то, что метод MNF, так же как метод главных компонент, не может работать с пропущенными данными. Это ведет к многочисленным пропускам в получаемом результате, который формируется всеми изображениями временного ряда в течение сезона (Рис. 7-8). Решением является сокращение длины временного ряда посредством отсеивания изображений с большим числом выпадающих пикселей. Однако в данной методике большое значение имеет весенний период, в течение которого часто наблюдаются неблагоприятные атмосферные условия.

Разработана методика автоматического выделения пространственного распределения различных типов растительности. Методика основана на линейном преобразовании многомерного пространства состояний растительного покрова. В качестве решающего фактора используются временные характеристики отражательной способности растительного покрова. Такой подход является весьма эффективным, так как эти характеристики учитывают динамику физиологического состояния растительности, а она, как известно, тесно связана с видовым составом, условиями произрастания и их эндогенными и экзогенными изменениями.

Заключение

Представлены результаты работы лаборатории экологической информатики в области оценки динамики растительности спутниковыми методами.

Показан глобальный тренд NPP за 1982-2000гг. Найденному тренду соответствует тренд NDVI по Северной Евразии за этот же период. Показано, что в настоящее время имеется тенденция к замедлению фотосинтетической активности. В то же время имеется линейная тенденция увеличения температуры. Показано, что для более точного определения динамики NPP необходима корректировка результатов с учетом особенностей большего числа биомов, чем используется в настоящее время.

Разработана методика автоматической классификации растительного покрова.

Разработана методика позволяющая находить зоны стационарного весеннего развития растительности.

Библиографический список

1. Prince, S. D. and S. J. Goward. 1995. Global primary production: a remote sensing approach, *Journal of Biogeography* 22 : 316-336.
2. Cleveland R. B., Cleveland W. S., McRae J.E., and Terpenning I. (1990) STL: A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess. *Journal of Official Statistics*, 6, 3-73.
3. Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница» / Под ред. Д.А. Данилова, А.А. Жиглявского. СПб.: Пресском, 1997. 308с.
4. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница» SSA: анализ временных рядов. СПб.: СПб. ун-т, 2004. 74с.
5. Shevyrnogov A.P., Vysotskaya G., Sidko A., Dunaev K. Typification of natural seasonal dynamics of vegetation to reveal impact of land surface change on environment (by satellite data) (2000)// *Adv. Space Res.* Vol. 26. No. 7. pp. 1131-1133.
6. Zhang, X., Hodges, J., Schaaf, C., Friedl, M., Strahler, A. and Gao, F., "Global Vegetation Phenology from AVHRR and MODIS Data," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2001. IGARSS'01. IEEE2001 International, vol. 5, 2001, pp. 2262-2264 vol.5.
7. Chernetskiy M., Pasko I., Slyusar N., Shevyrnogov A., Khodyayev A., A study of forest vegetation dynamics in the south of the Krasnoyarskii Krai in spring. *Advances in Space Research*, 2011, In print.
8. Green, A. A., Berman, M., Switzer, P., and Craig, M. D., 1988, A transformation for ordering multispectral data in terms of image quality with implications for noise removal: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 26, no. 1, p. 65-74.

Сведения об авторах

Чернецкий Максим Юрьевич, ведущий математик лаборатории экологической информатики Института биофизики СО РАН, Красноярск, Академгородок, 660036, +79232845059, mchernetskiy@gmail.com.

Шевырнов Анатолий Петрович, зав. лаб. лаборатории экологической информатики, зам. директора Института биофизики СО РАН, Красноярск, Академгородок, 660036, д.т.н., профессор, 2494603, ar@ibp.ru.

Использование биоиндикаторов для мониторинга радиоактивного загрязнения бассейна реки Енисей

А.Я. Болсуновский, Д.В. Дементьев,

Институт биофизики Сибирского отделения РАН

В работе исследовали накопление радионуклидов отдельными видами организмов в экосистемах бассейна р. Енисей вблизи ГХК. Водный мох (*Fontinalis antipyretica*) наиболее активно накапливает радионуклиды и может служить видом-биоиндикатором при оценке уровня радиоактивного загрязнения водной среды. Для лесных экосистем грибы *Suillus granulatus* и *S. luteus* могут быть видами-биоиндикаторами загрязнения почв ^{137}Cs . Ягодные кустарники *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* аккумулируют широкий перечень радионуклидов (включая трансураниевые элементы), однако ^{137}Cs накапливают значительно меньше чем грибы.

Река Енисей – основная водная артерия Красноярского края, является одной из крупнейших рек мира. На берегу реки вблизи г. Железногорска расположен Горно-химический комбинат (ГХК) Росатома, многолетняя деятельность которого привела к радиоактивному загрязнению поймы реки [1-6]. В апреле 2010 г. на ГХК был остановлен последний ядерный реактор АДЭ-2 – один из источников поступления техногенных радионуклидов в р. Енисей. Кроме реактора, в р. Енисей осуществляются технологические сбросы радиохимического завода и других производств ГХК. Сотрудники ГХК и государственные контролирующие органы осуществляют постоянный мониторинг за поступлением радионуклидов в окружающую среду с выбросами ГХК. Несмотря на то, что содержание радионуклидов в водных сбросах и воздушных выбросах ГХК не превышает существующие нормативы [7-8], актуальной проблемой является интенсивное накопление радионуклидов в живых организмах. Известно, что отдельные виды организмов водных и наземных экосистем могут накапливать радионуклиды с высокими коэффициентами накопления. Среди гидробионтов водные растения являются важным компонентом водных экосистем и обладают способностью активно накапливать радионуклиды, в том числе трансураниевые элементы, в своей биомассе, что позволяет их использовать для биомониторинга и биоремедиации [3-6]. Для наземных экосистем грибы и ягодные кустарники являются биоиндикаторами радиоактивного загрязнения территорий [9,10]. Ранее для территорий вблизи ГХК не

проводился комплексный радиоэкологический мониторинг с использованием видов-биоиндикаторов.

Целью работы является выбор видов организмов, перспективных для оценки уровня поступления радионуклидов в окружающую среду со сбросами предприятий ядерного-топливного цикла (на примере ГХК).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов водной экосистемы были разные виды погруженных водных растений: *Fontinalis antipyretica* (водный мох), *Potamogeton lucens* (рдест блестящий), *Ceratophyllum demersum* (роголистник) и другие. Пробы воды и водных растений р. Енисей отбирали во время экспедиционных исследований как вблизи ГХК (около сёл Атаманово, Б. Балчуг и Усть-Кан), так и на расстоянии до 200-250 км по течению реки от ГХК (вблизи сёл Захаровка, Каргино и Стрелка). В качестве контроля отбирали пробы растений выше по течению от ГХК в районе г. Красноярска и с. Есаулово (рис. 1). Объектами исследований в лесных экосистемах были пробы почвы, разные виды грибов и ягодных кустарников. Среди грибов особый интерес представляли виды *Suillus granulatus* (маслёнок зернистый) и *S. luteus* (маслёнок поздний), среди ягодных кустарников – виды *Rubus idaeus* (малина) и *Ribes nigrum* (чёрная смородина). Пробы грибов, кустарников и почвы собирали вблизи населенных пунктов: г. Красноярск – присутствуют только глобальные выпадения радионуклидов; незатапливаемые участки возле г. Железногорск (66 км вниз по течению от Красноярска), с. Атаманово (88 км) и с. Б. Балчуг (98 км) – загрязнённые в результате аэрозольных выпадений от ГХК; пойменные участки с. Атаманово (остров) и с. Б. Балчуг (берег и остров) – загрязнённые в результате водных сбросов ГХК (рис. 1).



Рис. 1. Карта-схема района отбора проб (Красноярский край)

После отбора пробы водных растений, кустарников и грибов разделяли на виды, высушивали, и часть проб озоляли при 450°C. Собранные в период плодоношения образцы ягодных кустарников разделяли на органы (ветки, листья, ягоды), высушивали и часть проб также озоляли. Удельную активность γ -излучающих радионуклидов в навесках определяли на γ -спектрометре Canberra (США) с полупроводниковым германиевым детектором GX2320. Полученные γ -спектры обрабатывали в программном пакете Canberra GENIE-2000 (США). Результаты приведены на дату отбора проб. Радиохимические исследования проб на содержание α -излучающих изотопов (^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am и $^{243,244}\text{Cm}$) и β -излучающего ^{90}Sr проводили в МосНПО "Радон" (Москва). Методики и приборное оборудование для анализа на радиостронций и трансураниевые радионуклиды приведены в работе [11]. Все удельные активности радионуклидов приведены на воздушно-сухую массу образцов.

Численной характеристикой интенсивности накопления радионуклидов из почвы в грибы и растения является коэффициент накопления (КН): $КН = A_f/A_s$, где A_f – удельная активности радионуклида в биомассе организма, A_s – удельная активности радионуклида в почве.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Радионуклиды в водных растениях

Как следует из опубликованной работы в соавторстве со специалистами ГХК [1], а также отчётов по экологической безопасности ГХК за 2008-2009 гг. [7-8] до остановки реактора (апрель 2010) в р. Енисей поступала вода после охлаждения ядерного реактора, а также сбросы других подразделений ГХК. Согласно этим данным в р. Енисей поступали следующие радионуклиды активационного происхождения: ^{24}Na , ^{32}P , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{64}Cu , ^{65}Zn , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{239}Np и др. В табл. 1 приведён радионуклидный состав водных растений, отобранных вблизи ГХК (с. Атаманово). В водных растениях до остановки последнего реактора ГХК зарегистрирован практически весь перечень радионуклидов, характерный для сброса ГХК [3-6]. Из данных табл. 1 следует отметить повышенные концентрации радионуклидов ^{24}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{76}As , ^{137}Cs , ^{239}Np в водных растениях. Содержание ^{32}P было самым максимальным среди всех радионуклидов – до 59000 Бк/кг. Кроме ^{239}Np в биомассе растений зарегистрированы и другие трансураниевые элементы – изотопы плутония и америций. Среди исследованных видов макрофитов, *F. antipyretica* (водный мох) показал наибольшую аккумулирующую способность по отношению к техногенным радионуклидам [3-5]. Водный мох является круглогодично растущим видом и часто используется для биомониторинга содержания радионуклидов и тяжелых металлов в воде. Сравнительный анализ содержа-

ния радионуклидов в различных частях водного растения *Potamogeton lucens* (листья и стебель) показал, что удельная активность всех техногенных радионуклидов в листьях выше таковой в стеблях.

Радионуклиды техногенного происхождения регистрировались в биомассе растений не только вблизи ГХК, но и на расстоянии до 250 км от ГХК по течению реки [3-5]. В пробах рдеста блестящего на расстоянии до 250 км от ГХК, было зарегистрировано до 10 техногенных радионуклидов, в том числе ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{137}Cs и ^{152}Eu . Полученные данные не согласуются с позицией специалистов ГХК, которые утверждали, что сбросы реактора могут быть обнаружены в р. Енисей только вблизи ГХК. В листьях рдеста, отобранного возле с. Захаровка на расстоянии около 200 км по течению реки от места сброса вод ГХК, также обнаружены долгоживущие радионуклиды ^{90}Sr и изотопы Pu . Выше по течению от ГХК в водных растениях регистрировался только один техногенный радионуклид глобального происхождения ^{137}Cs и его активность не превышала 2 Бк/кг [5].

Полученные данные по содержанию радионуклидов в водных растениях р. Енисей свидетельствуют, что, кроме короткоживущих активационных радионуклидов в биомассе регистрируются и долгоживущие радионуклиды, включая изотопы плутония. Долгоживущие радионуклиды могут поступать в растения как из текущих сбросов радиохимического завода ГХК, так и из донных отложений в районе вегетации растительности. Водное растение *Fontinalis antipyretica* (водный мох) с учётом высокой аккумулирующей способности радионуклидов может служить видом-биоиндикатором при проведении радиоэкологических исследований и оценке уровня радиоактивного загрязнения водной среды.

Таблица 1. Радионуклидный состав водных растений р. Енисей отобранных вблизи ГХК (с. Атаманово) в 1997-2009 гг.

Радионуклиды	<i>Potamogeton lucens</i> (листья)	<i>Potamogeton lucens</i> (стебли)	<i>Fontinalis antipyretica</i>	<i>Ceratophyllum demersum</i>
^{24}Na	1950	—	1850	1180
^{46}Sc	90	40	310	90
^{51}Cr	2680	1800	4260	2300
^{54}Mn	50	45	80	60
^{58}Co	90	70	120	80
^{59}Fe	40	24	78	31
^{60}Co	420	330	790	425
^{65}Zn	540	290	330	750
^{76}As	340	—	330	100
^{95}Zr	6	3	17	8

⁹⁵ Nb	30	23	38	8
¹⁰³ Ru	13	10	21	12
¹⁰⁶ Ru	7	14	22	60
¹³¹ I	21	10	35	21
¹³⁴ Cs	1.5	1.2	8.4	—
¹³⁷ Cs	100	55	660	46
¹⁴⁰ Ba	70	—	85	20
¹⁴⁰ La	60	—	106	23
¹⁴¹ Ce	40	50	85	49
¹⁴⁴ Ce	25	15	80	45
¹⁵² Eu	23	12	68	14
¹⁵⁴ Eu	7	3	20	5
¹⁵⁵ Eu	4	1.7	4	—
²³⁹ Np	800	370	1490	1040
²⁴¹ Am	—	—	5	5
³² P	40000	—	59000	—
⁹⁰ Sr	3.1	7.1	4	—
^{239,240} Pu	0.4	0.4	3.4	—

Радионуклиды в грибах

В исследованных 12 видах грибов (табл. 2) из техногенных γ -излучающих радионуклидов, присутствующих в почвах, накапливается только ¹³⁷Cs, для которого наблюдается ярко выраженная видовая зависимость и видовые различия в уровнях накопления достигают двух порядков величины. Так для грибов, собранных в районах с аэрозольным поступлением радионуклидов (“Железногорск”, “Атаманово (село)”, “Балчуг (село)”), удельная активность ¹³⁷Cs изменяется от единиц до сотен Бк/кг [12]. На участке “Атаманово (остров)” удельная активность ¹³⁷Cs в грибах разных видов изменяется от 100 до 10000 Бк/кг. Из изученных видов грибов, биоиндикативные свойства проявляют *S. granulatus* и *S. luteus*: они показали максимальные уровни содержания ¹³⁷Cs и широко распространены на данной территории. Достоверных различий в накоплении ¹³⁷Cs между этими двумя видами не выявлено. Из полученных данных следует, что в пределах одного района удельная активность ¹³⁷Cs в плодовых телах грибов может отличаться в несколько раз (табл. 3), что может быть обусловлено “пятнистым” характером загрязнения территорий, а также неоднородностью почвенного покрова.

Средняя удельная активность ¹³⁷Cs в *S. granulatus* из районов, подверженных только аэрозольным радиоактивным выбросам ГХК, в 2-4 раза выше содержания ¹³⁷Cs в грибах контрольного района “Красноярск” (табл. 3). На пойменных участках удельная активность ¹³⁷Cs в *S.*

granulatus и *S. luteus* достигала 10200 Бк/кг, что превышает установленный российскими нормативами предел (2500 Бк/кг по [13]) и сопоставимо с уровнями накопления, наблюдаемые на отдельных участках 30-км зоны Чернобыльской АЭС [14].

Таблица 2. Исследованные виды грибов

Семейство	Латинское название
Boletaceae	<i>Boletus edilus</i> Bull.: Fr.
	<i>Leccinum scabrum</i> (Bull.:Fr.) S.F. Gray
	<i>Suillus granulatus</i> (L.: Fr.) Roussel
	<i>Suillus luteus</i> (L.: Fr.) Roussel
Cantharellaceae	<i>Cantharellus cibarius</i> Fr.
Hydnaceae	<i>Hydnum repandum</i> L.: Fr.
Russulaceae	<i>Lactarius deliciosus</i> (L.: Fr.) S.F. Gray
	<i>Lactarius resimus</i> (Fr.: Fr.) Fr.
	<i>Russula foetens</i> Pers.: Fr.
	<i>Russula vesca</i> Fr.
Tricholomataceae	<i>Armillaria mellea</i> (Vahl : Fr.) Kumm
	<i>Lyophyllum gambosum</i> (Fr.) Sing

Таблица 3. Удельная активность ¹³⁷Cs в *S. granulatus* and *S. luteus*, Бк/кг сухой массы

Пути поступления радионуклидов	Место отбора	¹³⁷ Cs (среднее)	¹³⁷ Cs (max)
Аэрозольный	“Атаманово (село)”	160±20	304
	“Балчуг (село)”	230±30	360
	“Железногорск”	180±20	325
	“Красноярск”	53±7	130
Водный	“Атаманово (остров)”	5200±550	10200
	“Балчуг (берег)”	1700±50	1800

В исследованных районах с аэрозольными выпадениями ¹³⁷Cs абсолютное содержание этого радионуклида в *S. granulatus* и *S. luteus* увеличивается линейно с увеличением содержания ¹³⁷Cs в почвах. Рассчитанные средние значения коэффициентов накопления для ¹³⁷Cs составляют 3.0±0.3. Для проб маслят из районов с водным источником поступления ¹³⁷Cs в почву отмеченная выше линейность в накоплении

^{137}Cs нарушается. Здесь значения коэффициента накопления ^{137}Cs возрастают более чем в 5 раз. Проведённые исследования накопления радионуклидов грибами подтверждают, что грибы видов *S. granulatus* и *S. luteus* являются аккумуляторами радиоцезия. Величина изменения рассчитанных значений КН ^{137}Cs совпадает с полученными ранее данными других исследователей [10].

Радионуклиды в ягодных кустарниках

Загрязнение почв на изучаемой территории носит неоднородный характер вследствие сложного рельефа и разных источников поступления радионуклидов. В настоящее время в пойменных почвах ниже по течению от ГХК определяются ^{60}Co , ^{137}Cs , $^{152,154}\text{Eu}$, ^{90}Sr , ^{238}U , а также изотопы трансурановых элементов: ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am и $^{243,244}\text{Cm}$ [11,15]. На исследованных участках в пробах кустарников *Ribes hispidulum*, *Ribes nigrum*, *Rosa majalis*, *Rubus idaeus* и *Viburnum opulus* измеренная максимальная удельная активность ^{137}Cs составляет 64 Бк/кг, ^{60}Co – до 8 Бк/кг. Наблюдаемые уровни накопления ^{137}Cs растениями на 2-3 порядка ниже, по сравнению с грибами. Также для выбранных видов ягодных кустарников характерны межвидовые вариации в накоплении ^{137}Cs не более чем в 2 раза, в то время как для грибов этот показатель на данных участках достигает 2 порядков. На участках только с аэрозольным поступлением радионуклидов в собранных образцах кустарников зарегистрирован только ^{137}Cs с уровнями активности близких к пределу обнаружения. В видах *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* отмечено повышенное накопление ^{137}Cs , поэтому они были выбраны для более детального изучения, включая радиохимический анализ [11,15]. В надземных органах *Ribes nigrum* удельная активность ^{60}Co и ^{137}Cs в листьях в 1.5-3 раза выше, чем в ветках, что можно объяснить проводящей функцией ветвей в период активной вегетации. Распределение ^{137}Cs по органам кустарников *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* одинаково. По результатам радиохимического анализа ^{90}Sr в *Ribes nigrum* в наибольшей степени накапливается в листьях (до 60 Бк/кг) и в наименьшей в ягодах – до 3.8 Бк/кг [15].

Пойма р. Енисей загрязнена техногенными радионуклидами, являющихся как продуктами активации стабильных изотопов, так и продуктами деления ^{238}U . Можно предположить, что вместе с техногенными радионуклидами в окружающую среду происходит поступление ^{238}U и трансурановых элементов (изотопы Pu, Am, Cm). Результаты определения содержания ^{238}U в ягодных кустарниках *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* показывают, что ^{238}U в *Ribes nigrum* преимущественно накапливается в ветках и листьях. В работах по накоплению естественных радионуклидов показано, что для древесных и кустарниковых расте-

ний характерно большее накопление данных нуклидов в старых органах (ствол, ветви), чем в молодых (листья, хвоя) [16,17]. Диапазон концентрации ^{238}U в надземных органах составляет 0.012-0.14 мг/кг. В пробах наиболее загрязнённого радионуклидами пойменного участка «Атаманово (остров)» был проведён анализ на содержание трансурановых элементов [11]. Максимальное накопление изотопов трансурановых элементов в надземной фитомассе *Ribes nigrum* определено в листьях ($^{239,240}\text{Pu}$ до 0.4 Бк/кг; $^{243,244}\text{Cm}$ до 0.05 Бк/кг) и ягоде ($^{239,240}\text{Pu}$ до 0.88 Бк/кг и $^{243,244}\text{Cm}$ до 0.03 Бк/кг).

Оценку способности кустарников накапливать в своей биомассе радионуклиды проводили по рассчитанным коэффициентам накопления (КН). Наибольшие значения КН ^{137}Cs наблюдаются в листьях и ягодах (до 0.029) видов *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum* (рис. 2). Полученные значения КН ^{137}Cs в ягодах данных видов хорошо согласуются с полученными ранее данными (0.020-0.034) [15]. Наиболее интенсивно в *Ribes nigrum* накапливается ^{90}Sr , для которого КН в листьях достигает 1.9, в ветках – 0.9, в ягодах – 0.25, что сопоставимо с КН ^{137}Cs в грибах с этой же территории [12,15].

Полученные низкие значения КН ^{90}Sr в ягодах по сравнению с другими органами *Ribes nigrum* хорошо согласуются с данными по черномыльским выпадениям (0.26-0.66) [18]. По рассчитанным КН было получено, что накопление ^{137}Cs органами кустарников возрастает в ряду «ветки < листья ≤ ягода», а для ^{90}Sr – в ряду «ягода < ветки < листья» [15]. Наибольшие значения КН ^{238}U характерны для веток растений. Полученный диапазон значений КН ^{238}U (0.004-0.018), как видно из рис. 2 пересекается с диапазоном КН ^{137}Cs (0.009-0.029).

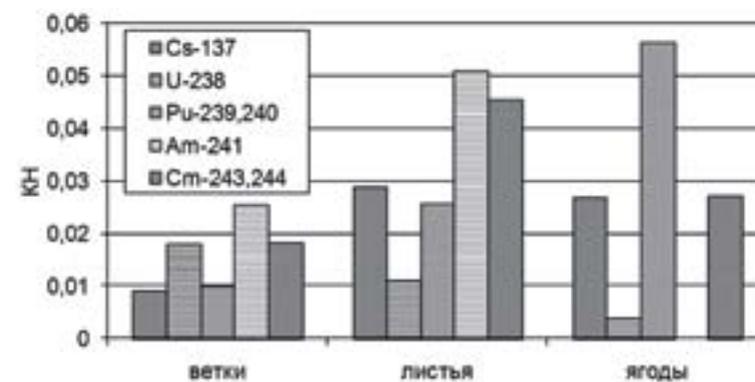


Рис. 2. Коэффициенты накопления радионуклидов в *Ribes nigrum* пойменного участка «Атаманово (остров)»

Трансурановые элементы в надземной фитомассе *Ribes nigrum*, так же как и ^{137}Cs , наиболее интенсивно накапливаются в листьях и ягоде. По рассчитанным КН (рис. 2) было получено, что накопление $^{243,244}\text{Cm}$ в органах смородины возрастает в ряду «ветки < ягоды < листья», $^{239,240}\text{Pu}$ – «ветки < листья < ягоды». Для надземных органов *Ribes nigrum* КН трансурановых радионуклидов (0.01-0.056) сопоставимы или выше КН ^{238}U и ^{137}Cs . По опубликованным ранее данным [9,20] КН актиноидов Pu и Am на порядок меньше КН ^{137}Cs . Полученные нами более высокие значения КН трансурановых элементов могут быть связаны с различиями в формах поступления трансурановых радионуклидов в почву на исследуемой территории.

ВЫВОДЫ

1. В водных растениях р. Енисей, отобранных вблизи ГХК до 2009 года, зарегистрировано около 30 техногенных радионуклидов с максимальной удельной активностью до 59000 Бк/кг (для ^{32}P). Радионуклиды техногенного происхождения отмечены в биомассе растений не только вблизи ГХК, но и на расстоянии до 250 км от ГХК по течению реки. Долгоживущие радионуклиды, включая трансурановые элементы, могут поступать в растения как из текущих сбросов ГХК, так и из донных отложений в районе вегетации растительности. Водный мох (*Fontinalis antipyretica*) с учетом высокой аккумулирующей способности радионуклидов может служить видом-биоиндикатором при оценке уровня радиоактивного загрязнения водной среды.

2. Из обнаруженных в пойменных почвах техногенных радионуклидов в исследованных видах макромицетов накапливается только ^{137}Cs . Для вида-биоиндикатора *S. granulatus* из районов с водным источником поступления ^{137}Cs максимальная удельная активность достигает 10000 Бк/кг. В исследованных районах с аэрозольными выпадениями ^{137}Cs абсолютное содержание этого радионуклида в видах-биоиндикаторах *S. granulatus* и *S. luteus* увеличивается линейно с увеличением содержания ^{137}Cs в почвах. Данная закономерность нарушается для проб грибов, собранных в районах с паводковым источником поступления ^{137}Cs в почву.

3. В изученных видах ягодных кустарников в надземной фитомассе накапливается широкий спектр радионуклидов: ^{60}Co , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{238}U , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am , $^{243,244}\text{Cm}$. Максимальное содержание ^{137}Cs зафиксировано в ягодах *Ribes nigrum* – до 64 Бк/кг. Среди техногенных радионуклидов максимальный уровень концентрирования в фитомассе кустарников наблюдается для ^{90}Sr в *Ribes nigrum*, КН которого достигает в листьях 2. Наибольшее значение КН ^{137}Cs наблюдается в ягодах и листьях *Rubus idaeus* и *Ribes nigrum*. Диапазон значений КН ^{60}Co и

^{238}U , по порядку величины совпадает с диапазоном КН ^{137}Cs . Накопление трансурановых элементов в органах *Ribes nigrum* возрастает для $^{239,240}\text{Pu}$ в ряду «ветки < листья < ягоды» и $^{243,244}\text{Cm}$ в ряду «ветки < ягоды < листья». КН трансурановых радионуклидов (0.01-0.056) сопоставимы или выше КН ^{238}U и ^{137}Cs .

Библиографический список

1. Кузнецов Ю.В., Ревенко Ю.А., Легин В.К. и др. К оценке вклада реки Енисей в общую радиоактивную загрязненность Карского моря // Радиохимия, 1994, т.36, вып.6, С. 546-559.
2. Болсуновский, А.Я., Ермаков, А.И., Мясоедов, Б.Ф., Новиков, А.П., Соболев, А.И. Новые данные по содержанию трансурановых элементов в донных отложениях реки Енисей // Доклады Академии наук. 2002. Т. 387. № 2. С. 233-236.
3. Болсуновский, А.Я., Ермаков, А.И., Бургер, М., Дегерменджи, А.Г., Соболев А.И. Накопление техногенных радионуклидов водными растениями реки Енисей в зоне влияния Горно-химического комбината // Радиационная биология. Радиоэкология. 2002. Т.42. №2. С. 194-199.
4. Сухоруков, Ф.В., Дегерменджи, А.Г., Болсуновский, А.Я., Белолипецкий, В.М., Косолапова Л.Г. и др. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине реки Енисей. – Новосибирск.: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. 286 с.
5. Bolsunovsky, A. Artificial radionuclides in aquatic plants of the Yenisei River in the area affected by effluents of a Russian plutonium complex // Aquat. Ecol. 2004. V. 38 (1). P. 57-62.
6. Bolsunovsky, A., Bondareva, L. Actinides and other radionuclides in sediments and submerged plants of the Yenisei River // J. Alloy. Compd. 2007. V. 444-445. P. 495-499.
7. Отчет по экологической безопасности ФГУП «Горно-химический комбинат» за 2008 г. Железногорск. 27 с.
8. Отчет по экологической безопасности ФГУП «Горно-химический комбинат» за 2009 г. Железногорск. 37 с.
9. Carini F. Radionuclide transfer from soil to fruit // J. Environ. Radioactivity. 2001. V. 52. P. 237-279.
10. Gillett A.G., Crout N.M.J. A review of ^{137}Cs transfer to fungi and consequences for modelling environmental transfer // J. Environ. Radioactivity. 2000. V. 48. P. 95-121.
11. Bolsunovsky A., Ermakov A., Soboлев A. New data on transuranium elements in the ecosystem of the Yenisei River floodplain // Radiochim. Acta. 2007. V. 95(9). P. 547-552.

12. Болсуновский А.Я., Дементьев Д.В., Бондарева Л.Г. Оценка накопления техногенных радионуклидов грибами в зоне влияния Красноярского Горно-химического комбината // Радиационная биология. Радиоэкология. 2006. Т. 46, №1. С. 67-74.
13. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (СанПиН 2.3.2.1078-01). – М.: ЗАО «РИТ-Экспресс», 2002. – 208 с.
14. Зарубина Н.Е. Многолетняя динамика накопления радионуклидов грибами-макромицетами после аварии на Чернобыльской АЭС. Под ред.: Таскаев А.И. и др. Радиоэкологические исследования в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС (к 20-летию аварии на Чернобыльской АЭС). Тр. Коми НЦ УрО РАН, № 180. Сыктывкар, 2006. С. 152-167.
15. Bolsunovsky A.Ya., Dementyev D.V. Accumulation of artificial radionuclides by edible wild mushrooms and berries in the forests of the central part of the Krasnoyarskii Krai // Radioprotection. 2009. V. 44 (5). P. 115-120.
16. Ковалевский А.А., Ковалевская О.М. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поисков. Монография. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. 362 с.
17. Чевывелов А.П., Собакин П.И. Миграция естественных радионуклидов в техногенных таежно-мерзлотных ландшафтах Южной Якутии. Монография. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 138 с.
18. Lux D., Kammerer L., Ruhm W., Wirth, E. Cycling of Pu, Sr, Cs, and other longliving radionuclides in forest ecosystems of 30-km zone around Chernobyl // Sci. Total Environ. 1995. V. 173/174. P. 375-384.
19. Green N., Wilkins B.T., Hammond, D.J. Transfer of radionuclides to fruit // J. Radioanal Nucl Ch. 1997. V. 226 (1-2). P.195-200.

Сведения об авторах

1. **Болсуновский** Александр Яковлевич, доктор биологических наук, зав. лаборатории радиоэкологии ИБФ СО РАН, radecol@ibp.ru

2. **Дементьев** Дмитрий Владимирович, кандидат биологических наук, н.с. лаборатории радиоэкологии ИБФ СО РАН, dementyev@gmail.com

Адрес: 660036, Красноярск, Академгородок, д. 50, стр. 50, ИБФ СО РАН, тел.: 8 (391) 249-45-72, факс: 8 (391) 243-34-00.

Нормативно-правовое обеспечение тушения лесных пожаров

Г.А. Доррер, В.С. Коморовский, С.П. Якимов

ГОУ ВПО Сибирский государственный технологический университет

Центр НИОКР Сибирского филиала
Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

Аннотация

В работе рассмотрены вопросы нормативно-правового и методического обеспечения тушения лесных пожаров в Российской Федерации. Приведены основные положения федерального законодательства, указов Президента и постановлений Правительства, упомянуты основные стандарты, приведены ссылки на методическое обеспечение тушения и приказы различных ведомств. Проведен анализ документов, обозначен круг проблем, связанных с нормативным регулированием тушения лесных пожаров.

Введение

Тушение лесных пожаров – это сложный процесс, связанный с работой многих ветвей власти, организаций, служб и их взаимодействием между собой и с населением. Своевременное обнаружение, локализация и ликвидация природного (лесного, торфяного, степного и т.п.) пожара достигается эффективным планированием и работой на всех уровнях принятия решений: стратегическом, оперативном, тактическом; достаточным материально-техническим обеспечением; качественной подготовкой личного состава подразделений по борьбе с пожарами; использованием современных научно-технических разработок в области мониторинга и тушения пожаров и многими другими факторами. Таким образом, тушение природного пожара – сложный, разносторонний процесс, требующий хорошей организации. Хорошая организация подразумевает, в числе прочего, полное, всестороннее нормативно-правовое и методическое обеспечение. Целью данной работы был обзор нормативно-правовых, регламентирующих и методических документов, регулирующих отношения в области тушения лесных пожаров в Российской Федерации. Задачей. Задачей исследования являлось рассмотрение нормативно-правовой базы во взаимосвязи с основными понятиями лесного хозяйства и лесной пирологии. В работе учтены изменения в законодательстве, актуальные на апрель 2011 г.

Федеральное законодательство

Основным документом, регулирующим отношения в области использования и охраны лесов можно считать Лесной кодекс РФ (ЛК) [1]. Вводится понятие леса, лесничества, лесопарка (ЛК, ст. 5; 23). Подразделение лесов по целевому назначению регламентирует ст. 10 ЛК. Леса, расположенные на землях лесного фонда, по целевому назначению подразделяются на защитные леса, эксплуатационные леса и резервные леса (ЛК, ст. 102; 108; 109).

Кроме того, Земельный кодекс (ЗК) Российской Федерации определяет состав земель в Российской Федерации, нас интересуют: земли, отнесенные к лесному фонду, земли обороны и безопасности (ЗК, ст. 7; 101; 93) [2]. Непосредственно охрану лесов от пожаров, вредных организмов, загрязнения и прочих видов негативного воздействия регламентируют статьи главы 3 ЛК РФ (см. рис. 1. (Здесь и далее по тексту приводятся функциональные схемы, выполненные с использованием нотации IDEF0)). До 2010 года в данном законе были крайне расплывчато указаны полномочия по мониторингу, тушению лесных пожаров, проведению противопожарных мероприятий. Пожароопасный сезон 2010 года выявил острую необходимость внесения серьезных поправок в ЛК и другие нормативные акты. Такие поправки были внесены законом № 442-ФЗ [3]. ЛК РФ пополнился новыми статьями, регламентирующими и конкретизирующими меры по предупреждению и тушению лесных пожаров (см. рис. 2). В частности, при проведении мер по обеспечению пожарной безопасности были внесены пункты, регламентирующие патрулирование лесов, устройство пожарных водоемов, мероприятия по гидро-мелиорации лемных территорий, прокладку просек, противопожарных разрывов и др. В соответствии с новой редакцией ЛК органам власти вменено в обязанность принимать мер по регулированию пребывания граждан в лесах в периоды повышенной пожарной опасности.

Раскрыто содержание авиационных работ по охране и защите лесов. Введены нормы, касающиеся проектирования лесничеств, лесопарков, проектирования эксплуатационных лесов, защитных лесов, резервных лесов, особо защитных участков лесов и таксации лесов.

Как самостоятельный вид лицензируемой деятельности в Федеральный закон «О лицензировании отдельных видов деятельности» [4] введено лицензирование деятельности по тушению лесных пожаров в лесах.

В редакции закона 442-ФЗ ЛК РФ теперь определяет, что:

1. Тушение пожаров в лесах, расположенных на землях лесного фонда, землях обороны и безопасности, землях особо охраняемых природных территорий (лесных пожаров), осуществляется в соответствии с настоящим Кодексом, Федеральным законом от 21 декабря 1994 года

№ 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [5] и Федеральным законом от 21 декабря 1994 года № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [6].

2. Тушение пожаров в лесах, расположенных на землях, не указанных в части 2 настоящей статьи, осуществляется в соответствии с Федеральным законом «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» и Федеральным законом «О пожарной безопасности» (ст. 10).



Рис. 1. Нормативное обеспечение охраны и защиты леса в соответствии с лесным кодексом

1. «Органы государственной власти в пределах своих полномочий, определенных в соответствии со статьями 81 - 83 настоящего Кодекса, разрабатывают планы тушения лесных пожаров, устанавливающие:

1) перечень и состав лесопожарных формирований, пожарной техники и оборудования, противопожарного снаряжения и инвентаря, иных средств предупреждения и тушения лесных пожаров на соответствующей территории, порядок привлечения и использования таких средств в соответствии с уровнем пожарной опасности в лесах;

2) перечень сил и средств подразделений пожарной охраны и аварийно-спасательных формирований, которые могут быть привлечены в установленном порядке к тушению лесных пожаров, и порядок привлечения таких сил и средств в соответствии с уровнем пожарной опасности в лесах;

- 3) мероприятия по координации работ, связанных с тушением лесных пожаров;
- 4) меры по созданию резерва пожарной техники и оборудования, противопожарного снаряжения и инвентаря, транспортных средств и горюче-смазочных материалов;
- 5) иные мероприятия.



Рис. 2. Нормативное обеспечение функции охраны и защиты леса от лесных пожаров

2. В случае, если план тушения лесных пожаров предусматривает привлечение в установленном порядке сил и средств подразделений пожарной охраны и аварийно-спасательных формирований, он подлежит согласованию с соответствующими федеральными органами исполнительной власти.

3. Сводный план тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации утверждается высшим должностным лицом субъекта Российской Федерации (руководителем высшего исполнительного органа государственной власти субъекта Российской Федерации) по согласованию с уполномоченным федеральным органом исполнительной власти.

4. Порядок разработки и утверждения плана тушения лесных пожаров и его форма, порядок разработки сводного плана тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации устанавливаются Правительством Российской Федерации.

5. Уполномоченный федеральный орган исполнительной власти на основании планов тушения лесных пожаров разрабатывает межрегиональный план маневрирования лесопожарных формирований, пожарной техники и оборудования.» (ст. 53.3)

1. Тушение лесного пожара включает в себя:

1) обследование лесного пожара с использованием наземных, авиационных или космических средств в целях уточнения вида и интенсивности лесного пожара, его границ, направления его движения, выявления возможных границ его распространения и локализации, источников противопожарного водоснабжения, подъездов к ним и к месту лесного пожара, а также других особенностей, определяющих тактику тушения лесного пожара;

2) доставку людей и средств тушения лесных пожаров к месту тушения лесного пожара и обратно;

3) локализацию лесного пожара;

4) ликвидацию лесного пожара;

5) наблюдение за локализованным лесным пожаром и его дотушение;

6) предотвращение возобновления лесного пожара.

2. Лица, использующие леса, в случае обнаружения лесного пожара на соответствующем лесном участке немедленно обязаны сообщить об этом в специализированную диспетчерскую службу и принять все возможные меры по недопущению распространения лесного пожара.

3. Правила тушения лесных пожаров устанавливаются уполномоченным федеральным органом исполнительной власти.» (ст. 53.4) [1].

Таким образом, для каждого лесного участка (лесничества, лесопарка) должен быть разработан план тушения лесных пожаров, определяющий силы и средства для тушения пожаров и порядок их привлечения в зависимости от пожарной опасности. Для каждого региона РФ составляется сводный план тушения лесных пожаров, утверждаемый высшим должностным лицом региона, а так же планы межрегионального взаимодействия. Порядок разработки и типовые формы таких планов должны быть утверждены постановлением правительства, однако до настоящего времени (04 2011) указанные постановления не приняты, что, безусловно, тормозит реализацию федерального законодательства. Ознакомится с проектами этих постановлений можно на официальном сайте федерального агентства лесного хозяйства РФ [7].

Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях [8] устанавливает ответственность за нарушение правил пожарной безопасности в лесах и определяет должностных лиц, уполномочен-

ных составлять протоколы об административных правонарушениях (ст. 8.32; 28.3).

Следует упомянуть также закон №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», устанавливающий противопожарные расстояния от границ застройки городских поселений до лесных массивов [9] и №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», регламентирующий противопожарный разрыв или расстояние от проектируемого здания или сооружения до лесных массивов [10].

Указы президента и постановления правительства

Среди указов президента к рассматриваемой теме имеют отношения указы №1074 «О Федеральном агентстве лесного хозяйства» и №868 «Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» [11, 12].

Постановление правительства № 385 «Об утверждении правил организации и осуществления авиационных работ по охране и защите лесов» регламентирует организацию авиационных работ при тушении лесных пожаров [13]

Постановление №417 «Об утверждении правил пожарной безопасности в лесах» утверждает правила пожарной безопасности в лесах [14].

Как было отмечено выше, до настоящего времени не приняты постановления, регламентирующие порядок разработки, принятия планов тушения лесных пожаров и сводных планов тушения лесных пожаров.

Стандарты, методические и прочие документы

ГОСТ Р 22.1.09-99 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования [15]. Настоящий ГОСТ устанавливает контролируемые параметры пожара (п. 5.3.2), устанавливает критерии чрезвычайной лесопожарной ситуации (п. 5.3.4.):

наличие крупных лесных пожаров (25 га охваченного пожаром лесного фонда в районах наземной охраны лесов и 200 га — в районах авиационной охраны лесов);

- количество возникающих в один день и/или одновременно действующих лесных пожаров превышает средний многолетний уровень;
- наличие лесных пожаров, вышедших из-под контроля лесной охраны;
- лесной пожар на загрязненной радионуклидами территории, не потушенный в день возникновения;

- лесной пожар на загрязненной радионуклидами территории, дающий большие дымовые выбросы.

Данный раздел особо важен при принятии решения о привлечении сил и средств министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), а так же при планировании привлечения этих сил и средств.

ГОСТ 17.6.1.01-83 Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения. Настоящий стандарт устанавливает применяемые в науке, технике и производстве термины и определения понятий в области охраны и защиты лесов [16].

В части методического обеспечения тушения лесных пожаров можно упомянуть достаточно многочисленные научные и учебно-методические пособия, например [17, 18].

Непосредственные указания по развертыванию противопожарных подразделений, локализации и ликвидации лесного пожара, формы отчетности и т.п. содержатся в приказах, распоряжениях, инструкциях ведомств и организаций, относящихся к лесопожарным формированиям. Доступ к таким документам ограничен, но можно упомянуть, например, указания по обнаружению и тушению лесных пожаров [19], приказ министерства природных ресурсов Российской Федерации от 6 февраля 2008 г. № 32 «Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах по условиям погоды, а также требований к мерам пожарной безопасности в лесах в зависимости от целевого назначения лесов, показателей природной пожарной опасности лесов и показателей пожарной опасности в лесах по условиям погоды», приказ министерства природных ресурсов РФ №181 от 16 июля 2007 г. «Об особенностях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных на особо охраняемых природных территориях» и другие документы.

Результаты исследования и выводы

Анализируя приведенные выше документы можно выделить следующие основные проблемы:

Функции по лесопожарной охране раздроблены по признаку ведомственной принадлежности (категории) леса и серьезности лесопожарной обстановки. В различных случаях, за производство работ по профилактике и тушению лесных пожаров могут отвечать: собственники (в т.ч. временные) лесных участков, органы исполнительной власти субъектов РФ, местного самоуправления, подразделения Федерального агентства лесного хозяйства, Федеральной службы по надзору в сфере

природопользования, органам исполнительной власти, уполномоченным в области обороны и безопасности, подразделениям МЧС России.

Основным документом, конкретно закрепляющим обязанности по тушению пожара на данной местности при данной пожарной опасности является план тушения лесных пожаров, а так же сводный план по региону и план межрегионального взаимодействия. До настоящего времени не приняты постановления правительства, утверждающие порядок разработки этих планов и их форму.

Информационное сопровождение лесопожарной охраны является крайне сложным и запутанным, даже в рамках одного ведомства. С учетом периодических реорганизаций, отслеживание информационных потоков еще более усложняется. Не отработана система оповещения о лесных пожарах. Принятие сообщений о лесных пожарах возлагается на специализированную диспетчерскую службу, однако как она будет организована, к какому ведомству будет принадлежать – не ясно.

Научное и методическое обеспечение лесопожарной охраны можно признать достаточным, но нуждающимся в непрерывном совершенствовании и обновлении, т.к. многие стандарты приняты более 20 лет назад, учебники часто не учитывают реалий современного лесного хозяйства.

Несмотря на указанные проблемы, в последнее время заметен положительный сдвиг в области нормативно-правового обеспечения тушения лесных пожаров. Неудачные и противоречивые документы пересматриваются, изменяются. Принимаются новые необходимые документы. Пожароопасный сезон 2011 года позволит наработать правоприменительную практику по измененному законодательству и сделать выводы о дальнейшем совершенствовании системы охраны лесов от пожаров.

Библиографический список

1. Лесной кодекс российской федерации: федеральный закон РФ от 04.12.2006 № 200-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2006 г. – № 50. – Ст. 5278
2. Земельный кодекс Российской Федерации: федеральный закон РФ от 25.10.2001 № 136-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2001 г. – № 44. – Ст. 4147
3. О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации: федеральный закон РФ от 29.12.2010 № 442-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2011 г. – № 1. – Ст. 54

4. О лицензировании отдельных видов деятельности: федеральный закон РФ от 08.08.2001 № 128-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2001 г. – № 33. – Ст. 3430
5. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: федеральный закон РФ от 21.12.1994 № 68-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1994 г. – № 35. – Ст. 3648
6. О пожарной безопасности: федеральный закон РФ от 21.12.1994 № 69-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 1994 г. – № 35. – Ст. 3649
7. Проекты документов [Электронный ресурс] // Официальный сайт федерального агентства лесного хозяйства РФ. М., 2011. – Режим доступа: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/projects>
8. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях: федеральный закон РФ от 30.12.2001 № 195-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2002 г. – № 1. – Ст. 1
9. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федеральный закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2008 г. – № 30. – Ст. 3579
10. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: федеральный закон РФ от 30.12.2009 № 384-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2010 г. – № 1. – Ст. 5.
11. О Федеральном агентстве лесного хозяйства: указ Президента РФ от 27.08.2010 № 1074 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2010 г. – № 35. – Ст. 4533.
12. Вопросы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: указ Президента РФ от 11.07.2004 № 868 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2004 г. – № 28. – Ст. 2882.
13. Об утверждении правил организации и осуществления авиационных работ по охране и защите лесов: постановление Правительства РФ от 19.06.2007 № 385 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2007 г. – № 26. – Ст. 3189.
14. Об утверждении правил пожарной безопасности в лесах» утверждает правила пожарной безопасности в лесах: постановление Правительства РФ от 19.06.2007 № 385 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2007 г. – № 26. – Ст. 3189.
15. ГОСТ Р22.1.09-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. – Введ. 25.05.99. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 18 с.

16. ГОСТ 17.6.1.01-83. Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения. – Введ. 01.01.85. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 5 с.
17. Доррер, Г. А. Динамика лесных пожаров / Г. А. Доррер. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. – 404 с.
18. Матвеев, П. М. Лесная пирология: Учебное пособие для студентов специальности 260400 / П. М. Матвеев, А. М. Матвеев. – Красноярск: Сибирский государственный технологический университет, 2002. – 317 с.
19. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров : Утв. 30.06.95., пр. №100. – М. : Федеральное агентство лесного хозяйства. – 54 с.

Сведения об авторах

Доррер Георгий Алексеевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой системотехники СибГТУ, старший научный сотрудник центра НИОКР Сибирского филиала СПб ун-та ГПС МЧС России

Коморовский Витольд Станиславович – старший преподаватель кафедры «Системотехника» Сибирского государственного технологического университета. komorovski.w@mail.ru

Якимов Сергей Петрович – ведущий научный сотрудник Центра НИОКР Сибирского филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, доцент кафедры «Информационные технологии» Сибирского государственного технологического университета, кандидат технических наук. ysp2005@yandex.ru

Метод оценки возможности воспламенения строений в населенных пунктах от лесных пожаров

Г.А. Доррер, В.С. Коморовский

*Центр НИОКР Сибирского филиала
Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России
Сибирский государственный технологический университет*

Аннотация. В работе предложена методика определения факта воспламенения строений в населенном пункте от действия лесного пожара. Основу методики составляет оценивание теплового потока пожара. Рассмотрены основные допущения и некоторые следствия из них.

Природные, главным образом лесные, пожары представляют серьезную угрозу для жизни и здоровья людей, а так же служат причиной повреждения и уничтожения населенных пунктов, объектов инфраструктуры и других объектов защиты. Так, в 2010 году от природных пожаров погибло свыше 50 человек, было уничтожено более 2500 домов, отмечалось повышение смертности населения от эффектов задымления, вызванного пожарами. Таким образом, оценка возможности зажигания строений населенного пункта природным пожаром является актуальной.

Наиболее простым и очевидным подходом для оценки возможности зажигания населенного пункта представляется использование универсальных методов прогнозирования динамики площади и/или кромки лесного пожара, например методов [1, 2]. Однако применение таких методов не дает возможности учесть ряд существенных параметров, а именно: переход лесного пожара через область (границу) населенного пункта, переход огня с растительных горючих материалов на строительные конструкции. В данной работе предлагается метод, позволяющий учесть некоторые эффекты, возникающие на границе лесной массив – населенный пункт при подходе к ней фронта лесного пожара.

Лесной пожар рассматривается как бегущая волна, т. е. как самоподдерживающийся процесс локального высвобождения энергии в активной среде. Скорость продвижения фронта огня по слою лесного горючего определяется процессом нагрева горючего в фазе, предшествующей воспламенению.

Для упрощения расчетов положим структуру растительных горючих материалов однослойной, т.е. будем рассматривать распространение

пожара в координатах (x, y, z) , где оси x и y совпадают с координатами плана местности. Запас горючих материалов будем считать непостоянным по времени и рассматривать в виде функции $\omega(x, y, z, t)$. Структуру горючих материалов будем считать разделенной на области, описанные ниже, и однородной в пределах этих областей [3, 4].

Пусть имеется некоторая точка C с координатами x, y, z . Выделим в окрестности этой точки элементарный объем Δv . Горючий материал в окрестностях точки C в некоторый момент времени может находиться в одном из трех состояний, описываемых функцией: $S(x, y, z, t)$

$$S(x, y, z, t) = \begin{cases} 0, & \text{если в точке } C \text{ в момент } t \text{ имеется неиспользованный запас горючего} \\ & \text{(т. е. } \omega(x, y, z, t) > 0 \text{), но горения не происходит;} \\ 1, & \text{если } \omega(x, y, z, t) > 0 \text{ и происходит горение;} \\ 2, & \text{если } \omega(x, y, z, t) = 0 \text{ т. е. горение невозможно.} \end{cases}$$

Области, соответствующие состояниям $S=0, S=1, S=2$ обозначаются соответственно $\Omega_0, \Omega_1, \Omega_2$.

Пусть известны характеристики горючего. Если горючее в окрестности точки $C = (x, y, z)$ в момент времени t находится в состоянии $S(x, y, z, t) = 0$, то происходит нагрев материала в соответствии с уравнением теплового баланса:

$$\frac{\partial H_v(x, y, z, t)}{\partial t} = \operatorname{div} \vec{I}(x, y, z, t), \quad (1)$$

где H_v – энтальпия твердой фазы горючего, Дж/м³, вычисляемая по формуле:

$$H_v = C_p p(T - T_0) + C_l p M(T - T_0) + e p(M_0 - M), \quad (2)$$

где C_p, C_l – теплоемкость соответственно материала и жидкости, Дж/кг·град;

p – плотность материала, кг/м³;

T, T_0 – текущая и начальная температура материала, °С;

M, M_0 – текущее и начальное влагосодержание материала, кг/кг;

e – теплота испарения влаги, Дж/кг;

$\vec{I} = iI_x + jI_y + kI_z$ – векторная сумма тепловых потоков, поступающих на элементарную площадку, $\Delta\sigma$, Вт/м²;

$-\operatorname{div} \vec{I} = -\left(\frac{\partial I_x}{\partial x} + \frac{\partial I_y}{\partial y} + \frac{\partial I_z}{\partial z}\right)$ – скорость поглощения тепловой энергии в элементарном объеме Δv , Вт/м³.

Учитывая влияние теплового эффекта $x_i(x-x_i, y-y_i, z-z_i)$ реакции горения, происходящей в точке $C_i = (x_i, y_i, z_i)$ на скорость поглощения тепла горючим материалом в точке $C = (x, y, z)$, и теплопотери в окружающую среду и внешний тепловой поток, который может присутствовать в точке C правая часть уравнения (1) представляется в виде:

$$-\operatorname{div} I(x, y, z, t) = \iiint_{\Omega_1} \Phi(x, y, z, t) \xi(x-x_i, y-y_i, z-z_i) dx_i dy_i dz_i + \Phi_e(x, y, z, t) - \frac{\alpha \delta}{\rho c'} [H_v(x, y, z, t) - H_s(x, y, z)] \quad (3)$$

где Φ, Φ_e – соответственно, энергия, образующаяся при горении и поступающая от внешних источников, Вт/м³;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·град);

δ – удельная поверхность слоя, м⁻¹.

Обозначив $\frac{\alpha \delta}{\rho c'} = k(x, y, z)$,

где c' – приведенная теплоемкость влажного материала, получим уравнение нагрева горючего материала в зоне Ω_0 :

$$\frac{\partial H_v(x, y, z, t)}{\partial t} = \iiint_{\Omega_1} \Phi(x, y, z, t) \xi(x-x_i, y-y_i, z-z_i) dx_i dy_i dz_i + \Phi_e(x, y, z, t) - k [H_v(x, y, z, t) - H_s(x, y, z)] \quad (4)$$

которое должно рассматриваться при начальном условии $t = 0$:

$$H_v(x, y, z, 0) = H_{v0}(x, y, z), \quad (x, y, z) \in \Omega_0.$$

Рассмотрим теперь явления, происходящие на границе лес – населенный пункт. Будем считать, что граница между лесом и населенным пунктом представляет собой полосу негорючего материала шириной $l \geq 0$. Для расчетов положим, что направление движения фронта пожара нормально по отношению к границе населенного пункта, фронт пожара прямолинейный.

Необходимо определить произойдет ли зажигание строения, находящегося за границей населенного пункта, т.е. перейдет ли строение из состояния S_0 в S_1 . Наиболее удобным, исходя из предпосылок, описан-

ных выше, представляется оценивать возможность зажигания здания по т.н. критической поверхностной плотности теплового потока, кВт/м². Любой горючий материал согласно ГОСТ 30402 – 96 [5] относится к какой-либо из трех групп воспламеняемости: В1, В2 или В3, в зависимости от величины поверхностной плотности теплового потока, необходимой для появления устойчивого пламенного горения. Таким образом, задача оценки зажигания строения от лесного пожара сводится к определению теплового потока от фронта лесного пожара на расстоянии l (см. рис. 1)

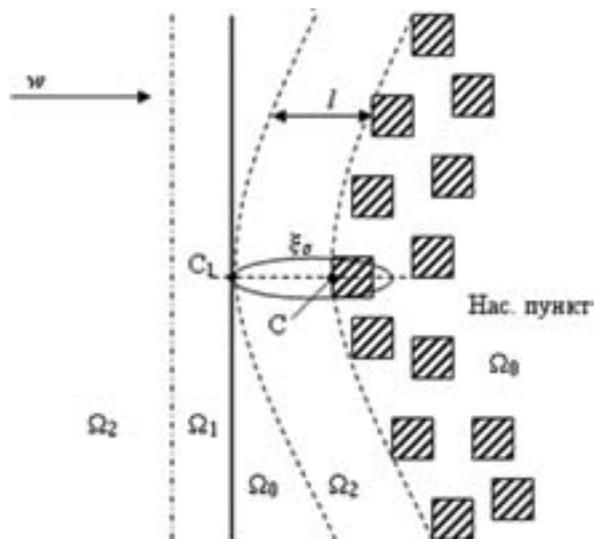


рис. 1. Фронт пожара на границе населенного пункта

Если тепловой поток I в точке C окажется больше либо равен некоторого $I_{кр}$, для данного здания (задается классом воспламеняемости для материала строения), то можно утверждать, что произойдет поджигание населенного пункта лесным пожаром. В данной работе не рассматривается дальнейшее развитие пожара в населенном пункте, а только факт поджога одного или нескольких строений.

Энергию, выделяющуюся при горении лесного пожара можно оценивать разными способами. Если известна скорость распространения пожара можно воспользоваться формулой, описывающей взаимосвязь скорости и энергии, с учетом функции влияния. Подобная формула предложена, например в работах Р. Ротермела, широко используемых в мире [6, 7].

$$v = \frac{\xi \cdot \delta \cdot \Phi}{H^* - H_0},$$

где H^* - энтальпия начала газификации горючего материала,
 H_0 - начальная энтальпия твердой фазы горючего материала.

Отсюда получим выражение, для определения энергии выделяющейся при горении:

$$\Phi = \frac{v \cdot (H^* - H_0)}{\xi \cdot \delta} \quad (5)$$

Параметры уравнения (5) могут быть взяты из таблиц характеристик растительных горючих материалов или рассчитаны по какой-либо методике.

Учитывая изложенные выше допущения, метод оценки возможности поджигания строения в населенном пункте под воздействием лесного пожара можно представить в следующем виде.

Оценивается скорость движения фронта пожара и его направление, с помощью какого-либо метода прогнозирования, например [2]. Прогноз контуров отображается на карте.

Если в направлении распространения находится населенный пункт, область пожара в процессе движения «замечает» область населенного пункта полностью или частично, пожар считается условно-опасным.

Для условно-опасного пожара оценивается его тепловой поток, по формулам (3), (5). Если тепловой поток превышает критическое значение поверхностного теплового потока для строений данного населенного пункта – пожар считается опасным, принимается решение о необходимости срочного тушения.

Критическое значение поверхностного теплового потока для строений населенного пункта ранжируется по определенному правилу, разработка которого выходит за рамки данной работы.

Таким образом, в работе предлагается метод оценки возможности воспламенения строений населенного пункта от действия лесного пожара. Метод базируется на термодинамике процессов высвобождения энергии при горении лесного пожара и использовании теплофизических характеристик растительных горючих материалов и материалов строений. В то же время использование обоснованных допущений делает возможным применение этого метода в инженерных расчетах, интеграцию его в информационные системы поддержки принятия решений.

В дальнейшем предполагается более глубокая разработка описанного метода, проведение вычислительных экспериментов, пробное про-

гнозирование на реальных пожара. Также метод может быть легко усовершенствован так, что позволит оценивать вероятность поджигания строений населенного пункта, и прогнозировать дальнейшее движение пожара по населенному пункту.

Библиографический список

1. Волокитина, А. В. Прогноз поведения низовых пожаров на основе карт растительных горючих материалов : учеб. пособие / А. В. Волокитина, М. А. Софронов, Т. М. Софронова. – Красноярск : Институт леса СО РАН : СибГТУ, 2005. – 92 с.
2. Коморовский, В. С. Методы прогнозирования параметров лесных пожаров на основе данных, хранящихся в информационной системе «ИСДМ-Рослесхоз» / М. В. Берестенькова, Г. А. Доррер, В. С. Коморовский // Проблемы информатизации региона : материалы XI науч.-практ. конф. – Красноярск, 2009. – С. 167-170.
3. Доррер, Г. А. Динамика лесных пожаров / Г. А. Доррер. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. – 404 с.
4. Вдовенко, М. С. Моделирование процессов распространения лесных пожаров на основе параллельных алгоритмов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / М. С. Вдовенко. – Красноярск, 2009. – 24 с.
5. ГОСТ 30402-96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость – Введ. 01.07.96. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 18 с.
6. Rothermel, R. C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Int-115 : Inter-Mountain forest and range experiment Station / R. C. Rothermel. – Ogden : USDA, Forest Service Research Paper, 1972. – 40 p.
7. Rothermel, R. C. Predicting behavior and size of crown fires in the Northern Rocky Mountains : res. pap. INT-438 / R. C. Rothermel. – Ogden : UT : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 1991. – 46 p.

Сведения об авторах

Доррер Георгий Алексеевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой системотехники СибГТУ, старший научный сотрудник центра НИОКР Сибирского института пожарной безопасности - филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

Коморовский Витольд Станиславович - старший преподаватель кафедры системотехники СибГТУ. komorovski.w@mail.ru

Основные принципы разработки стратегии по защите ООПТ в Алтае-Саянском экорегионе от антропогенных и катастрофических природных пожаров

А.В. Брюханов¹, А.С. Шишикин¹, В.А. Иванов², Е.И. Пономарев¹

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН,
²Сибирский государственный технологический университет

В статье представлены основные принципы разработки Стратегии по защите ООПТ в Алтае-Саянском экорегионе от антропогенных и катастрофических природных пожаров, которые стали основой для подготовки планов противопожарного устройства для заповедников, национальны и природных парков. Представлены возможные профилактические противопожарные мероприятия и действия для конкретных ООПТ региона, с учетом их природоохранного статуса, зонирования, рельефа и степени доступности.

На сегодняшний день наибольшую угрозу для биоразнообразия особо-охраняемых природных территорий (ООПТ) как в Алтае-Саянском экорегионе представляют значительное усиливающееся влияния хозяйственной деятельности на природные экосистемы, изменением климата и пожары. В течение последних 50 лет в Алтае-Саянском экорегионе (АСЭР) отмечен рост среднегодовой температуры на 2,8°C. Этот фактор усиливается возросшими сезонными перепадами температур, перераспределением количества осадков в течение года, а также изменениями гидрологического режима в связи с интенсивным таянием ледников. Трансформация климата напрямую связана с нарушением существующего экологического равновесия и сукцессионных процессов вследствие увеличения частоты лесных пожаров и связанного с ними ущерба.

По данным спутникового мониторинга за 2000-2009 годы на территории АСЭР было зафиксировано 17928 пожаров общей площадью более 8,3 млн. га. Ежегодно территория подвергается воздействию 1300-1700 пожаров, из них 1100 на лесных территориях, которыми повреждается 50-70 тыс. га, со средней площадью 45 га. В целом по АСЭР периодичность повторения экстремальных пожароопасных сезонов составляет 2-3 года, за последние 10 лет. Показатель количества не лесных пожаров остается стабильно высоким на протяжении послед-

них пяти лет (2005-2009 гг.). При этом на фоне не изменяющейся общей цикличности пожаров прослеживается тенденция к увеличению их числа [1] (Стратегия, 2011).

Усиливается влияние проблемы лесных, степных и торфяных пожаров на природные комплексы и в других регионах нашей страны, а также в сопредельных странах. Если в 90-ые для РФ наиболее опасными было 3 экстремальных пожароопасных сезона (годы, когда площади пожаров в стране превысила 2 млн. га - 1992, 1996, 1998), то в 00-ых XXI века таких сезонов уже было шесть (2000, 2002, 2006, 2008, 2009, 2010). Причем 2002 год стал беспрецедентным по площади пожаров, тогда в России огнем было пройдено - 11,7 млн. га, а в соседнем Казахстане - 2,8 млн. га [2]. "Рекордным" для другого нашего соседа Монголии стал 2008 г., когда лесными и степными пожарами в стране была пройдена территория более 8 млн. га [3]. Учитывая, то что ученые фиксируют увеличение трендов по повышению среднегодовых температур не только для Алтай-Саян, но и в целом для Сибири [4], маловероятно что угроза массовых природных пожаров снизится в ближайшие годы.

В связи с противодействием данной актуальной угрозе в рамках проекта «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтай-Саянского экорегиона» был принято решение о реализации пожарного компонента проекта, основной задачей которого является разработка стратегии по снижению пожарной опасности ООПТ Алтай-Саянского экорегиона, а также разработка Проектов противопожарного устройства для охраняемых территорий. Кроме того, в данном проекте предусмотрена обучающая составляющая (подготовка офисного и полевого справочника, проведение двух обучающих семинаров); агитационно-пропагандистская (оценка эффективности существующей противопожарной пропаганды, подготовка макетов печатных материалов и видеороликов агитационного содержания); а также техническая поддержка ООПТ (закупка противопожарного оборудования, средств связи, мониторинга и доставки людей и грузов к местам пожаров). В проекте участвуют 11 особо-охраняемых территорий федерального уровня (9 заповедников и 2 национальных парков), и 1 ООПТ регионального подчинения (Природный парк "Ергаки"). Данные природные охраняемые территории располагаются в шести российских субъектах: Республика Тува, Хакассия, Горный Алтай; Красноярском и Алтайском краях, а также Кемеровской области.

По действующим нормативным документам в России необходимо одновременно тушить все пожары, возникающие на территории лесного фонда, не учитывая пирологических особенностей

экосистем. Требование обязательного и одновременного тушения всех действующих и возникающих пожаров в лесу экономически и экологически является не оправданным, часто не выполнимым, и не всегда позволяет достичь желаемых результатов. Такая стратегия неизбежно приводит к преждевременному истощению хозяйственных ресурсов по обнаружению и тушению пожаров. В настоящее время на территории лесного фонда страны разрабатывается и апробируется стратегия выборочного тушения пожаров основанная на экономической и социальной целесообразности затрат на тушение. Такой же подход дополнительно с учетом экологической роли пожаров в функционировании охраняемых биоценозов должен применяться и на ООПТ.

Разрабатывая стратегию пожароуправления для ООПТ, следует учитывать классификацию биотопов по типичности природных комплексов, однородности пожарного воздействия на них и последующей сукцессионной направленности. Это позволит разработать пространственно-временную модель изменения пирогенного биоразнообразия и создать эффективную стратегию и тактику пожароуправления для каждой ООПТ.

Предлагаемые мероприятия по пожароуправлению (включают в себя действия как профилактики, мониторингу так и борьбе с пожарами) для ООПТ должны входить в общую согласованную систему их деятельности. Пункты наблюдений, дороги, кордоны, техническое обеспечение необходимо использовать для комплексных целей ведения мониторинга природных объектов, а не только для обнаружения и тушения пожара. Содержание специальной, особенно тяжелой лесопожарной техники экономически не целесообразно, а применение ее на заповедных территориях должно быть ограничено. Создание общей инфраструктуры доступности и освоения территории с использованием общего транспорта со специальным пожарным оборудованием позволяет постоянно поддерживать систему пожароуправления в активном состоянии.

Следовательно, учитывая цели и задачи ООПТ, а также уровень их горимости пожарная стратегия для них должна базироваться на следующих принципах:

1. Согласованности основных мониторинговых и других работ ООПТ с мероприятиями по пожароуправлению;
2. Определения допустимого уровня горимости территории по типам ландшафтов и растительности;
3. Установления максимально допустимой площади одного пожара;
4. Приоритетно выборочной очередности тушения природных пожаров по типам ландшафтов, растительности, их распространению, исходя из основных целей организации ООПТ;

5. Снижения количества и плотности антропогенных источников огня;
6. Оптимизации системы обнаружения и тушения (маршрутов доставки сил и средств, мест хранения пожарного оборудования, тренировок и т.д.) прогнозируемых пожаров;
7. Создания мобильных пожарных бригад в пожароопасный сезон и их размещение в наиболее опасных зонах;
8. Использования малогабаритного противопожарного оборудования и вездеходов общего пользования;
9. Использования управляемого огня при создании противопожарных барьеров и профилактических выжиганий;
10. Оптимизации размещения и способов наблюдения за пожароопасной обстановкой, раннее обнаружение пожаров на ООПТ и ведение мониторинга пожаров на сопредельных территориях.

На основании разработанных основных принципов стратегии пожароуправления предлагается система мер предупреждения и борьбы с пожарами для ООПТ с учетом действующего российского законодательства (Табл. 1-2). В данных таблицах приводятся обобщенные мероприятия с учетом действующего федерального законодательства, однако не все данные мероприятия могут быть применены в той или иной охраняемой территории, или ее части. Например, не могут быть использованы предлагаемые мероприятия, по профилактике, мониторингу или тушению пожара, если они противоречат каким-то пунктам из Положения о создании ООПТ, или физически не могут быть выполнены в силу особенностей охраняемой территории (рельеф, наличия сил и средств, близость к населенным пунктам и т.д.).

Предлагаемые мероприятия составят основу создаваемых Планов противопожарного устройства для охраняемых территорий задействованных в проекте. Это позволит снизить количество пожаров антропогенного происхождения, а также катастрофических природных пожаров в заповедниках, природных и национальных парках и как следствие создаст условия для улучшения охраны природных экосистем, флоры и фауны, ради которых и создавались данные ООПТ.

Таблица 1. Возможные профилактические противопожарные мероприятия для территории ООПТ с учетом их природоохранного статуса.

№	Зоны ООПТ	Окашивающие травы		Профилактические выжигания (создание опорных полос)		Создание противопожарных водоемов*		Создание противопожарных сооружений*			Создание противопожарных барьеров из антропогенных пород в хвойных модалянках			Создание противопожарных барьеров разрыв шириной до 1 м (путем создания просек)		Названного (во-первых) по маршруту		Организация пожарного мониторинга		
		вокруг кордонов, мест, построек, воз. построек, мест отдыха	вокруг объектов	вокруг строений и места отдыха	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	вокруг объектов	
1	Заповедная (ядро)	+				+	+													
	Рекреационная (туристическая)	+	+			+	+													
	Хозяйственная	+	+	+		+	+													
	Охранная	++	+++	+++		+++	+++													
2	Особо-охранная	+				+	+													
	Рекреационная (туристическая)	+	+	+		+	+													
	Хозяйственная и ограниченно хозяйственные	+	+	+		+	+													
	Познавательная	+	+	+		+	+													
	Традиционного пользования	+	+	+		+	+													
		+	+	+		+	+													

Примечания:

+* - по мере необходимости в труднодоступных местах в районе с насаждениями с наиболее высоким классом природной пожарной опасности;

+** - по согласованию с землепользователями (с внесением изменений, если это необходимо в проекты освоения лесов сопредельных землепользователей находящихся на территории Государственного лесного фонда;

+*** - по согласованию с МПРиЭ РФ

+**** - полеты пилотируемой авиации над территорией ООПТ должны заранее письменно согласовываться с руководством заповедника или парка. Для заповедников если полеты будут осуществляться на высоте менее 2000 м, для национальных парков, если высота полета менее 1000 м. Законодательного ограничений на полеты беспилотной авиации над особо - охраняемыми природными территориями в настоящее время нет.

Таблица 2. Возможные способы тушения пожаров для территории ООПТ с учетом их природоохранного статуса, рельефа и степени доступности.

№	ООПТ		Создание кромок низовых пожаров с помощью потока сивного воздушного потока (с помощью воздушной вихря)	Тушение пожаров водой с земли (РАО, мотопомпы, пожарные стволы, появившиеся т.д.)	Тушение пожаров водой с воздуха (самолеты-авиатанкеры, вертолеты с ВСУ) *	Тушение пожаров с помощью техники и высокоинтенсивными низовыми пожарами	Засыпка кромок пожара группом	Создание противопожарных барьеров в виде минерализованных полос
	Заповедники	Национальные парки						
1	Заповедники				только с разрешения дирекции ООПТ*	для борьбы с верховыми и высокоинтенсивными низовыми пожарами		Бульдозерной и земляной техникой
2	Национальные парки		кроме крупных склонов	без ограничений**	без ограничений			Взрывчатками
3	Природные парки (тушение пожаров в ПП Ергаки ведется под руководством КГУ «Лесопожарный центр»)							там, где позволяет рельеф и почвы

Примечания:

* - полеты пилотируемой авиации над территорией ООПТ должны заранее согласовываться с руководством заповедника или парка.

** - в качестве огнегасящих средств нельзя использовать токсичные огнегасящие вещества (химические добавки в воду должны быть сертифицированы к использованию на территории РФ).

Непараметрическое моделирование лавинообразных процессов

А.В. Медведев

*Сибирский Государственный Аэрокосмический Университет
имени академика М.Ф. Решетнева*

Аннотация

Рассматривается задача моделирования процессов скачкообразно изменяющихся при плавном изменении внешних условий. Основной акцент делается на анализ априорной информации при исследовании дискретно-непрерывных процессов. При этом априорная информация о различных каналах исследуемого многомерного объекта может существенно отличаться. Это приводит к необходимости объединять в единое целое как задачи идентификации в «узком» смысле, так и в «широком». Приводятся непараметрические алгоритмы моделирования лавинообразных процессов и некоторые результаты численных исследований.

Введение

Проблема идентификации, моделирования является одной из центральных в теории управления и других областях науки, объединяемых емким термином – кибернетика. Основное внимание мы уделим задачам идентификации в «широком» смысле, наряду с достаточно хорошо развитой теорией идентификации в «узком» смысле.

В последнее время все больший интерес представляют быстро изменяющиеся процессы при плавном изменении внешних условий, иными словами – плавном изменении значений входных переменных, случайных факторов, действующих на исследуемый объект. В математике с 70-ых годов прошлого столетия начало развиваться новое направление – теория катастроф. Не вдаваясь в истоки этой теории (безусловно представляющие большой интерес), укажем лишь, что она появилась в результате обобщения французским математиком Р. Тома теории особенностей Х. Уитни и теории устойчивости и бифуркаций динамических систем А. Пуанкаре, А.М. Ляпунова и А.А. Андронова [1,2]. В некоторых приложениях существенный интерес может представлять теория ветвящихся процессов, возникающая, примерно, в то же время [3], а также ее объединение с теорией катастроф.

Ниже рассматриваются лавинообразные процессы. Их объединяет с процессами, изучаемыми в теории катастроф то, что при определенном соотношении плавно изменяющихся внешних возмущений,

система реагирует на них скачкообразным образом. Отличает же их то обстоятельство, что число возмущений внешних воздействий в лавинообразных процессах может быть очень велико.

Более того, нас будет интересовать, прежде всего, моделирование в условиях непараметрической неопределенности, а также случай, когда априорная информация соответствует одновременно как непараметрическому [4,5], так и параметрическому типу исходных данных об исследуемом процессе.

Априорная информация. Как известно, априорная информация – это средство для формулировки задачи идентификации. Различают задачи идентификации в «узком» смысле и в «широком». При идентификации в «узком» смысле на основе имеющейся априорной информации так или иначе выбирается параметрическая структура модели исследуемого процесса или класс моделей с точностью до вектора параметров. Второй этап построения модели состоит в оценке этих параметров на основании поступающих текущих данных – наблюдений «входных-выходных» переменных, характеризующих состояние объекта. Ясно, что качество этой модели зависит от того, насколько правильно (удачно) определен класс параметрических моделей.

Если же априорной информации недостаточно для определения параметрической модели, то тогда задача идентификации относится к классу задач идентификации в «широком» смысле [5,6]. В этом случае возможен путь построения моделей на основе известных априорных сведений качественного характера, либо неполных сведениях параметрического характера, одним словом, любых априорных данных. Преодоление этих трудностей на этапе математической постановки задачи является практически определяющим для дальнейших исследований. Здесь уместно заметить, что «даже незначительное отступление от истины в дальнейшем ведет к бесконечным ошибкам» /Демокрит/.

Проанализируем характер априорной информации, которой может обладать исследователь при формулировке задачи идентификации. Прежде всего это сведения, которые вытекают из фундаментальных законов физики, механики, электротехники и др. Это не только законы сохранения, но и, в частности, математические модели динамики атмосферы и океана, магнитогидродинамические модели, модели солнечного ветра с магнитосферой, модели эволюции, процессов биосферы, уравнений движения и многие другие. Для многих процессов, встречающихся в технике, технологических процессах, организационных системах такие модели (законы) могут отсутствовать, но известны некоторые приближенные модели, найденные в результате исследований предшественников. Как правило, это параметрические модели. Идентификация процессов подобного типа относится к категории задач

идентификации в «узком» смысле [6,7,8]. В различных приложениях мы сталкиваемся с ситуацией, когда, сколько-нибудь обоснованно, выбрать класс моделей с точностью до вектора параметров не представляется возможным, но имеются сведения качественного характера об исследуемом объекте, как-то: однозначность характеристик процесса, линейность для динамических объектов и т.д.. В подобном случае естественно следовать по пути использования всей имеющейся разнородной априорной информации, что приводит к необходимости строить комплексные модели или К – модели, как мы их будем называть в дальнейшем. Естественно ожидать, что эффективное управление реально протекающими процессами возможно только на основе К – моделей. Ясно, что для некоторых объектов известные модели могут совпадать с К – моделями, например, исследуемый процесс с достаточно высокой степенью точности описывается на основе фундаментальных законов, в частности, уравнениями движения, тепло-массо переноса, диффузии и др.. Во многих приложениях фундаментальные законы, определяющие поведение исследуемого процесса, могут вообще отсутствовать, либо быть явно недостаточными для построения модели, используемой в дальнейшем для прогнозирования или управления. Тогда остается единственный путь – построение К – моделей.

Лавинообразные процессы. Рассмотрим сначала схему, представленную на рис. 1.

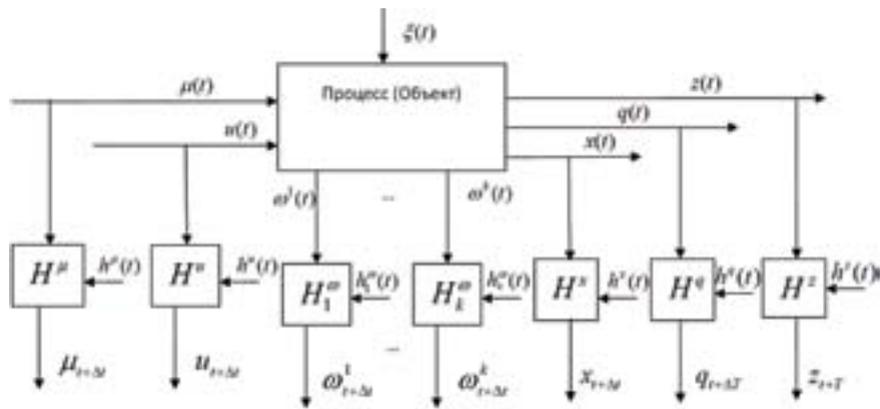


Рис.1: Общая схема многомерного стохастического процесса

На Рис. 1 приняты обозначения: $x(t)$ - векторная выходная переменная процесса, $u(t)$ - векторное управляющее воздействие, $\mu(t)$ - векторная входная переменная процесса, $\xi(t)$ - векторное случайное

воздействие, (t) – непрерывное время, H^μ, H^u, H^z, H^q – каналы связи, соответствующие различным переменным, включающие в себя средства контроля, приборы для измерения наблюдаемых переменных, $\mu_i, u_i, x_i, \omega_i$ - означает измерение $\mu(t), u(t), x(t), \omega(t)$ в дискретное время t . $\omega_i(t): i=1,2,\dots,k$ - переменные процесса, контролируемые, в том числе, по длине объекта.

Отметим существенное отличие выходных переменных $z(t), q(t)$ и $x(t)$, представленных на Рис. 1. Выходная переменная $x(t)$ как и $\mu(t), u(t)$ контролируется через интервалы времени Δt , $q(t)$ контролируются через существенно большие интервалы времени ΔT , $z(t)$ - через T ($T > \Delta T > \Delta t$). С практической точки зрения для исследуемого процесса наиболее важным часто является контроль переменных $z(t)$. При построении модели необходимо учитывать, что измерения значений выхода объекта станут известным только через значительные промежутки времени, этим объясняется задержка при контроле выходных переменных объекта $q(t)$ и $z(t)$, а ΔT и T - дискретность, с которой происходят измерения.

В этом случае выходные переменные, как и ранее, зависят от входных $u(t), \mu(t)\xi(t)$ а $\omega(t)$ играет роль дополнительной информации. Полученные $\omega(t)$ дающие сведения о протекании исследуемого процесса целесообразно использовать при построении модели. Таким образом, основная задача идентификации состоит в построении моделей, которые, в достаточно общем виде, могут быть представлены следующим образом:

$$\hat{x}(t) = \hat{A}(u(t - \tau), \mu(t - \tau), \omega(t - \tau)), \quad (1)$$

$$\hat{q}(t) = \hat{A}(u(t - \tau), \mu(t - \tau), \omega(t - \tau), \hat{x}(t)), \quad (2)$$

$$\hat{z}(t) = \hat{A}(u(t - \tau), \mu(t - \tau), \omega(t - \tau), \hat{x}(t), \hat{q}(t)), \quad (3)$$

где \hat{A} – оценка оператора объекта, $\bar{x}(t), \bar{q}(t), \bar{z}(t)$, - выход модели, τ - запаздывание, отличающееся по различным каналам, но из соображений простоты принято единообразное обозначение.

Многообразие задач идентификации будет обусловлено различными объемами априорной информации, типами процессов, наличием запаздывания в объекте и каналах связи.

Был проведен численный эксперимент, когда процесс находился под воздействием плавно изменяющихся переменных $u(t)=(u_1(t), u_2(t))$, $\mu(t)=(\mu_1(t), \mu_2(t))$, $\xi(t)=(\xi_1(t), \xi_2(t))$. Результаты эксперимента представлены на нижеследующих рисунках.

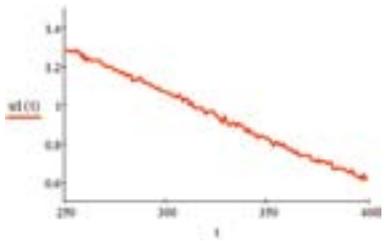


Рис. 2

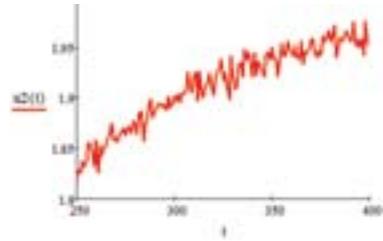


Рис. 3

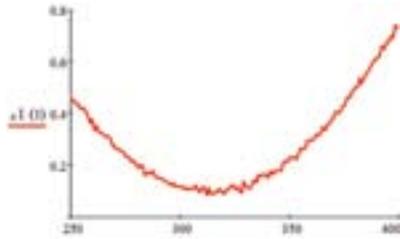


Рис. 4

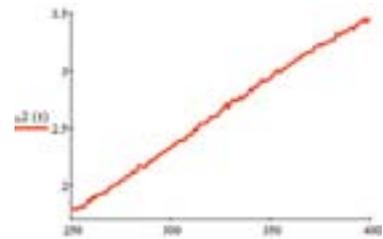


Рис. 5

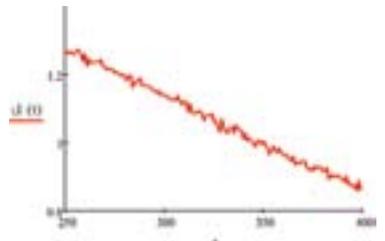


Рис. 6

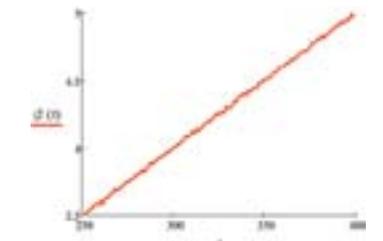


Рис. 7

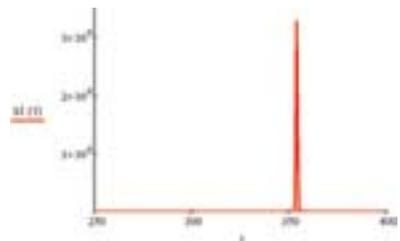


Рис. 8

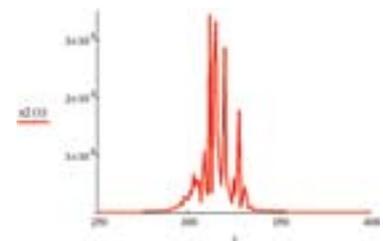


Рис. 9

Их анализ показывает, что при плавном изменении $u(t)$, $\mu(t)$ и $\xi(t)$ отклик системы (значение выходной переменной) $x(t)$ также плавно меняется, но с течением времени начинается формирование лавинообразного процесса возрастания $x(t)$, переходящего в катастрофу. Иными словами происходит потеря устойчивости и – «взрыв». Процессы такого рода уже давно были предметом изучения в физике, технике.

К-модели динамических объектов. Ниже рассмотрим задачу построения модели динамического процесса, представленного на Рис.1., $u \in R^n$, $\mu \in R^m$, $x \in R^l$. Отметим, что ΔT и T значительно превышают постоянную времени объекта по всем остальным каналам. Без нарушения общности можно считать, что контроль переменных $\mu(t)$, $u(t)$, $x(t)$, $\omega(t)$ осуществляется через интервал времени $T > \Delta T > \Delta t$. Следовательно, процесс по каналам $q(t)$ и $z(t)$ относится к классу безынерционных с запаздыванием, а по каналам $\omega(t)$ и $x(t)$ может быть отнесен к классу динамических, так как их контроль осуществляется через интервал Δt значительно меньший, чем постоянная времени объекта по соответствующим каналам. В этом случае, достаточно общая К – модель может быть принята в виде

$$\begin{cases} \dot{J} \left(u^{(i)}(t-\tau), \mu^{(i)}(t-\tau), \omega^{(i)}(t-\tau), x^{(i)}(t), \frac{dx^{(i)}(t)}{dt}, \frac{d^2x^{(i)}(t)}{dt^2}, \dots, \alpha \right) = 0, & i = \overline{1, k}, \\ \dot{J} \left(w^{(i)}(t-\tau), \mu^{(i)}(t-\tau), \omega^{(i)}(t-\tau), x^{(i)}(t), q^{(i)}(t), z^{(i)}(t), \beta \right) = 0, & i = \overline{k+1, l}, \\ \dot{S} \left(w^{(i)}(t-\tau), \mu^{(i)}(t-\tau), \omega^{(i)}(t-\tau), x^{(i)}(t), q^{(i)}(t), z^{(i)}(t), W^{(i)} \right) = 0, & i = \overline{l+1, l}, \quad l_1 > l_2 > l_3. \end{cases} \quad (4)$$

где $u^{(i)}$, $\mu^{(i)}$, $w^{(i)}$, $x^{(i)}$, $q^{(i)}$, $z^{(i)}$, $i = \overline{1, l}$ – составные векторы, состоящие из компонент соответствующих векторов. Первая система уравнений (4) найдена на основе известных фундаментальных законов соответствующих исследуемому процессу с точностью до параметров a . Вторая система уравнений объекта получена на основе имеющейся априорной информации с точностью до вектора параметров β . Третья группа уравнений (4) не известна с точностью до параметров, но класс функций, характеризующих взаимосвязь «входных – выходных» и промежуточных переменных определен на основе априорной информации. Фигурирующее в ней обозначение $W_s^{(i)}$ представляет собой совокупность всех i -ых наблюдений переменных объемом s , т.е.

$$W_s^{(i)} = (u_s^{(i)}, \mu_s^{(i)}, w_s^{(i)}, x_s^{(i)}, q_s^{(i)}, z_s^{(i)}), \quad i = \overline{1, l},$$

где стрелки над переменными означает соответствующий временной вектор, а скобки сверху – составной вектор.

Оценка значений компонент векторов выходных переменных $x(t)$, $q(t)$, $z(t)$, может быть найдена в результате решения системы уравнений (4) при фиксированных значениях $\mu(t)$, $u(t)$, $\omega(t)$. К – модели принципи-

ально отличаются от общепринятых прежде всего тем, что учитывают во взаимосвязи все имеющиеся переменные и связи между ними в ситуации, когда дискретность контроля последних существенно различаются. Отличаются также и уровни априорной информации о различных каналах исследуемого процесса. Таким образом, К – модели представляют собой органический синтез, описывающий исследуемый процесс или систему взаимосвязанных объектов во всем их многообразии. Покажем возможность таких связей на нижеследующем рисунке.

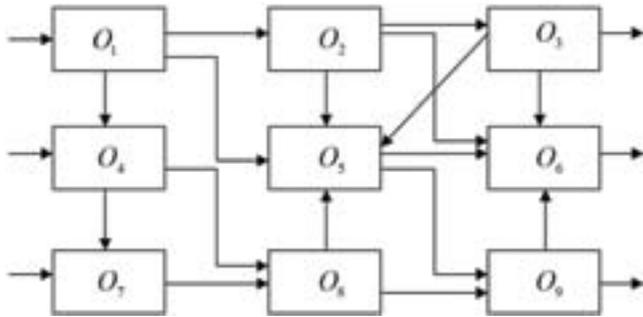


Рис.10

Для простоты обозначения на Рис.10 не показаны входные воздействия: $\mu(t)$, $\xi(t)$, каналы связи: H^v , H^u , H^x , H^o .

Модели лавинообразных процессов. Обозначим, как и ранее, контролируемые входные переменные процесса $\mu(t)$, $u(t)$, в выход - $x(t)$. В результате наблюдений переменных процесса имеем выборку $\{u_{ij}, \mu_{ij}, x_{ij}, i=1, s, j=1, s\}$. В качестве приближения $M\{x/u, \mu\}$ примем непараметрическую оценку

$$x_j(u(t), \mu(t)) = \frac{\sum_{i=1}^s x_i \Phi\left(\frac{u(t)-u_{ik}}{c_{u_i}}\right) \Phi\left(\frac{\mu(t)-\mu_{ik}}{c_{\mu_i}}\right)}{\sum_{i=1}^s \Phi\left(\frac{u(t)-u_{ik}}{c_{u_i}}\right) \Phi\left(\frac{\mu(t)-\mu_{ik}}{c_{\mu_i}}\right)}, \quad (5)$$

где колоколообразные функции $\Phi(\cdot)$ и параметр c_s удовлетворяют некоторым условиям [4]. Наибольший интерес представляет не только задача слежения за текущим процессом изменения $\mu(t)$, $u(t)$, $x(t)$, данные о которых содержатся в наблюдениях u_{ij} , μ_{ij} , x_{ij} , $j=1, k, k < s$, но и экстраполяции развития интересующего нас процесса, его прогноз развернутый во времени. Естественно считать, что лавинообразное течение процесса наступает при определенных соотношениях внешних переменных и их значениях. Для определенного периода, когда может начаться развитие лавины можно использовать следующий индикатор:

$$I_k(\lambda) = \text{sgn} \sum_{u \in \Omega_s(t)} \sum_{\mu \in \Omega_k^{\lambda}(t)} \Phi\left(\frac{x_k - u_k}{c_{u_k}}\right) \Phi\left(\frac{u_k - \mu_k}{c_{\mu_k}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_k - \mu_s}{c_{\mu_s}}\right), \quad (6)$$

если индикатор равен нулю, то это означает приближение лавины, здесь k - текущий момент времени, $\lambda \leq k < s$. Смысл областей Ω_s и Ω_k^{λ} поясняется на Рис.11. Входные возмущения показаны на Рис.11а, а выходные, в том числе развитие лавины на Рис.11б (это обучающая выборка). На Рис.11с до момента времени k (k - текущее время) показана оценка отклика системы $x(t)$, а при $\lambda > k$ - прогноз $x(t)$, т.е. $x_s^{\lambda}(t)$.

Непараметрическая модель подобного процесса имеет вид

$$x_s^{\lambda}(t) = \frac{\sum_{u \in \Omega_s(t)} x_u \Phi\left(\frac{u_{\lambda} - u_{\lambda}}{c_{u_{\lambda}}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_{\lambda} - \mu_{\lambda}}{c_{\mu_{\lambda}}}\right)}{\sum_{u \in \Omega_s(t)} \Phi\left(\frac{u_{\lambda} - u_{\lambda}}{c_{u_{\lambda}}}\right) \Phi\left(\frac{\mu_{\lambda} - \mu_{\lambda}}{c_{\mu_{\lambda}}}\right)} \quad (7)$$

Таким образом, по модели (7) может быть вычислена оценка реакции процесса известных значениях u_{λ} и μ_{λ} для $\lambda \leq k$ и дан прогноз развития процесса при $\lambda > k$. При прогнозе необходимо осуществить сглаживания имеющихся в обучающей выборке наблюдений всех переменных процесса, содержащих лавины. Например, следующим образом:

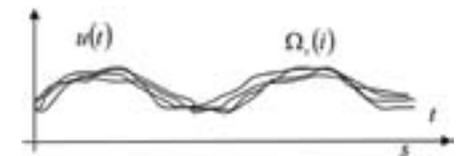


рис. 11а

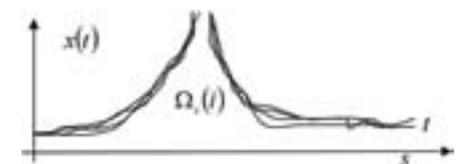


рис. 11б

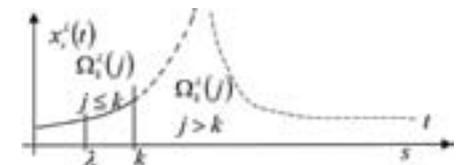


рис. 11с

$$u_{i\lambda} = \sum_{j \in \Omega_s^{\lambda}(t)} \alpha_j u_j, \quad (8)$$

$$\mu_{i\lambda} = \sum_{j \in \Omega_s^{\lambda}(t)} \beta_j \mu_j, \quad \lambda > k,$$

где α и β - весовые коэффициенты. Мы рассмотрели простейший случай, чтобы не усложнять выкладок. Используя результаты [4,9], непараметрические модели лавинообразных процессов могут быть легко обобщены при исследовании реальных процессов, встречающихся в различных областях деятельности.

Контроль переменных, измерения

Здесь мы подчеркнём важность проблемы измерения «входных-выходных» переменных исследуемого объекта, процесса. Ранее [4,5] уже отмечалось, что отличающиеся средства контроля даже для одних и тех же процессов приводят к различным формулировкам задач идентификации. Главное, что следует выделить в этой проблеме, состоит в том, что нередко динамический объект мы вынуждены рассматривать как статический с запаздыванием из-за длительной процедуры контроля (измерения, анализа) некоторых переменных, существенно превышающей постоянную времени объекта.

Безусловно, при моделировании и управлении дискретно-непрерывными процессами, целесообразно использовать сигналы или аналогичные им переменные, но это требует тщательного анализа не только самого конкретного объекта, но и средств и технологии контроля всех доступных переменных, а также априорной информации, которая одновременно по различным каналам измерения переменных многомерной системы объекта может соответствовать различным уровням априорной информации. Неучет тех или иных переменных, параметров, характера измерения и контроля, априорной информации, а также некоторая «вольность» при принятии тех или иных допущений, неизбежных при математической постановке задачи, может привести, в конечном счете, к негативным последствиям. Вся это сумма вопросов часто обходится при исследовании проблемы моделирования с теоретической точки зрения [6,7,8]. При решении же прикладных задач, построении моделей конкретных процессов это просто невозможно, ибо «истина ничуть не страдает от того, если кто-либо её не признает» (И.Ф. Шиллер). Представляется уместным еще раз акцентировать внимание исследователя на формулировку проблемы идентификации реального процесса на самой начальной стадии: «гораздо труднее увидеть проблему, чем найти её решение. Для первого требуется воображение, а для второго только умение» (Д.Д. Бернал).

Математические постановки задач моделирования и управления. Совершенно очевидным является факт наличия существенно различной априорной информации об исследуемом процессе [9]. Как следствие этого – различные математические постановки задач, с точки зрения математической строгости. Одним из основных «каменей преткновения» на этом пути является несоответствие наших предположений об исследуемом объекте самому объекту. После традиционно произносимого «Пусть процесс...», следуют такие предположения, гипотезы, которые, к сожалению, часто имеют отдаленное отношение к реальности. Наше незнание, приходится, к сожалению, заменять, говоря: «Пусть...». Ясно, что если наши допущения достаточно близки к

реальности, то в итоге можно рассчитывать на успех при решении той или иной задачи, если же – нет, то неудача неизбежна.

В этой связи хотелось бы напомнить некоторые высказывания, известные, например, из статьи Р. Калмана [10]. Приведем, без комментариев некоторые выдержки из этой статьи: «...классический (колмогоровский) вероятностный подход не может работать в реальных задачах с недостоверными данными. Для того, чтобы моделировать неопределенность при помощи вероятностного механизма, необходимо иметь чересчур много информации, которая не может быть извлечена из доступных данных в большей массе практических задач» и еще:

Л.С. Понтрягин: «Математики не верят в вероятность»,

А.Н. Колмогоров: «...со статистикой что-то не в порядке».

Несколько отличающаяся аксиоматика теории вероятностей в [11].

Нам предстоит в будущем моделировать и управлять реальными процессами, описанными в [9], включая организационные, потому что этого требует реальность, практика. В частности многие экономические процессы могут быть отнесены к организационным. Еще в середине прошлого столетия по поводу применения математики в экономике Дж. фон Нейман и О. Моргенштерн писали [12]: «Прежде всего отдадим себе отчет в том, что в настоящее время в экономической теории не существует универсальной системы и, что если она и будет создана, то едва ли это произойдет в ближайшее время. Причина этого кроется в том, что экономика является слишком сложной наукой...». И далее: «Часто аргументация против применения математики состоит из ссылок на субъективные элементы, психологические факторы и т.п. ...». «Важно осознать, что экономисты не могут надеяться на более легкую судьбу, чем та, которая постигла ученых других специальностей».

Прошло более полувека, но математики для экономической науки, а также для моделирования и управления организационными процессами не появилось, хотя некоторые продвижения в этом направлении есть: теория размытых множеств, теория принятия решений, системный анализ и теория систем и др.

Заключение. Рассмотрены задачи моделирования лавинообразных процессов в условиях неполной информации об исследуемом процессе. Наибольший интерес они представляют в организационных системах, а это не только процессы, происходящие в природных явлениях, в технике, но и в обществе – социальной, экономической сферах и др.

Приведены простейшие непараметрические модели лавинообразных процессов, которые легко обобщаются на многомерные объекты. Акцентируется внимание на роль измерений и использование разнородной априорной информации.

Изучение таких процессов, возможно, привело бы к прогнозированию явлений, зарождающихся «внутри лавин» и, как следствие этого – противодействия последним средствами управления, обратной связи и учета реальности. Наиболее перспективными в этом направлении могут оказаться К-модели, КН-модели и их системные образования.

Библиографический список

1. Арнольд В.И. Теория катастроф / В.И. Арнольд, М.: Наука, 1990.
2. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т5: Методы современной теории автоматического управления / под редакцией К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – Москва: Изд. МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2004г.
3. Севастьянов Б.А. Ветвящиеся процессы / Б.А. Севастьянов. М.: Изд. «Наука», 1971.
4. Медведев, А.В. Непараметрические системы адаптации / А.В. Медведев. Новосибирск: Наука. 1983.
5. Медведев, А.В. Теория непараметрических систем. Процессы / А.В. Медведев // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. Красноярск, 2010. Вып. 3
6. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф, М.: Мир, 1975
7. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т2: Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления / под редакцией К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – Москва: Изд. МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2004 г.
8. Цыпкин, Я.З. Основы информационной теории идентификации / Я.З. Цыпкин, М.: Наука, 1984.
9. Медведев, А.В. К теории непараметрических систем. / А.В. Медведев // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М.Ф. Решетнева. Красноярск, 2010. Вып. 5
10. Калман Р.Е., Идентификация систем с шумами / Р.Е. Калман // Успехи математических наук. Т40, Вып. 4, 1985
11. Уиттл П. Вероятность / П. Уиттл // М.: «Наука», 1982.
12. Дж. фон Нейман, Теория игр и экономическое поведение / Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн // М.: «Наука», 1970.

УДК 630*432.3.001.57

Подход к оптимизации технологий тушения лесных пожаров

С.В. Комиссаров¹, С.Н. Орловский²

1. Кафедра АТЛМ,
Сибирский государственный технологический университет.
2. Кафедра БЖД,
Красноярский государственный аграрный университет.

Представлена методика выбора оптимальных технологий тушения лесных пожаров. Предложено рассчитывать технологии тушения конкретных пожаров с применением разработанной авторами новой компьютерной программы.

Общая площадь земель лесного фонда Российской Федерации составляет около 1180 млн. га, или 69 процентов её территории. Она занимает одно из важнейших мест в мире по поглощению диоксида углерода и воспроизводству кислорода. Доля в их глобальной эмиссии составляет около 10 процентов [1]. К сожалению, площадь земель лесного фонда РФ непрерывно уменьшается. Одной из причин сокращения покрытых лесом площадей являются лесные пожары.

Увеличение горимости лесов связано с ошибками при введении нового Лесного кодекса, снижением уровня экологической культуры населения, криминогенной обстановкой, сокращением численности лесной охраны и её авиационного парка и другими причинами. Проблема борьбы с лесными пожарами является одной из наиболее актуальных не только в лесном хозяйстве, но и в масштабах Российской Федерации. В сезоны высокой горимости лесов пожары вызывают выгорание прилегающих к ним населённых пунктов. В то же время тушение лесных пожаров силами МЧС с применением технических средств, предназначенных для борьбы с пожарами на городских объектах не даёт желаемых результатов. Только в 2010 году за пожароопасный период МЧС зафиксировало почти 23 тысяч очагов природных пожаров на общей площади 558 тысяч гектаров. Вся история охраны лесов от пожаров в России доказывает, что ослабление внимания к профилактике пожаров в силу экономических, политических или иных причин приводит к резкому увеличению как количества лесных пожаров, так и площадей, пройденных лесными пожарами.

Тушение лесных пожаров по существующим технологиям связано с использованием недостаточно производительного ручного труда, что приводит к увеличению выгоревших площадей. Для борьбы с лесными пожарами необходимы высокопроизводительные, энергосберегающие, экономически выгодные технологии. Актуальной проблемой является создание расчётных методов оптимизации технологий тушения лесных пожаров на различных стадиях их развития с обоснованием показателей существующей и проектируемой лесопожарной техники по экологическим и экономическим критериям.

Авторами разработана методика оптимизации технологий тушения лесных низовых пожаров, а также её реализация с использованием возможностей компьютеров. Под оптимизацией в данном случае подразумевается минимизация затрат на тушение и ущерба от пожара. Рассматриваются только низовые пожары, так как они наиболее часто встречаются и для них существуют разработанные технологии тушения. В низовых лесных пожарах горение распространяется по напочвенному покрову и нижним ярусам лесной растительности, интенсивность горения может быть низкой, средней и высокой [1].

Тушение низового лесного пожара складывается из ряда последовательно осуществлённых тактических операций: остановка фронта пожара; его локализация; дотушивание и окарауливание. Под тушением пожара в статье подразумевается самая трудоёмкая операция - локализация, что связано с проходкой замкнутого контура вокруг пожара. Технология тушения - это сочетание метода локализации с конкретным набором технических средств. Методы локализации могут быть следующими: прямой, косвенный с прокладкой заградительных полос, косвенный с отжигом от опорных полос. Различных технологий тушения существует сотни, но все их можно условно разбить на две большие группы с существенно разными затратами: с доставкой лесных пожарных и оборудования наземным транспортом и с доставкой по воздуху. Вторая группа технологий делится ещё на две: с высадкой бригады пожарных к очагу горения и с тушением пожара непосредственно с воздуха. Таким образом, все технологии тушения в первом приближении делятся на три типа.

Для определения оптимального варианта применяемой на данном пожаре технологии тушения достаточно уметь точно моделировать его развитие. Под словами «точно моделировать» подразумевается в данном случае расчёт для каждого момента времени вида пожара, геометрии горящей кромки, интенсивности пожара, скорости распространения горения. Из этих параметров, например, скорость распространения лесного пожара варьирует в больших пределах в зависимости от количества и вида горючего материала, рельефа

местности, скорости ветра, времени суток, влажности и температуры воздуха, атмосферного давления и других факторов. Теоретически требуемое моделирование в настоящее время с применением ПК возможно, практически для этого необходимо иметь большой объём данных по конкретной лесной территории. Таких данных обычно не существует, поэтому для решения задачи оптимизации предлагается идти другим путём.

Описание методики

Разработанная методика оптимизации технологий тушения лесных пожаров содержит следующие основные положения.

1. Каждый лесной пожар задаётся следующим набором параметров: начальная площадь S_0 очага горения в момент обнаружения; начальный периметр P_0 ; скорость роста периметра V_p ; длина естественного противопожарного барьера; интенсивность пожара; удалённость от базы, где находятся пожарные; расстояние до водоисточника; ценность леса на корню, который может сгореть.

2. Для возможности моделирования развития пожаров делаются следующие упрощающие предположения:

- неизменность от времени формы очага горения;
- постоянство скорости роста периметра пожара;
- при наличии естественного противопожарного барьера принимается, что на разных этапах развития пожара он имеет одну и ту же долю от периметра.

3. Низкая точность исходных данных и загромождающее влияние упрощающих предположений компенсируются следующим образом:

- посредством варьирования исходных параметров пожара рассчитывается большое количество его различных моделей;
- в результате определения оптимальных технологий для каждой модели становится возможным оценить каждый из параметров пожара по степени его влияния на окончательный выбор технологии;
- несколько различных моделей пожаров объединяются в одну группу, если у них идентичные оптимальные технологии тушения, что повышает надёжность выбора технологий.

4. Каждая технология должна характеризоваться следующими сведениями: - к какому типу технологий она относится; - какой метод локализации используется; - с пожаром какой интенсивности технология может справиться; - максимально возможное время непрерывной работы; - чему равны приведённые затраты и скорости локализации очага горения, а также сроки и стоимость доставки лесных пожарных и оборудования к месту пожара.

В настоящее время хорошо разработана теория пожаров простой формы, например - эллипса [2, 3]. С учётом теории пожаров формы эллипса с одним точечным источником предлагается рассматривать пожары произвольной формы. За один пожар может также приниматься несколько небольших близко расположенных пожаров. Основой для этого служат следующие утверждения.

Произвольной плоской геометрической фигуре, имеющей конечные площадь и длину границы, можно поставить в соответствие эллипс с такой же площадью и длиной границы (периметром).

При неизменной вытянутости эллипса, но при разных его размерах, отношение площади к квадрату периметра пожара сохраняется постоянным.

Характеристикой формы данного пожара будем считать коэффициент K_S :

$$K_S = 4\pi \cdot S_0 / P_0^2, \quad 0 \leq K_S < 1, \quad (1)$$

где S_0 - начальная площадь, км², P_0 - начальный периметр, км.

Упрощающее предположение 2а предполагает неизменность по времени коэффициента K_S . Вытянутость e эллипса однозначно определяется по коэффициенту K_S

$$e = \sqrt{1-x^2}, \quad 0 \leq e < 1, \quad (2)$$

$$\text{где } x = \frac{1}{3} \left(1 + \frac{2}{\sqrt{K_S}} \left(1 - \sqrt{1 + \sqrt{K_S} - 2K_S} \right) \right), \quad (3)$$

при $K_S = 1$, $e = 0$ и данная геометрическая фигура - идеальный круг.

Если данный лесной пожар имеет фиксированную скорость роста периметра (V_p , км/ч), то эквивалентный пожар в виде эллипса имеет такую же скорость V_p , а также следующие скорости фронта V_F , м/мин и тыла V_T , м/мин

$$V_F = V_p / (0.12 \cdot K_v), \quad V_T = V_F \frac{1-e}{1+e}, \quad (4)$$

$$\text{где } K_v \approx \frac{\pi}{2(1+e)} (1.5 + 1.5 \cdot x^2 - x), \quad 1 < K_v \leq \pi, \quad (5)$$

параметр x определяется по формуле (3).

При учёте упрощающих предположений 2б и 2с, время локализации T_{Λ} данного пожара при помощи данной технологии находится в следующих пределах: $T_{\Lambda 1} < T_{\Lambda} < T_{\Lambda 2}$, где:

$$T_{\Lambda 1} = \frac{P_0 + V_p \cdot (T_d + \tau)}{V_p} D_p; \quad T_{\Lambda 2} = \frac{P_0 + V_p \cdot (T_d + \tau)}{V_p - V_p \cdot D_p} D_p; \quad (6)$$

T_d - время доставки бригады к пожару, ч;

D_p - доля периметра, которую надо тушить, $0 < D_p \leq 1$, при отсутствии естественного противопожарного барьера $D_p = 1$;

V_{Λ} - скорость локализации, км/ч;

τ - дополнительное время, ч;

$\tau = 0$ при прямом методе локализации;

$\tau = (B_{zp} / V_F + B_{zp} / V_T) \cdot K_T / 120$ при методе заградительных полос;

$\tau = (B_0 / V_F + B_0 / V_T) \cdot K_T / 60$ при косвенном методе отжига;

$B_{zp} \approx 20$ м - расстояние от заградительной полосы до горящей кромки;

$B_0 \approx 10$ м - ширина полосы отжига;

K_T - корректировочный коэффициент при вычислении времени локализации, при форме пожара близкой к эллипсу, $K_T = 1$.

Максимально возможная погрешность Δ при определении времени T_{Λ} равна $\Delta = T_{\Lambda 1} - T_{\Lambda 2}$. Относительную погрешность δ определения времени локализации оценим следующим образом:

$$\delta = (T_{\Lambda 2} - T_{\Lambda 1}) / T_{\Lambda} < \delta^* = (T_{\Lambda 2} - T_{\Lambda 1}) / T_{\Lambda 1} = V_p / (V_{\Lambda} - V_p) \quad (7)$$

Чем больше скорость локализации превышает скорость роста периметра, тем меньше погрешность у расчётного времени локализации. Если скорость локализации в два раза превышает скорость роста периметра, то относительная погрешность расчётного времени локализации меньше 1.

Примем далее что время локализации пожара T_{Λ} определяется по максимуму и равно $T_{\Lambda 2}$. На основе времени T_{Λ} определяются остальные параметры, характеризующие данную пару «пожар – технология его тушения»:

$P = V_{\Lambda} \cdot T_{\Lambda} / D_p$ - периметр потушенного пожара, км;

$S = K_S \cdot P^2 / (4\pi)$ - площадь потушенного пожара, км²;

$T = T_d + T_{\Lambda}$ - время, через которое пожар будет потушен, ч;

$U = 100 \cdot C_u \cdot S$ - ущерб от пожара, тыс. руб.;

$Z = 2 \cdot T_d \cdot C_d + T_{\Lambda} \cdot C_{\Lambda}$ - затраты на тушение, тыс. руб.

Используемые обозначения: C_u - стоимость леса на корню, тыс. руб/га;

C_d - удельная стоимость доставки для данной технологии, тыс. руб/ч;

C_{Λ} - удельная стоимость локализации для данной технологии, тыс. руб/ч.

Определим далее полный набор исходных данных, необходимый для данной методики оптимизации. Это параметры всех технологий и параметры всех вариантов пожаров [4]. Каждая технология первого типа (только с наземным транспортом) имеет следующий набор параметров:

$$M_A, I_T, T_{Dmax}, T_{Amax}, C_A, C_D, V_A, V_{ГРВ}, V_{ГРУНТ}, V_{ПР}, V_{ЛЕС},$$

где: M_A – методы локализации: прямой (П), загр. полосы (К), отжига (Ко); I_T – интенсивность пожара, с которой может справиться данная технология (Н -низкая, НС – низкая и средняя и т.д., НСВ, СВ, С, В); T_{Dmax} –максимально возможное время доставки к пожару. ч; T_{Amax} – максимльно возможное время локализации, ч; V_A –скорость локализации пожара, км/ч; $V_{ГРВ}, V_{ГРУНТ}, V_{ПР}, V_{ЛЕС}$ – скорости доставки наземным транспортом, соответственно, по гравийным или грунтовым дорогам, просеке, лесу, км/ч.

Параметры технологий второго типа (доставка по воздуху, тушение с земли): $M_A, I_T, T_{Dmax}, T_{Amax}, C_A, C_D, V_A, V_D$

где V_D – скорость доставки бригады пожарных по воздуху, км/ч, остальные параметры прежние.

Параметры технологий третьего типа (доставка и тушение с воздуха):

$$M_A, I_T, T_{Dmax}, T_{Amax}, C_A, C_D, V_C, V_D, T_{C3}, L_{P3}, T_{M3},$$

где V_C – скорость полёта во время тушения, км/ч; T_{C3} – время, необходимое для забора воды, ч; L_{P3} – длина кромки, потушенной за один заход, км; T_{M3} – максимально возможное время перелёта до водоёма, ч.

Каждый пожар задаётся следующим набором параметров:

$$S_0, K_S, V_P, D_P, C_U, K_T, L_A, L_{ГРВ}, L_{ГРУНТ}, L_{ПР}, L_{ЛЕС}, L_{C1}, L_{C2}, I_{П},$$

где L_A – расстояние до пожара по воздуху (км); $L_{ГРВ}, L_{ГРУНТ}, L_{ПР}, L_{ЛЕС}$ – расстояния до пожара для наземного транспорта, соответственно, по гравийным дорогам, по грунтовым дорогам, по просеке, по лесу (км); L_{C1}, L_{C2} – расстояния от пожара до водоёмов, соответственно, для вертолётного танкера и для авиатанкера (км); $I_{П}$ – интенсивность пожара (низкая, средняя, высокая).

Полное расстояние до пожара по земле $L_B = L_{ГРВ} + L_{ГРУНТ} + L_{ПР} + L_{ЛЕС}$, Доли разных участков общего пути: $D_{L1} = L_{ГРВ} / L_B$; $D_{L2} = L_{ГРУНТ} / L_B$;

$$D_{L3} = L_{ПР} / L_B; D_{L4} = L_{ЛЕС} / L_B.$$

Время доставки к пожару определяется по следующим формулам

$$T_D = L_A / V_D - \text{время доставки при использовании авиации, ч;}$$

$$T_D = \frac{L_{ГРВ}}{V_{ГРВ}} + \frac{L_{ГРУНТ}}{V_{ГРУНТ}} + \frac{L_{ПР}}{V_{ПР}} + \frac{L_{ЛЕС}}{V_{ЛЕС}} - \text{время доставки наземным транспортом, ч.}$$

Для технологий третьего типа - скорость локализации вычисляется по формуле: $V_A = L_{P3} / (T_{C3} + 2 * L_C / V_C)$, где $L_C = L_{C1}$ для вертолётного танкера и $L_C = L_{C2}$ для авиатанкера.

Практический пример

Для анализа технологий авторами был составлен список как серийных, так и существующих в виде опытных и макетных образцов лесопожарных орудий и агрегатов в количестве 41 шт. Для каждой позиции списка рассматривались варианты применения и способы доставки, по которым рассчитывались показатели экономической эффективности применения, включающие приведённые затраты на локализацию кромки пожара.

Также определялись скорости движения при движении от места базирования лесных пожарных и технических средств пожаротушения к очагу горения. Всего для анализа было выбрано 180 технологий. Для включения в список новых средств механизации или технологий для них следует рассчитать приведённые затраты на эксплуатацию и доставку к месту лесного пожара. Рассматривалось 16 различных моделей пожаров и 180 технологий их тушения. Следующие параметры были постоянные: $S_0 = 0,5 \text{ км}^2$; $C_U = 4 \text{ тыс. руб/га}$; $K_T = 1$; $I_{П} = \text{н}$; $T_{Amax} = 8 \text{ час}$; $D_{L1} = 0,5$; $D_{L2} = 0,25$; $D_{L3} = 0,1$; $D_{L4} = 0,15$. Результаты расчётов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчётов тушения для моделей пожаров

i	P0	KS	VP	VF	DP	LA	LB	Zmin1	Zmin2	Zmin3
1	2,507	1	0,377	1	1	10	20	1,085	1,312	1,402
2	2,507	1	0,377	1	1	100	150	13,513	13,739	13,786
3	2,507	1	0,377	1	0,5	10	20	0,960	1,061	1,102
4	2,507	1	0,377	1	0,5	100	150	13,421	13,525	13,549
5	2,507	1	1,885	5	1	10	20	1,549	2,022	2,067
6	2,507	1	1,885	5	1	100	150	13,626	14,260	14,320
7	2,507	1	1,885	5	0,5	10	20	1,131	1,404	1,427
8	2,507	1	1,885	5	0,5	100	150	13,460	13,652	13,684
9	2,558	0,96	0,192	1	1	10	20	1,051	1,244	1,321
10	2,558	0,96	0,192	1	1	100	150	13,505	13,722	13,756
11	2,558	0,96	0,192	1	0,5	10	20	0,950	1,041	1,071
12	2,558	0,96	0,192	1	0,5	100	150	13,418	13,522	13,540
13	2,558	0,96	0,961	5	1	10	20	1,297	1,520	1,735
14	2,558	0,96	0,961	5	1	100	150	13,555	13,909	13,948
15	2,558	0,96	0,961	5	0,5	10	20	1,008	1,158	1,217
16	2,558	0,96	0,961	5	0,5	100	150	13,437	13,577	13,599

<i>i</i>	<i>U1</i>	<i>U2</i>	<i>U3</i>	<i>S</i>	<i>T</i>	<i>Itex1</i>	<i>Itex2</i>	<i>Itex3</i>
1	412,50	412,50	412,50	1,03	2,90	61	64	71
2	258,62	320,70	286,23	0,65	0,91	65	141	75
3	331,12	331,12	331,12	0,83	1,91	61	64	71
4	246,29	286,24	258,62	0,62	0,73	65	141	75
5	371,50	506,94	1050,65	0,93	0,48	65	175	141
6	688,05	916,18	1898,8	1,72	1,14	65	175	141
7	2388,2	2388,24	278,90	5,97	3,27	61	64	65
8	516,56	790,82	688,05	1,29	0,81	65	141	75
9	286,94	286,94	286,94	0,72	2,63	61	64	71
10	227,87	282,06	239,52	0,57	0,90	65	141	75
11	258,70	258,70	340,27	0,65	1,83	61	64	135
12	222,36	266,80	227,87	0,56	0,72	65	141	75
13	1480,7	269,25	1480,7	3,70	4,58	61	65	64
14	377,46	620,51	506,29	0,94	0,99	65	141	75
15	692,14	692,14	692,14	1,73	2,29	61	64	71
16	330,75	444,04	377,46	0,83	0,76	65	141	75

Параметры восьми лучших технологий, выбранных компьютерной программой, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры восьми лучших технологий тушения лесных низовых пожаров

<i>i</i>	Технология	M_L	IT	$T_{д.маx}$	$C_{д,}$	$C_{д,}$	$V_{д,}$	$V_{гр,}$ км/ч	$V_{гр,}$ км/ч	$V_{пр,}$ км/ч	$V_{лес,}$ км/ч
61	ВЛП-20, М, П, 1	П	НС	3	0,126	0,39	2	50	30	15	5
64	ВЛП-20, М, П, 2	П	НС	3	0,252	0,39	2	50	30	15	5
65	ВЛП-20, С, П, 4	П	НС	2	0,504	12	8	180	-	-	-
71	ВЛП-2.5, М, П, 2	П	НС	3	0,302	0,39	2	50	30	15	5
75	ВЛП-2.5, С, П, 4	П	НС	2	0,604	12	4	180	-	-	-
135	МР-30, М, О, 1*	Ко	НСВ	3	0,115	0,39	0,9	50	30	15	5
141	МР-30, С, О, 4*	Ко	НСВ	2	0,46	12	3,6	180	-	-	-
175	Пп шнек, С, О, 4*	Ко	НСВ	2	1,036	12	6	180	-	-	-

Результаты группирования пожаров по номерам трёх лучших технологий представлены в таблице 3.

Таблица 3. Группированные оптимальные технологии по минимуму затрат на тушение

Номер группы	<i>I tex1</i>	<i>I tex2</i>	<i>I tex3</i>	Количество пожаров в группе
1	61	64	71	4
2	61	64	65	1
3	61	64	135	1
4	61	65	64	1
5	65	141	75	7
6	65	175	141	2

Сокращения в названии технологий: ВЛП-20, М, П, 1; ВЛП-20, М, П, 2; ВЛП-20, С, П, 4 – воздуходувки лесопожарные ВЛП - 20, М, С - доставка на мотоцикле или самолёте, П – прямое тушение, 1, 2, ... 4 – количество орудий в бригаде; ВЛП-2.5 - воздуходувки лесопожарные ВЛП – 2,5, МР-30 - орудие для прокладки опорных полос в зеленомошных лесах на базе бензопилы «Урал», Пп шнек - полосопрокладыватель шнековый на базе бензопилы «Тайга-214».

По данным таблицы 3 пожар на удалении до 10 км может быть локализован усилиями бригады лесников с одной воздуходувкой ВЛП – 20 сбиванием пламени высокоскоростной воздушно-жидкостной струей (технология 61). Для удалённых пожаров оптимальна доставка самолётом АН – 2 группы парашютистов в составе 5 человек с четырьмя воздуходувками ВЛП – 20 (технология 65).

Для самой большой группы пожаров (№ 5) оптимальное тушение возможно одними и теми же технологиями (65, 141 и 75). Для всей этой группы исходные данные: удаление очага горения от базы авиационной охраны лесов 100 км, форма очага горения произвольная, противопожарный барьер DP от 1 до 0.5.

Программа OTLP_2 Вход

Исходные данные задаются на листах «List 0» (параметры пожаров) и «List1» (параметры технологий), результаты выводятся на листы «List2» и «List3». Перечень пожаров формируется при помощи автоматического перебора вариантов отдельных параметров [5].

Таблица 4. Вводимые данные «List 0»

Строка\столбец	A	B	C	D	E
6	Tmax(час)=	8			
11	K(1)=	1	S0(км²):	0,5	
14	-	-	VF(м/мин):	1	5
16	K(5)=	1	CU(тыс.руб/га):	4	
18	K(7)=	2	LA(км):	10	100
26	K(9)=	1	Int:	2	

Таблица 5. Выход ОТАП-2 Таблица результатов (сокращенный пример для 5 технологий)

«OTLP2». Программа оптимизации тушения лесных пожаров. Результаты 1

Номер пожара	Площадь начальная (км²)			Периметр начальный (км)			Скорость прироста периметра (км/ч)		Скорость фронта (м/мин)		Скорость тыла (м/мин)		Доля периметра	Стоимость леса (тыс. руб/га)	Расстояние по воздуху (км)
	S0	P0	KS	VP	VF	VT	DP	CU	KT	LA					
i	S0	P0	KS	VP	VF	VT	DP	CU	KT	LA					
1	0,50	2,51	1	0,37699	1	1	1	4	1	10					
2	0,50	2,51	1	0,37699	1	1	1	4	1	100					
3	0,50	2,51	1	0,37699	1	1	0,5	4	1	10					
.....															
14	0,50	2,56	0,96	0,96118	5	0,8962	1	4	1	100					
15	0,50	2,56	0,96	0,96118	5	0,8962	0,5	4	1	10					
16	0,50	2,56	0,96	0,96118	5	0,8962	0,5	4	1	100					

Расстояние по земле (км)					Расстояние до малого водоёма (км)	Расстояние до большого водоёма (км)	интенсивность			Количество возможных технологий
LB	LB1	LB2	LB3	LB4			LC1	LC2	Int	
20	10	5	2	3	5	10	2	3,14	0	3
150	75	37,5	15	22,5	10	15	2	3,146	0	2
20	10	5	2	3	5	10	2	1,60	0,696	5
150	75	37,5	15	22,5	10	15	2	1,600	0,696	4

Площ. кон. (км²)	Затраты (тыс. руб)					Ущерб (тыс. руб)			
	S1	Zmin1	Zmin2	Zmin3	Zmin4	Zmin5	U1	U2	U3
0,56	1,50	1,52	108,52	184,8	240,3	223,97	875,10	362,04	
0,62	13,42	142,9	153,56	317,7		246,29	549,35	396,5	
0,67	1,52	225,4	384,79			269,25	1588,0	809,5	
0,94	13,55	1238				377,46	3384,0		
5,15	1,38	1,42	64,28	129,5	140	2060,2	235,93	450,9	

Время дост.+ лок. (ч)			Номера оптимальных технологий				
T1	T2	T3	I tex 1	I tex 2	I tex 3	I tex 4	I tex 5
0,39	6,93	2,30	4	5	1	2	3
0,73	4,37	3,32	4	1	3	0	0
0,43	4,84	1,02	5	4	1	2	3
0,99	8,29	2,71	4	2	1	3	0
5,66	0,23	1,35	4	1	3	0	0
		2,01	5	4	1	2	3
		8,12	4	1	2	3	0
		0,97	5	4	1	2	3
		2,41	4	2	1	3	0
		2,69	4	1	3	0	0
		1,33	5	4	1	2	3
		2,31	4	1	3	0	0

Программа не требует от пользователя дополнительных знаний, входящих за пределы его профессиональной и деловой компетенции. Для нормальной эксплуатации программы достаточно иметь минимальный опыт работы в среде Windows. Для практического применения программа может быть выполнена в любом удобном для пользователей виде.

Выводы

С применением приведённой выше методики и программы OTLP_2 предполагается решать следующие задачи:

- при обнаружении лесного пожара производить оперативный выбор оптимальных технологий его тушения из имеющихся вариантов;
- для данного лесного пожара и данной выбранной технологии прогнозировать времена тушения и затраты, размеры выгоревших лесных площадей и нанесённого ущерба;
- для данного лесопожарного региона производить анализ на применимость существующих технологий и определение необходимого оптимального набора технологий тушения пожаров;

• в принятых лесорастительных условиях определять эффективность применимости проектируемых или планируемых к приобретению лесопожарных машин, оборудования, технологий их использования и доставки к очагу горения.

Библиографический список

1. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров [Текст]. М., Федеральная служба лесного хозяйства России, 1995. С. 84 – 85.
2. Доррер, Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. [Текст] // Г.А. Доррер. М.: Лесная промышленность, 1979. – 160 с.
3. Доррер, Г.А. Математическое моделирование процессов распространения лесных пожаров и борьбы с ними. [Текст] // Г.А. Доррер, С. В. Ушанов. Изв. вузов. Лесной журнал. 2000. № 2. С. 31 – 36.
4. Комиссаров, С.В. К оптимизации тушения лесных пожаров [Текст].// С.В. Комиссаров, С.Н. Орловский, В.Я. Ряполов //Труды III Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». Том 2 - Красноярск: ИВМ СО РАН, 2003.- С. 130 - 134.
5. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008610145, Оптимизация технологий тушения низовых лесных пожаров «OTLP-2» [Текст] / С.В. Комиссаров, С.Н. Орловский; заявка № 2007614332. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9.01 2008.

Сведения об авторах

Комиссаров Сергей Владиславович, ассистент кафедры «Автомобили, тракторы, лесные машины» ГОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет», (СибГТУ).

Адрес: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82., тел.: 227-82-32, 8-950-426-85-56. E-mail: sevlko@mail.ru

Орловский Сергей Николаевич, лучший изобретатель города Красноярска 2011 года, к.т.н., доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» ГОУ ВПО Красноярского государственного аграрного университета (КрасГАУ).

Адрес: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90, тел.: 247-26-55, 249-44-89, 8-904-898-22-40. E-mail: orlovskiysergey@mail.ru

Возможное применение аэрокосмического мобильного комплекса для круглосуточного космического мониторинга пожаров

**В.В. Девирный¹, М.В. Елфимова¹, А.С. Исакова²,
Е.А. Симонов, В.Е. Чеботарев³**

1. Кафедра общепрофессиональных дисциплин Сибирского института пожарной безопасности - филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России
2. ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева
3. Сибирский федеральный университет

Рассмотрена возможность создания специального аэрокосмического комплекса, отличающегося своей мобильностью и информационной оперативностью, который позволил бы усовершенствовать систему мониторинга пожаров в России.

Для России, страны с огромной территорией, проблема пожаров природных зон всегда оставалась актуальной. Несмотря на постоянно обновляющуюся статистику, которая, к сожалению, не учитывает пожары вне государственного лесного фонда (на заброшенных сельскохозяйственных землях, в защитных лесополосах, в оврагах и т.п.) и даже с учетом постоянного мониторинга, осуществляемого средствами МЧС России – локализовать очаги возникновения пожара, рассчитать возможное движение огня, а главное – предотвратить его стихийное распространение – до сих пор является трудной задачей.

В данной статье рассмотрена возможность создания специального аэрокосмического комплекса, отличающегося своей мобильностью и информационной оперативностью, который позволил бы усовершенствовать систему мониторинга в России.

В настоящее время МЧС России ежедневно проводит космический и воздушный мониторинг пожаров. Например, в Московской области пожарная ситуация отслеживается круглосуточно при помощи космических средств, три-четыре раза в сутки проводится воздушная разведка пожарной обстановки летательными аппаратами МЧС России, «Мособлпожспаса» и ФГУ «Авиалесохрана», оборудованными тепловизорами.

По данным МЧС России, с начала пожароопасного периода 2011 года в Подмосковье было зафиксировано восемь очагов торфяных пожаров на площади 1,9 гектара и 19 очагов лесных пожаров.

Рассмотрим возможности применения для этих целей разрабатываемого нами аэрокосмического комплекса.

Комплекс предлагается строить на объединении принципов информационного обеспечения подвижных потребителей, с использованием эксплуатируемых в настоящее время космических систем связи, навигации, наблюдения и систем наземной сотовой радиосвязи через радиоинформационный комплекс (РИК), размещаемый на высотной платформе (привязной аэростат). За счет такого объединения повышается надежность и информативность линий мониторинга с различными стандартами.

Для решения поставленных задач в состав комплекса должны входить:

- радиоинформационный комплекс (РИК);
- аэростатный комплекс (АЭК).

Мобильность комплекса обеспечивается оперативностью доставки и развертывания его составных частей в заданной зоне мониторинга.

Информативность определяется комплектацией радиоинформационного комплекса.

Структурно-функциональная схема аэрокосмического информационного комплекса приведена на рис. 1.

Базовая конфигурация комплекса содержит несколько пользовательских терминалов (ПТ) сотовой связи с различными стандартами, также видеокамеры мониторинга пожаров, радиоинформационный комплекс (РИК), размещаемый на аэростате, элементы эксплуатируемых спутниковых систем связи и навигации (орбитальная группировка спутников связи и навигации, наземный узел межсетевого сопряжения (УМС), базовый наземный центр (БНЦ), связанные с коммутируемой телефонной сетью общего пользования).

Группа спутников связи может включать в себя спутники низких околоземных орбит, спутники средних околоземных орбит или спутники геостационарных орбит, зона обслуживания которых охватывает УМС и радиоинформационный комплекс, размещенный на аэростате.

Спутники связи, находящиеся в зоне радиовидимости радиоинформационного комплекса, представляют собой ретрансляторы, которые осуществляют информационный обмен (на платной основе) между радиоинформационным комплексом и узлом межсетевого сопряжения и видеонаблюдения за пожарами.

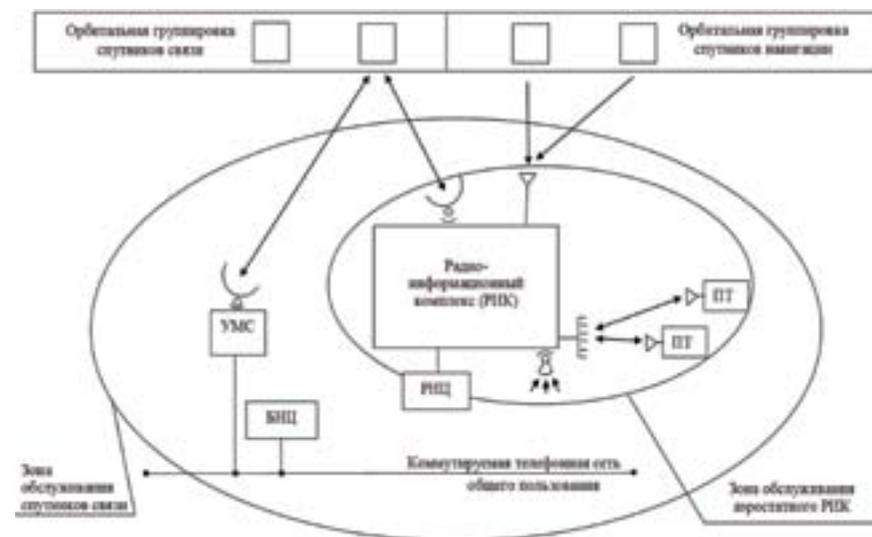


Рис. 1. Аэрокосмический комплекс

Группа спутников навигации включает в себя спутники навигационных космических систем ГЛОНАСС/GPS, которые обеспечивают в режиме свободного доступа определение пространственного и углового положения аэростатного РИК при его оснащении серийной аппаратурой спутниковой навигации (АСН), работающей по сигналам в режиме фазовых измерений.

Один или несколько пользовательских терминалов являются одно-режимными или многорежимными серийными терминалами и работают в локальной зоне обслуживания радиоинформационного комплекса. При этом каждый из пользовательских терминалов может иметь любой из форматов наземных систем сотовой связи: AMPS, TDMA, CDMA и информацию о пожарах с видеокамер.

Базовый наземный центр связан с УМС по наземной проводной линии и с радиоинформационным комплексом по спутниковой радиолинии. Пользовательский терминал осуществляет связь с радиоинформационным комплексом по сотовой радиолинии.

Региональный наземный центр размещается вблизи наземной точки закрепления привязного аэростата и связывается проводной связью с радиоинформационным комплексом аэростата. В задачу регионального наземного центра входит энергоснабжение радиоинформационного комплекса и организация информационного обмена с ним: передача

информации для мониторинга пожаров, радиотрансляции и телетрансляции, решение части задач базового наземного центра по управлению и диспетчеризации.

Радиоинформационный комплекс осуществляет информационное обеспечение локальной зоны путем решения следующих задач (рис. 2):

- 1) радиосвязь с пользовательскими терминалами мобильной сотовой связи и видеонаблюдений МЧС России за пожарами;
- 2) радиосвязь с наземным узлом межсетевого сопряжения по спутниковым радиолиниям;
- 3) определение собственного местоположения, ориентации в пространстве и поправок времени по радиосигналам космических навигационных систем;
- 4) видеонаблюдение поверхности Земли в зоне обслуживания, передача видеоинформации потребителям;
- 5) радиотрансляцию и телетрансляцию в локальной зоне;
- 6) информационный обмен и энергопотребление по проводной линии от регионального наземного центра.

Для решения этих задач в состав радиоинформационного комплекса необходимо включить:

- 1) ретранслятор спутниковой связи (РТР-СП);
- 2) подсистему мобильной сотовой связи в следующем составе: центр коммутации мобильного обслуживания (ЦКМ) и многорежимный ретранслятор сотовой связи (РТР-С);
- 3) аппаратуру спутниковой навигации (АСН);
- 4) устройство организации каналов связи (УОКС);
- 5) аппаратуру видеонаблюдения поверхности (АВН) Земли в зоне обслуживания.

В ретрансляторе спутниковой связи необходимо использовать антенную систему с программным перенацеливанием луча на спутник (механическое / электронное).

Особенностью построения подсистемы мобильной сотовой связи это использование многоканального ретранслятора РТР-С и многолучевой антенны, каждый луч которой обслуживает локальную зону (соту), в которой размещены один или несколько потребителей с различными стандартами связи.

Аппаратура видеонаблюдения поверхности (АВН) Земли в зоне обслуживания состоит из видеокамеры с высокой разрешающей способностью и механизма ее нацеливания на заданную зону.

Увязку всего комплекса приборов РИК осуществляет устройство организации каналов связи (УОКС). Через него обеспечивается информационная связь спутниковой и сотовой радиолиний, передача данных видеонаблюдения по спутниковой радиолинии в базовый наземный центр, информационный обмен с региональным наземным центром.

Аэростатный РИК выполняет функцию множества периферийных земных станций сотовой связи, обеспечивая ретрансляцию радиосигнала в каждом луче многолучевой антенны для локальной зоны (соты), в которой размещены один или несколько потребителей. Координатная привязка подвижных потребителей, обслуживаемых в каждом луче, осуществляется по радиосигналам космических навигационных систем с помощью АСН.

Комплектация радиоинформационного комплекса осуществляется с учетом имеющихся ограничений по массе полезной нагрузки, размещаемой на аэростате.

Информация о местоположении пользовательских терминалов формируется в РИК по результатам совместной обработки данных о номере радиолуча многолучевой антенны РТР-С, через который поступил сигнал от пользовательских терминалов, и данных об угловом и пространственном положении радиоинформационного комплекса, полученным также с АСН.



Рис.2. Радиоинформационный комплекс

Информация о местоположении спутников относительно радиоинформационного комплекса для нацеливания антенной системы РТР-СП формируется в УОКС по данным об угловом и пространственном положении радиоинформационного комплекса в инерциальной системе координат с помощью АСН. Это обеспечивает программное перенацеливание луча антенной системы РТР-СП на спутник (механическое или электронное). В результате устанавливается прямая связь пользовательских терминалов через радиоинформационный комплекс по спутниковой радиолинии «земля-спутник - земля» с УМС и далее по проводной линии с ЦНД-Б и КТСОП.

Информация об углах нацеливания аппаратуры видеонаблюдения формируется на основе измерительной информации АСН и поступает с УОКС. Зона видеонаблюдения поверхности Земли задается оператором БНЦ, а видеоинформация к оператору передается через ретранслятор спутниковой связи.

Для оценки эффективности использования вышеизложенной идеи предлагается реализовать пилот-проект, в котором отработать только контур сотовой связи радиоинформационного комплекса упрощенного состава (РИК-П), представленного на рис. 3. Энергоснабжение РИК-П автономное. Вместо аэростата можно использовать любое аэровоздушное средство (шар-зонд и т.д.), грузоподъемностью до 10 кг, поднимающееся на высоту до 100м.

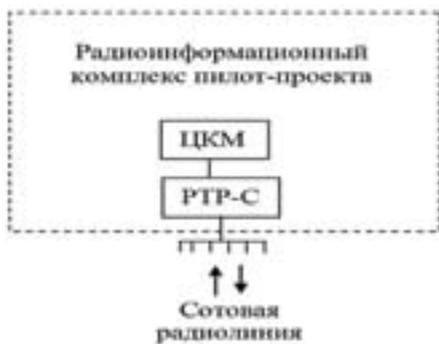


Рис. 3. Радиоинформационный комплекс пилотного проекта

Выводы

Существует необходимость расширения космического мониторинга пожаров и мобильных телекоммуникационных услуг и услуг сотовой связи на обширных территориях России и, особенно в зонах промышленного освоения природных ресурсов.

В настоящее время созданы предпосылки для глубокой интеграции мобильных спутниковых систем связи и наземных сотовых систем связи и мониторинга пожаров на базе использования аэростатных высотных платформ, оснащенных радиоинформационным комплексом.

Имеется научно-технический и производственный потенциал отечественных предприятий и высших учебных заведений, способный реализовать пилотный проект.

Список литературы

1. <http://eco.rian.ru/danger/20110506/371451079.html>
2. Косенко В.Е., Чеботарев В.Е., Носков Н.Н., Хныкин А.В., Симонов Е.А. Аэрокосмический мобильный информационный комплекс «Аэрокосм» / Интеллект и наука. Труды X Международной научно-практической конференции – г. Железногорск, 2010. С. 34-38.

Сведения об авторах:

Двирный Валерий Васильевич - доктор технических наук, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин Сибирского филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, академик международной академии холода, академический советник РИА, член-корреспондент САН ВШ, лауреат премии Правительства РФ. 662972, г. Железногорск, Красноярского края, ул. Северная, 1, к.т. 3919764786, эл.адрес: dvirnyi@iss-reshetnev.ru

Елфимова Марина Владимировна – заместитель начальника кафедры общепрофессиональных дисциплин Сибирского института пожарной безопасности - филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 662972, г. Железногорск Красноярского края, ул. Северная, 1. к.т. 89138386538, эл.адрес: eifimar@mail.ru

Искакова Алена Сергеевна – магистрант Сибирского Федерального университета, начальник Службы обеспечения переводов ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева, к.т. 8 (3919) 76-40-71. 662972, г. Железногорск. Красноярского края

Симонов Евгений Андреевич - студент Сибирского Федерального университета, к.т. 8-923-2980-179. 662972, г. Железногорск Красноярского края

Чеботарев Виктор Евдокимович - доктор технических наук, профессор, ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева ведущий инженер-конструктор, к.т. 8 (3919) 76-52-89. 662972, г. Железногорск Красноярского края

Из опыта ликвидации открытых нефтяных и газовых фонтанов с возгоранием

Н.Д. Булчаев, Е.В. Безверхая, А.В. Минеев

Сибирский федеральный университет, Институт нефти и газа

Аннотация

В данной статье приведен метод герметизации устья горящей скважины. Впервые в практике пожаротушения применен метод использования герметизирующих шарниров, опробованный на многих нефтяных и газовых промыслах. Приведены устройства, схема соединений шарниров и применяемые при этом специальные крепежные изделия. Показана методика локализации пламени горящей скважины с помощью факельной трубы, обеспечения безопасных условий для работы спасателей с помощью индивидуальных дождевальными установок.

Состояние геосферы является одной из наиболее острых социальных проблем, прямо или косвенно затрагивающих интересы каждого человека. Одной из отраслей народного хозяйства, активно загрязняющих компоненты геосферы, является нефтедобывающая отрасль. По своему уровню развития технологические процессы добычи, сбора, транспорта и подготовки нефти относятся к категории малоотходных технологий. Однако ввиду больших объемов добываемой продукции, нарушений технологических режимов, отклонений от проектов в процессе строительства и т.д. нефтяная отрасль вносит весомую долю в загрязнение геосферы.

Из всех видов известных аварий на месторождениях углеводородов особую опасность представляют открытые газовые и нефтяные фонтаны.

Открытый фонтан (ОФ) – это неуправляемое истечение пластовых флюидов через устье скважины в результате отсутствия, технической неисправности, негерметичности, разрушения противовыбросового оборудования или вследствие грифонообразований.

Открытые нефтяные и газовые фонтаны являются наиболее сложными авариями в нефтегазовой промышленности. Нередко они принимают размеры стихийных бедствий, существенно осложняют деятельность буровых и нефтегазодобывающих компаний, требуют привлечения большого количества техники, людских и материальных ресурсов, приводят к истощению недр и наносят невосполнимый ущерб окружающей природной среде.

Если обратиться к мировой статистике убытков за 1990–2002 года вследствие потери контроля над скважиной, то среднегодовые убытки составляют порядка 324 миллионов USD. Данная статистика охватывает только убытки в размере более 1 миллиона USD. Верхний предел 1 убытка практически не существует, печально зарегистрированный рекорд составляет более 1 миллиарда USD.[1]

Последствия выбросов из скважин определяются характером, интенсивностью и продолжительностью истечения из аварийной скважины, что, в свою очередь определяется интенсивностью притока пластового флюида из залежи и путем его потока к поверхности (через затрубное или заколонное пространство, обсадные или буровые трубы, устьевую или верхнюю запорную арматуру и т.п.).

Чаще всего аварии происходят из-за ошибок персонала, нарушения технологии при строительстве, эксплуатации, капитальном и подземном ремонте скважин. Аварийности способствуют также низкие зимние температуры, неглубокое залегание продуктивных пластов с возможными газонефтепроявлениями и кустовое расположение скважин.

Нефть под большим давлением выходит через нарушения фланцевых соединений фонтанной арматуры и мощной струей бьет одновременно вверх и через боковые отводы. Высота пламени при этом достигает 50 и более метров, клубы черного дыма распространяются на расстояние 15-50 километров.

Аварии часто приобретают характер стихийных бедствий, для ликвидации которых требуются большие материальные ресурсы. Как правило, при этом существенно осложняется деятельность всех прилегающих к району аварии объектов промышленности, транспорта, сельского хозяйства и населенных пунктов.

Вследствие всего выше сказанного, можно сделать вывод о том, что разработка новых методов ликвидации горящих открытых нефтяных и газовых фонтанов актуальна для многих сфер жизнедеятельности человека и решает экологические, экономические, технологические, социальные и др. проблемы.

В настоящей статье представлен метод тушения нефтяных и газовых фонтанов при помощи герметизирующих шарнирных плит. Метод опробован более чем на 60 аварийных скважинах.[2]

Основному этапу ликвидации горящих фонтанов предшествует этап подготовительных работ, в течение которого определяют:

- надежность защиты соседних сооружений;
- возможность эвакуации из опасной зоны ценного оборудования;

- состояние устья скважины и установленного на ней оборудования;
- характер фонтанирования;
- источники водоснабжения и наличие запасов воды.

На основании этого выбирают метод демонтажа поврежденной части устьевого оборудования (фонтанной арматуры) при горящей скважине. Самый легкий вариант – удаление поврежденной части с помощью гусеничного трактора. Для этого на фонтанную арматуру (ФА) накидывают две петли: нижнюю путем обвивки вручную (с помощью удлиненных багров, различных захватных приспособлений) фиксируют чуть ниже фланца, который подлежит герметизации; а верхнюю набрасывают на верхнюю часть ФА (выше повреждения). При этом два трактора тянут канаты по одной прямой, но в разные стороны. Нижняя петля призвана уменьшить ударное воздействие на крестовую трубной головки и уменьшить риск обрыва подъемного лифта, если он еще не упал. Верхняя петля срывает фонтанную елку или ее часть.

Иногда для демонтажа поврежденной части устьевого оборудования можно использовать орудийный снаряд, который, попадая в намеченную точку, откидывает верхнюю часть оборудования. Данный метод применяют лишь в тех исключительных случаях, когда другие методы не дают нужного результата.

Следующим звеном подготовительных работ при тушении пожара являются работы по установке факельной трубы и подготовке котлована вместимостью 3000 м³ и более для залива водой. Водоснабжение обеспечивают за счет ближайших источников: рек, водоемов, скважин с использованием электрических центробежных насосов (ЭЦН). Необходимо учитывать, что к водозаборным установкам предъявляют повышенные требования по термическому воздействию на них, безопасной работе в условиях высокой концентрации механических примесей и др. Повышенные требования обусловлены проблемой обеспечения износостойкости насосного оборудования, так как вместе с забираемой из разных источников водой, как правило, в насосное оборудование поступают абразивные материалы (песок, глина и др.).

Для удовлетворения этих требований предложено покрывать детали ЭЦН плазменными наплавками оксидов циркония, хрома, иттрия, или алюминия. Это создает низкопористые, термобарьерные, и уплотнительные покрытия двигателей, обеспечивая должную износостойкость изделия и, как следствие, увеличенный межремонтный период.

Процессы, протекающие на открытых пожарах, в значительной степени зависят от интенсивности и направления ветра.

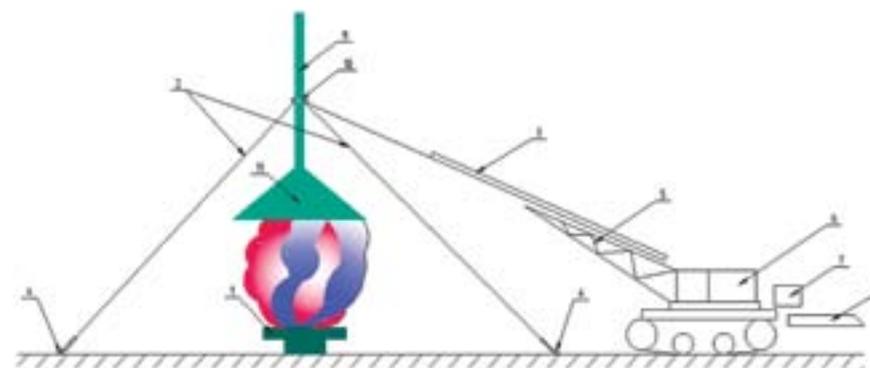


Рис. 1. Схема установки факельной трубы. 1-фланец; 2-оттяжки; 3-телескопическая стрела; 4-якорь; 5-стрела; 6-гусеничная тележка; 7-контргруз; 8-труба толкателя; 9-труба; 10-стопорное кольцо; 11-зонт.

Зона горения на открытом пожаре в основном определяется распределением горючих веществ в пространстве и формирующими зону горения конвективными газовыми потоками. Зона теплового воздействия - в основном лучистым тепловым потоком, так как конвективные тепловые потоки уходят вверх и мало влияют на зону теплового воздействия на поверхности земли. В случае горящих скважин, зона задымления не существенно препятствует тушению пожаров. В среднем, максимальная температура открытого пожара для горючих газов составляет 1200 - 1350°C, для жидкостей 1100-1300°C и для твердых горючих материалов органического происхождения 1100-1250°C.

Время пребывания работающих в загазованной среде и время их отдыха устанавливаются в зависимости от климатических и погодных условий, степени загазованности воздушной среды, характера проводимых работ, технических данных и особенностей применяемых защитных средств.

В качестве защитных средств применяют теплоотводящие экраны, широко применяются водяные завесы, свободно падающие в виде пленки, либо орошающие другую экранирующую поверхность (например, металлическую).

Следует отметить, что каждый спасатель имеет индивидуальную дождевальную установку, которая его орошает тонкими струями воды. Размещается она на плечах спасателя, а диспергирующее устройство (в виде душевой сетки) располагается чуть выше головы. Водоснабжение установки обеспечивается от насосной установки, находящейся около водяного котлована, с помощью длинного шланга.

Таким образом, после размещения вокруг горящей скважины водометов (брандспойтов) и готовности их к направленному дождеванию, начинают работы по выдвиганию факельной трубы (рис.1). Факельная труба изготавливается из нефтепроводной трубы $\varnothing 300$ мм и более, $L=6-8$ м. На нижнем конце трубы устанавливают конусообразный зонт с $\varnothing 1-1,5$ м для сбора и направления пламени в трубу. На механической стреле специальной гусеничной тележки крепят вертикально факельную трубу таким образом, чтобы основной язык пламени вошел в конусообразный зонт. На фиксирующем поясе трубы подвешены оттяжки из тонкого стального каната. Тележку толкают или подкатывают к скважине с помощью каната трактором, находящимся на противоположной стороне на безопасном расстоянии от пламени. При необходимости дополнительные гусеничные тракторы могут способствовать удерживанию равновесного состояния движущейся системы с помощью указанных оттяжек, сами, двигаясь в унисон скорости первого трактора по заранее подготовленному маршруту (в условиях сложного рельефа). С этого момента начинается процесс дождевания факельной трубы, предохраняя ее и стрелу от накаливания. После того, как факельную трубу установят, и в нее устремится пламя, производят крепление трубы на трех якорях с помощью оттяжек и их регулирование. Якоря стремятся размещать вокруг скважины так, чтобы угол между осью скважины (факельной трубы) и двумя якорями в горизонтальной плоскости равнялся 120° .

Метод герметизации устья с помощью герметизирующих шарниров на практике применяли в следующих случаях:

1. Самым легким с точки зрения проведения спецработ являлся случай, когда нарушения герметичности произошли выше трубной головки фонтанной арматуры.

В этих случаях выбивалась сама елка или ее часть, и готовился спецшарнир для посадки на соответствующий фланец, из которого с достаточно высокой скоростью выбивалась горящая нефть.

2. Наиболее сложные задачи возникали в тех случаях, когда пламя шло одновременно из верха и боковых отводов крестовика трубной головки ФА. Как правило, в таких случаях имели место падение подъемных труб, а также нарушения герметичности колонн, что вызывало заколонные перетоки и т. д.

3. Случаи, когда ФА приходилось полностью демонтировать с пьедестала (верхнего фланца) колонной головки, были крайне редки.

Более подробно рассмотрим вариант герметизации крестовика трубной головки (вариант 2). Первая плита шарнира навешивается на боковой фланец (или зальсину) крестовика. Достигается это с помо-

щью 1-2 болтов (не шпилек, как обычно соединяются фланцы) с укороченной шестигранной головкой. Эти болты имеют также внутреннюю осевую резьбу (концентрическую), используемую для закрепления второй плиты. После жесткого закрепления первой плиты на нее навешивается другая (ответная) плита, на которой жестко с помощью небольших прихватов сваркой закреплена задвижка (или кран высокого давления) с патрубком 1- 1,5 м. (рис.2) На одном из таких патрубков рядом с фланцем устанавливается краник под манометр.

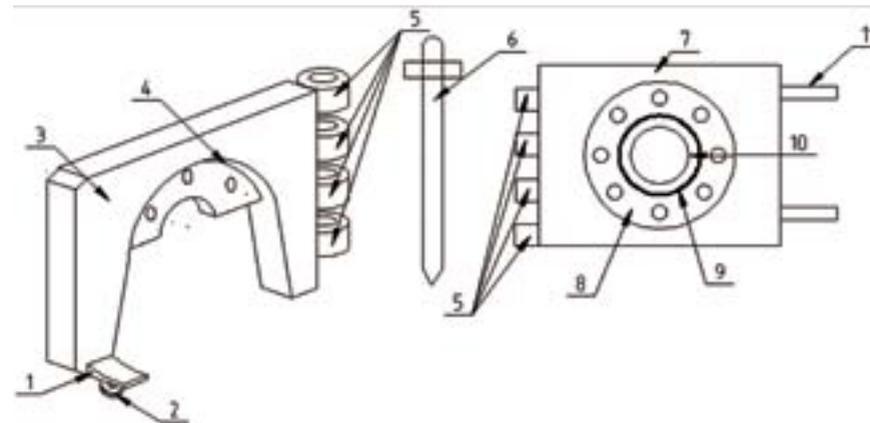


Рис.2. Шарнирные плиты. 1-регулирующий выступ; 2-регулирующий винт; 3-первая плита; 4-ниша для навески на фланец фонтанной арматуры; 5-штулки; 6-палец; 7-плита с задвижкой; 8-фланец задвижки; 9-уплотнительное кольцо; 10-проход фланца; 11-ручка.

Шарнирность достигается с помощью специального пальца, который после достижения соосности петель (штулок) обеих плит сверху ставится в рабочее положение. Крепление шарнира производится при его открытом положении.

Затем быстро закрывают шарнир при открытой задвижке: пламя устремляется через задвижку в патрубок, имеющий завернутый вверх конец для создания тяги.

Даже, когда немного удлиненное (на 4-5 мм) уплотнительное кольцо, закрепленное на фланце задвижки, еще не село в проточку (канавку) фланца крестовика (рис.3), пламя уже не бьет по сторонам, и спасатели могут центрировать и закреплять вторую плиту. Для центровки плиты используют регулировочные винты, вмонтированные в первую плиту на специально сделанных выступах.

После посадки уплотнительного кольца производят затяжку резьбовых соединений, используя специальные ключи.

То же самое проделывают и со вторым боковым отводом крестовика.

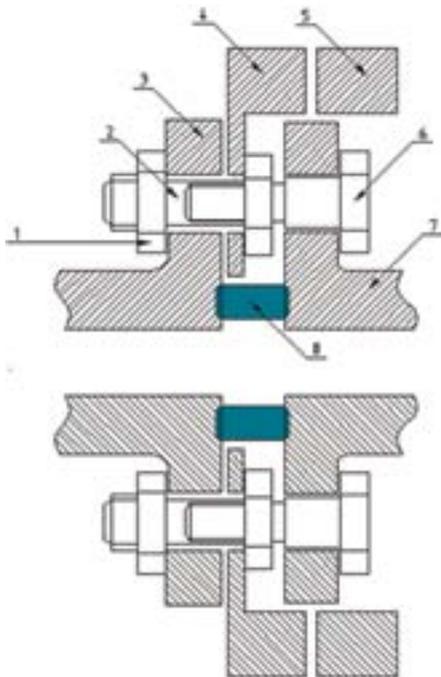


Рис.3. Схема соединения шарнирных плит: 1-гайка; 2-спецболт с внутренней резьбой; 3-фланец задвижки ФА; 4-первая плита герметизирующего устройства; 5-вторая плита герметизирующего устройства; 6-спецболт ступенчатый; 7-фланец задвижки; 8-уплотнительное кольцо, приваренное к задвижке.

Закрывание верхнего фланца аналогично предыдущим. Однако сам поворот верхней плиты и ее посадка осуществляются с помощью двух оттяжек: одна закрывает, другая тянет в противоположную сторону во избежание резкого удара, что может привести к поломке шарнира. Шарнир изготавливают по такому же принципу. Необходимо заметить, что требования к прочности и надежности верхнего шарнира значительно выше, чем для боковых, поскольку на сами плиты уже действуют изгибающие моменты сил, связанные с определенной консольностью расположения петель и соединительного пальца по отношению к вертикальной оси крестовика. Здесь и сама шарнирная база

(расстояние между крайними сочленениями) должна быть значительно шире, так как необходимо обеспечить устойчивость подвижной плиты, нагруженной весом запорной арматуры и патрубка. Слабым звеном является ослабленная проточками в теле нижняя плита шарнира. Поэтому материал для изготовления шарниров подбирают с учетом возможных нагрузок. Наиболее полно по своим прочностным характеристикам этим требованиям отвечает легированная сталь марки 40ХН или 35ХНГ и др. Перед эксплуатацией герметизирующее оборудование должно пройти гидроиспытания на требуемое давление.

После герметизации устья скважины определяют масштаб последствий пожара, который не может не отразиться на состоянии самой скважины. В скважине могут находиться сорвавшиеся подъемные трубы (один или два ряда НКТ), появиться за колонные перегородки, нарушения герметичности цементного камня, проявления пластовых флюидов вокруг устья скважин. Только после тщательного изучения всех повреждений скважины разрабатывают план ремонтно-восстановительных работ.

Библиографический список

1. Дружинин О.А. Вероятность наступления страхового случая «Потеря контроля над скважиной». Страхование в России. [Текст] <http://www.allinsurance.ru/AllDocs>
2. Булчаев Н.Д., Безверхая Е.В. Способ герметизации устья горячей нефтяной скважины [Текст]//Газовая промышленность. – 2011. - № 4/658. – С.85-87

Сведения об авторах:

Булчаев Нурди Джамалайлович – заведующий кафедрой «разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Института Нефти и Газа Сибирского федерального университета, Россия, 660041, Красноярск, пр.Свободный, 82/6. Сот. тел.: 8923-4022-568. E-mail: nbulchaev@yandex.ru.

Безверхая Елена Владимировна – к.т.н., доцент кафедры «разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Института Нефти и Газа Сибирского федерального университета, Россия, 660041, Красноярск, пр.Свободный, 82/6, Сот. тел.: 89048-952-999. E-mail: bezverh@akadem.ru.

Минеев Александр Васильевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «бурение нефтяных и газовых скважин» Института Нефти и Газа Сибирского федерального университета, Россия, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82/6. Сот.т. 8908-214-1682.

Система дистанционного мониторинга пожаров и земель агропромышленного комплекса

**Н.А. Тестоедов¹, В.И. Лаеров, В.В. Двирный,
М.В. Елфимова², А.С. Исакова¹, М.В. Валов¹**

1. ОАО «Информационные спутниковые системы»
им. акад. М.Ф. Решетнева».

2. Институт пожарной безопасности Сибирского филиала
Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

В статье рассмотрена возможность разработки совместного проекта по космическому мониторингу земель в интересах Министерства сельского хозяйства и Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

По мере совершенствования авиакосмической техники, оперативности и доступности спутниковой информации, спрос на космический мониторинг Земли непрерывно растет. Сегодня любой желающий может найти подобную информацию в свободном доступе в сети Интернет или, при желании, обратиться к специализированной компании, занимающейся космическим мониторингом. Популярность такого вида мониторинга можно легко объяснить. Во-первых, наземные средства не всегда могут в полной мере отражать достоверное состояние Земли, кроме того, применение лишь наземных средств потребует больше времени и немалых денежных затрат при сборе информации. Во-вторых, спутниковые системы обеспечивают точные, надежные и объективные данные, основываясь на которых специалисты могут строить точные прогнозы и с такой же точностью локализовать возникающую проблему. И последнее - масштабность, которую обеспечивает космический мониторинг, не идет ни в какое сравнение с зоной охвата наземных средств.

Речь в данной статье, главным образом, пойдет о космическом мониторинге пожаров, которые пока являются весьма актуальной проблемой для России, страны с обширными сельскохозяйственными и лесными территориями.

Возможности космического мониторинга лесных пожаров определяются оперативностью съёмки, пространственным разрешением и доступностью снимков. На сегодняшний день существует несколько систем, участвующих в космическом мониторинге пожаров. Это мете-

оспутники TERRA и AQUA с камерой MODIS, которые имеют высокую частоту прохождения территории (благодаря широкой полосе захвата 2,5 - 3 тыс. км два метеоспутника обеспечивают 3-4 снимка в сутки на любого региона России) и высокую оперативность передачи информации. Для уточнения информации с метеоспутников, получения итоговых контуров прогоревших территорий, а также регистрации действующих пожаров используются снимки среднего разрешения Landsat и SPOT. Так, например, использование космических снимков с разрешением (10-30 м) со спутников SPOT 4/5 позволяет уточнять площади возгораний и увеличивает вероятность определения малых очагов пожаров. Механизм получения данных мониторинга следующий: после того, как получено изображение, происходит его первичная обработка, калибровка. Затем уточняется координатная привязка снимка к картографической основе. Затем проводятся анализ и дешифровка снимка, выделяются очаги активных пожаров и обрисовываются площади, пройденные огнем. Сам снимок и дешифрованные данные выкладываются на геопортал и передаются всем заинтересованным организациям, в том числе и МЧС России.

По словам специалистов, для решения подобной проблемы, в идеале должна существовать разветвленная информационная система, которая могла бы чутко реагировать на любые события, происходящие на Земле. В качестве такой информационной системы авторы предлагают рассмотреть систему, частью которой является космический комплекс, состоящий из космического аппарата «Космос-СХ» (рисунок 1), чьи технические возможности будут подробно описаны далее.

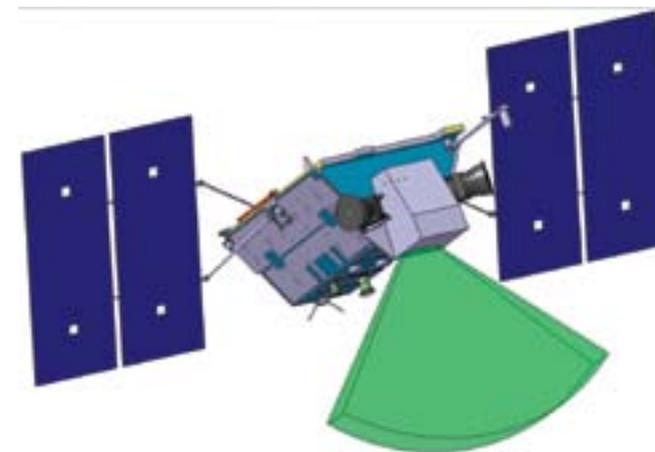


Рис. 1 - Внешний облик космического аппарата «Космос-СХ»

Начиная с 2009 года ОАО «Информационные спутниковые системы «им. академика М.Ф. Решетнева» ведет разработку космических аппаратов для нужд Министерства сельского хозяйства. На сегодняшний день уже разработан системный проект по развитию Системы дистанционного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения, определяется финансирование системы в рамках работ Министерства сельского хозяйства России, основные требования и характеристики системы, рассматривается соглашение между Министерством сельского хозяйства России и Роскосмосом, о включении проекта в Федеральную космическую программу. Также, уже сегодня разработан эскизный проект создания спутниковой подсистемы дистанционного зондирования Земли, и идет разработка дополнения к существующему эскизному проекту. Очевидно, что при дополнительной доработке проекта, можно значительно расширить функциональность системы, используя ее не только для осуществления мониторинга посевных площадей, но и лесного массива. Таким образом, система, основанная на космическом аппарате «Космос-СХ», может выполнять следующие задачи: картографирование пахотных земель, лесных пожаров и оценка их динамики; оценка площадей пожаров и посевных площадей по типам сельскохозяйственных культур; мониторинг развития пожаров и оценка состояния сельскохозяйственных культур; прогноз урожайности с учетом различных стихийных бедствий, в том числе пожаров; оценка продуктивности земель; оценка последствий негативных воздействий на сельскохозяйственные посевы (пожары, засухи, вредители, болезни растений и т. д.).

Изначально срок запуска космических аппаратов планировался на 2012 год. Однако из-за огромных потерь Агропромышленного комплекса, связанных с засушливым летом 2010 года, финансирование работ не начато. В этой связи имеется возможность разработки совместного с МЧС России проекта для решения комбинированной системы задач мониторинга пожаров, и сельскохозяйственных земель с соответствующим совместным финансированием. Преимущества такого проекта очевидны:

- создается под действующую систему;
- может использоваться для мониторинга пожаров и состояния сельскохозяйственных площадей;
- позволит использовать уже накопленные архивы данных;
- позволит использовать уже созданные технологии и алгоритмы обработки данных;
- закрывает фактически пустующую нишу (среднее пространственное разрешение).

Рассмотрим требования, предъявляемые к данному аппарату в течение сеанса съёмки следующие (Таблица 1):

Таблица 1. Требования, предъявляемые к аппарату «Космос-СХ»

Характеристика	Значение
Назначение космического аппарата	Дистанционное зондирование Земли
Конструктивное исполнение	Негерметичное
Тип орбиты функционирования космического аппарата	Низкая круговая
Параметры орбиты	- наклонение 98.2°; - средняя высота 702,3 км; - период витка 1 час 38 минут; - эксцентриситет не более 0,001
Масса космического аппарата	270 кг
Масса полезной нагрузки	70 кг
Мощность солнечной батареи в конце САС	650 Вт
Средневитковая мощность для питания полезной нагрузки	125 Вт
Пиковая мощность для питания полезной нагрузки	380 Вт
Характеристики оптической аппаратуры: - тип объектива - фокусное расстояние - количество спектральных каналов - время съёмки в сутки - ширина полосы захвата в надир	зеркальный 700 мм 1-6 4500 с/сутки 85 км
Скорость информационного потока целевой радиолинии	225 Мбит/с
Срок активного существования	7 лет
Средства выведения	РН «Рокот»

Основные технические характеристики оптико-электронной аппаратуры (ОЭА), используемой для данного спутника (таблица 2).

**Табл. 2. Технические характеристики
оптико-электронной аппаратуры**

Характеристика	Значение
Высота орбиты КА, км.	700
Проекция пиксела на Землю в надир, м.	10
Ширина полосы захвата в надир, км.	120
Ёмкость запоминающего устройства, Гбайт.	32 (+32 в холодном резерве)
Количество спектральных каналов	7
Спектральные диапазоны*, нм	440 – 510
	520 – 590
	585 – 625
	630 – 685
	690 – 730
	760 – 850
850 – 1000	
Радиометрическое разрешение (съёмка в надир, высота Солнца 30 град.)	не хуже 0,005 во всём диапазоне яркости
Разрядность данных, бит.	12
Информационный поток без сжатия, Мбит/с.	680
Максимальное время записи без сжатия, сек.	800
Коэффициент сжатия видеoinформации	2-4
Энергопотребление, Вт.	55
Габариты ОЭМ, мм.	416 x 345 x 305
Масса суммарная, кг.	25
Основные технические характеристики фотоприёмного устройства (ФУ)	
Размер элемента, мкм.	8
Число элементов в строке	не менее 12000
Число каналов в одном ФУ	1
КПМ на частоте Найквиста	0,5
Основные характеристики оптической системы	
Тип объектива	Зеркальный
Фокусное расстояние, мм.	560
Диаметр входного зрачка, мм.	93
Поле зрения в пространстве изображений, мм.	20 x 100
Ширина рабочего поля в фокальной плоскости, мм	98,3

Коэффициент пропускания, с учетом светофильтров и защитного стекла	0,6
Расчётный КПМ на частоте Найквиста	0,5
Блок управления и синхронизации (БУС)	
Энергопотребление, Вт.	25
Габаритные размеры, мм.	300 x 300 x 179
Масса, кг.	15
Примечание:* - спектральные диапазоны могут быть изменены по требованию заказчика.	

С учетом данных характеристик бортовой аппаратуры космического аппарата «Космос-СХ», принципиальная схема съёмки космического аппарата будет выглядеть следующим образом (рисунок 2):

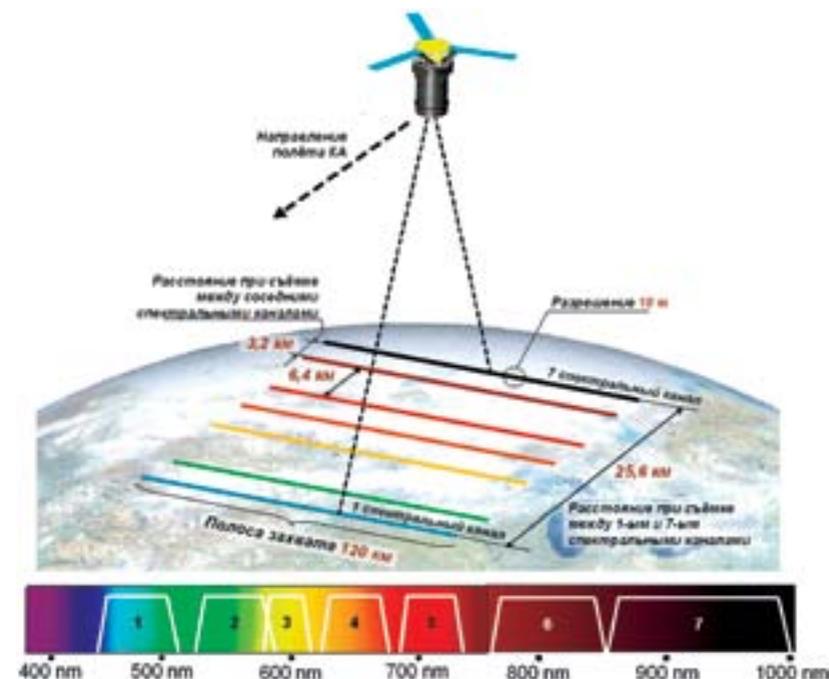


Рис. 2 - Схема съёмки космического аппарата «Космос-СХ»

Исполнение оптико-электронной аппаратуры спутника, а значит, и схема его съёмки могут иметь различные варианты, согласующиеся с требованиями заказчика и техническими возможностями аппарата.

Планируется, что в состав данной системы войдут три космических аппарата, обеспечивающие круглосуточное покрытие съемками более 90% экваториальной зоны Земли и полное покрытие территорий выше 350 северной широты и ниже 350 южной широты.

Таким образом, создание отечественной спутниковой группировки для мониторинга сельскохозяйственных и лесных территорий обеспечит России независимость от получения данных дистанционного зондирования Земли из-за рубежа, позволит создать уникальную и конкурентоспособную систему мониторинга состояния растительности на основе собственного накопленного в стране опыта, а также сохранить земли от воздействий стихий, в первую очередь пожаров. Будет также создана возможность для экспорта разработанных технологий мониторинга и отечественных спутниковых данных, что обеспечит дополнительную экономическую эффективность системы.

Библиографический список

1. Барталев С.А., Буряков М.Н., Лавров В.И., Лукашин О.А., Лупян Е.А., Назиров Р.Р., Нестеренко А.А., Полянский И.В., Чулков И.В., Яковлев А.В. «Спутниковая система «Космос-СХ»/», материалы для ИКИ РАН, Москва, 2009 г.
2. http://www.infox.ru/science/planet/2011/04/26/Kosmicheskiy_monito.phtml

Сведения об авторах:

Тестоедов Николай Алексеевич - доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии космонавтики имени К.Э. Циолковского Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, Генеральный конструктор и генеральный директор ОАО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М.Ф. Решетнева» 662972 г. Железногорск, Красноярского края, ул. Ленина,52.

Лавров Виктор Иванович - Заместитель генерального конструктора по разработке космических систем, общему проектированию и управлению космическими аппаратами, Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники. 662972 г. Железногорск, Красноярского края, ул. Ленина,52.

Двирный Валерий Васильевич - доктор технических наук, профессор, академик международной академии холода, академический советник РИА, член-корреспондент САН ВШ, лауреат премии Правительства РФ. г. Железногорск, Красноярского края, ул. Северная,1, индекс 662972, к.т. 3919764786, эл.адрес: dvirnyi@iss-reshetnev.ru

Елфимова Марина Владимировна – заместитель начальника кафедры общепрофессиональных дисциплин Сибирского филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. г. Железногорск, Красноярского края, ул. Северная,1. к.тел.: 89138386538, эл.адрес:eifimar@mail.ru, индекс 662972

Исакова Алена Сергеевна – магистрант Сибирского Федерального университета, начальник Службы обеспечения переводов ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева, к.тел.: 8 (3919) 76-40-71 г. Железногорск. Красноярского края, индекс 662972

Валов Михаил Владимирович - аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета, инженер I категории ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева р.т. 8 (3919) 76-53-18

Оценка параметров крупных лесных пожаров по данным космического мониторинга

Доррер Г. А., Мельник А. А., Якимов С. П.

Центр НИОКР Сибирского института пожарной безопасности - филиала Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

Введение

Прогнозирование параметров крупных лесных пожаров и оценка их последствий на основе информации, хранящейся в системах спутникового мониторинга открывает значительные возможности для улучшения процессов управления пожарной ситуацией. Однако до сих пор эта проблема не решена, несмотря на ее важность с точки зрения обеспечения пожарной безопасности на территории России. Трудность решения этой проблемы определяется несколькими факторами:

- сложный характер и изменчивость поведения крупных многодневных лесных пожаров, которые развиваются на большой площади в изменяющихся природных и погодных условиях;
- недостаточная или неточная информация о характеристиках леса, топографии местности, локальных метеоданных;
- малая разрешающая способность имеющихся космических снимков пожаров;
- не всегда достоверная отчетная информация, поступающая с мест;
- организационная сложность, состоящая в том, что при борьбе лесными пожарами вблизи населенных пунктов и других объектов экономики возникают проблемы взаимодействия противопожарных сил различных ведомств: МЧС, служб охраны леса, муниципальных и сельских образований.

Из сказанного следует, что эффективного управления борьбой с лесными пожарами необходимо провести исследование и оценку различных методов прогнозирования параметров пожаров на основе спутниковых данных с привлечением, где это возможно, дополнительной информации. В настоящей работе рассматриваются такие методы для пожаров, находящихся под воздействием противопожарных сил.

Исходной информацией для работы явились данные о лесных пожарах, хранящиеся в двух информационных системах: в Региональной системе спутникового мониторинга ГО и ЧС (г. Красноярск) [1] и системе ИСДМ-Рослесхоз, созданной рядом организаций под руковод-

ством Института космических исследований РАН [2], которая используется ФГУ «Авиалесоохрана». Кроме того, использовались доступные данные о характеристиках леса в месте пожара, а также комплексы метеоданных.

Ранее авторами были рассмотрены различные методы прогнозирования распространения лесных пожаров на основе спутниковой информации [3,4]. Были исследованы статистические данные о пожарах, использованы методы OLAP и нейросетевого прогнозирования; разработана программа для преобразования данных, а также ГИС-ориентированное приложение для визуализации результатов прогноза. Было показано, что при имеющемся уровне информационного обеспечения наиболее эффективным инструментом прогнозирования параметров крупных (свыше 200 га) лесных пожаров являются нейросетевые технологии. Предложены и верифицированы для ряда регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока нейросетевые модели прогнозирования суточного прироста площади, пройденной пожаром.

Настоящая работа является продолжением этих исследований, она посвящена более глубокой обработке имеющейся информации. Рассмотрены методы прогнозирования конфигурации пожара на основе информации о приросте площадей пожаров, полученной путем нейросетевой обработки данных, хранящихся в системах спутникового мониторинга, и карт лесной растительности. На основе динамики прироста площади пожара произведена оценка момента начала борьбы с пожаром и интенсивности этой борьбы.

Следует отметить, что в силу отмеченных выше обстоятельств модели динамики пожаров получаются сравнительно грубыми, ориентированными в основном на получение качественных оценок процесса распространения пожара в наиболее неблагоприятных случаях. Тем не менее, по отзывам специалистов, такая информация оказывается полезной при принятии решений по борьбе с пожарами. Попытки получения более точных прогнозов динамики пожаров предпринятые, например, разработчиками системы Behave (США) [5] при максимальном учете доступных данных об условиях горения показали, что даже для небольших пожаров погрешности составляют порядка 30% по площади и до 50% по геометрическим размерам. Кроме того, точность прогнозирования сильно зависит от квалификации пожарного аналитика. Аналогичные результаты получены сотрудниками Института леса СО РАН [6], Указанные погрешности, помимо прочего, обусловлены тем, что невозможно достаточно точно спрогнозировать метеоусловия в районе пожара, а они оказывают решающее влияние на его распространение. Сказанное в особенности касается прогнозов на длительный период.

1. Базовая модель динамики площади лесного пожара. Используемая в работе модель основана на следующих предпосылках. По непосредственным данным мониторинга пожаров, либо по вычисленному с помощью нейромитатора приросту площади пожара [3, 4] строится модель динамики площади пожара. На этой основе производится дальнейшая обработка:

- 1) вычисляется скорость фронта и скорость увеличения длины кромки пожара;
- 2) на основе данных о скорости и направлении ветра в районе пожара. оценивается возможная конфигурация пожара;
- 3) определяется момент начала борьбы с пожаром и производительность противопожарных сил. Были приняты следующие допущения.

Динамика изменения площади свободно развивающегося пожара определяется выражением

$$S(t) = k_0(t - t_0)^a, \quad (1)$$

где t – текущее время, t_0 – момент возникновения пожара, $сутки$, k_0 – постоянный коэффициент имеющий размерность $га/сут^a$, a – показатель скорости роста площади. Как ясно из геометрических соображений, с показателем a связано изменение скорости фронта пожара: при $a = 2$ эта скорость постоянна, при $a < 2$ скорость фронта со временем уменьшается, а при $a > 2$ скорость фронта возрастает.

Скорость фронта пожара представляется как

$$v(\varphi, t) = v_0(t)\xi(\varphi), \quad (2)$$

где $v_0(t)$ зависящая от времени максимальная скорость распространения фронта пожара (например, в направлении ветра); $\xi(\varphi)$, ($|\xi| \leq 1$) – индикатриса полной скорости фронта, определяющая конфигурацию пожара в соответствии с принципом Гюйгенса, φ – направление распространения ($0 \leq \varphi \leq 2\pi$).

3. Индикатриса определяется скоростью ветра w и его направлением, она принимается неизменной в расчетный период времени, Угол φ в приведенных ниже формулах отсчитывается от направления ветра по часовой стрелке.

Для упрощения формул в данном разделе положим $t_0 = 0$. Рассмотрим элементарное приращение площади пожара dS . На рисунке 1 показана кромка пожара в два близких момента времени t и $t=dt$. Из рисунка следует, что $dS = v_n dt dl$, где v_n – нормальная скорость фронта, dl – приращение длины контура, которое вычисляется по формуле, в данном случае имеющей вид [7]

$$dl = \rho d\varphi = d\varphi \sqrt{\xi^2(\varphi) + \xi'^2(\varphi)} \int_0^{\tau} v_0(\tau) d\tau, \quad (3)$$

где $v(\varphi, t)$ – полная скорость фронта.

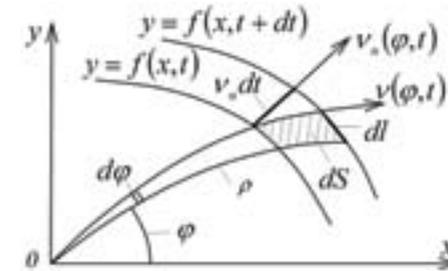


Рисунок 1

В свою очередь, нормальная скорость связана с полной скоростью соотношением

$$v_n(\varphi, t) = \frac{v(\varphi, t)}{\sqrt{1 + \left(\frac{v'(\varphi, t)}{v(\varphi, t)}\right)^2}} = \frac{v_0(t)\xi^2(\varphi)}{\sqrt{\xi^2(\varphi) + \xi'^2(\varphi)}}, \quad (4)$$

Отсюда

$$dS = d\varphi dt v_0(t) \xi^2(\varphi) \int_0^{\tau} v_0(\tau) d\tau. \quad (5)$$

Приращение площади по всем направлениям распространения:

$$dS_{2\pi} = \int_0^{2\pi} dS d\varphi = 2 dt v_0(t) \int_0^{2\pi} d\varphi \xi^2(\varphi) \int_0^{\tau} v_0(\tau) d\tau.$$

Скорость прироста всей площади пожара:

$$\frac{dS}{dt} = 2 v_0(t) \int_0^{2\pi} \xi^2(\varphi) d\varphi \int_0^{\tau} v_0(\tau) d\tau$$

а динамика общей площади примет вид

$$S(t) = 2 \int_0^{\tau} \xi^2(\varphi) d\varphi \int_0^{\tau} v_0(\tau) \int_0^{\theta} v_0(\theta) d\theta dt \tau \quad (6)$$

Будем искать функцию $v_0(t)$ в виде $v_{0s} t^\beta$, где величины β и v_{0s} подлежат определению. Тогда

$$\int_0^{\tau} v_0(\tau) d\tau = \frac{1}{\beta} v_{0s} t^{\beta+1}, \quad \frac{dS}{dt} = 2 \frac{v_{0s}^2}{\beta+1} t^{2\beta+1} \int_0^{2\pi} \xi^2(\varphi) d\varphi.$$

С другой стороны, из первоначального предположения $S(t) = k_0 t^a$ следует

$$\frac{dS}{dt} = k_0 a t^{a-1}, \quad \text{откуда получаем уравнение } 2 \frac{v_{0s}^2}{\beta+1} t^{2\beta+1} \int_0^{2\pi} \xi^2(\varphi) d\varphi = k_0 a t^{a-1}. \quad (7)$$

Приравняв показатели степени при t , получим $2\beta+1 = a-1$, откуда

$$\beta = \frac{a}{2} - 1 \quad (8)$$

Далее, приравняв множители при t , определим величину v_{os} :

$$v_{os} = \left(\frac{ak_0(\beta+1)}{2 \int_0^\pi \xi^2(\varphi) d\varphi} \right)^{1/2} = \frac{\alpha \sqrt{k_0}}{2 \int_0^\pi \xi^2(\varphi) d\varphi} = \frac{\alpha \sqrt{k_0}}{2P}, \quad (9)$$

где $P(w) = \int_0^\pi \xi^2(\varphi) d\varphi$.

На основе формулы (3) можно вычислить также периметр горячей кромки пожара. В частном случае, когда пожар развивается из кругового очага малого радиуса

$$L(t) = 2 \int_0^\pi \rho d\varphi = 2 \int_0^\pi v_0(\tau) d\tau \int_0^\pi \sqrt{\xi^2(\varphi) + \xi'^2(\varphi)} d\varphi. \quad (10)$$

Формула для скорости прироста периметра пожара примет вид:

$$\frac{dL(t)}{dt} = 2v_0(t)Q(w) \quad (11)$$

где $Q(w) = \int_0^\pi \sqrt{\xi^2(\varphi) + \xi'^2(\varphi)} d\varphi$.

Рассмотрим некоторые частные случаи.

При $a=2$ $\beta=0$ и скорость фронта постоянна: $v_{os} = \frac{\sqrt{k_0}}{P}$ (12)

При круговом распространении $\xi(\varphi) \equiv 1$, $\int_0^\pi \xi^2(\varphi) d\varphi = \pi$ и $v_{os} = \sqrt{\frac{k_0}{\pi}}$,

что непосредственно вытекает из формулы, определяющей площадь

расширяющегося круга: $S = \pi(v_{os}t)^2 = k_0t^2$.

Рассмотрим конкретные выражения для индикатрис [7].

1. Экспоненциальная индикатриса

$$\xi(\varphi) = \exp(a(w)(\cos(\varphi) - 1)), \quad (13)$$

где коэффициент $a(w)$ зависит от скорости ветра и оценивается формулой: $a(w) = 0.785w - 0.06w^2$, которая справедлива при условиях: $0 \leq w \leq 3$ м/сек.

Тогда интегралы, стоящие в выражениях (9) и (11) примут вид

$$P(w) = \int_0^\pi \xi^2(\varphi) d\varphi = \exp(-2a(w)) \int_0^\pi \exp(2a(w)\cos(\varphi)) d\varphi, \quad (14)$$

$$Q(w) = \int_0^\pi \sqrt{\xi^2(\varphi) + \xi'^2(\varphi)} d\varphi = \int_0^\pi \xi(\varphi) \sqrt{1 + \frac{a^4(w)}{4} \sin^2(2\varphi)} d\varphi \quad (15)$$

Вычисленные величины этих интегралов для некоторых значений скорости ветра приведены в таблице 1.

Таблица 1

w . м /сек	0	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0
$a(w)$	0	0.078	0.155	0.378	0.725	1.33	1.815
$P(w)$	3,142	2,705	2,361	1,1695	1,178	0,818	0,636
$Q(w)$	3.142	2.911	2.708	2.234	1.758	1.455	1.535

Эллиптическая индикатриса

$$\xi(\varphi) = \frac{1 - e(w)}{1 - e(w)\cos(\varphi)}, \quad (16)$$

где $e(w)$ – эксцентриситет эллипса, зависящий от скорости ветра. Для оценки зависимости эксцентриситета эллиптической индикатрисы от скорости ветра были аппроксимированы эллипсами графики индикатрис, приведенные в работе Ф. Альбини [8] для большого диапазона скоростей ветра, указанных в первой строке таблицы 2, и вычислены соответствующие эксцентриситеты. Была получена следующая аппроксимация зависимости индикатрисы от скорости ветра:

$$e(w) = 1 - \exp(-0.4w) \quad (17)$$

Затем были вычислены значения интегралов $P(w)$ и $Q(w)$, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2

w . м /сек	0	1,25	2,5	5	10	15
$e(w)$	0	0,393	0,632	0,865	0,982	0,998
$P(w)$	3,142	1,469	0,782	0,588	0,539	0,193
$Q(w)$	3.142	2.151	1.60	1.424	1.379	1.194

Сравнивая таблицы 1 и 2, можно увидеть, что значения функции $P(w)$ и $Q(w)$ для обеих индикатрис заметно различаются при близких скоростях ветра. Здесь следует учитывать, что в первом случае скорость ветра вычислялась на высоте двух метров от земли, а во втором – на высоте десяти метров, и этим также объясняется более вытянутая форма эллиптической индикатрисы.

Оценим погрешность предлагаемой методики. Понятно, что все исходные данные вносят погрешность в конечный результат. Однако мы на данном этапе ограничимся простейшим расчетом погрешностей, вызванных оценкой погрешности площади пожара и его суточного прироста. Пусть погрешность определения площади пожара составляет δS га, тогда погрешность оценки коэффициента k_0 составит в соответствии с формулой

$$\delta k_0 = \delta S / \Delta t^2 \quad (5)$$

Пример. Зарегистрированный в системе ИСДМ-Рослесхоз пожар К-1491 действовал в Долгомостовском лесничестве Красноярского края с 15.05.2008 по 18.05.2008 г. Пожар был зарегистрирован на площади 27 га, площадь ликвидации 1526 га. Температура воздуха была 16,7° С, скорость ветра по данным ближайшей метеостанции – 4 м/сек, направление ветра, отсчитанное от направления на север, – 100 град. Примем, что погрешность определения площади составляет $\delta S = 100$ га. Вычислим коэффициент k_0 и его погрешность в модели:

$$k_0 = \Delta t^2 = 1499/9 = 166.5 \text{ га/сут}^2, \quad \delta k_0 = 100/9 = 1.1 \text{ га/сут}^2.$$

Принимаем показатель скорости роста площади пожара $a=2$, т.е. предполагаем, что скорость фронта пожара постоянна. Поскольку скорость ветра достаточно велика, воспользуемся эллиптической индикатрисой. Для скорости ветра $w = 4$ м/сек определяем эксцентриситет $e = 0.789$ и множители $P(w) = 0.585$, $Q = 1.422$.

В соответствии с формулой (12), переведя гектары в квадратные метры, получим:

$$v_{os} = \frac{\sqrt{k_0}}{P} = \frac{\sqrt{166.5 \cdot 10^4}}{0.585} = 2206 \text{ м/сут} \quad (18)$$

С учетом возможной погрешности δk величина скорости фронта будет находиться в следующем диапазоне: $2195 \leq v_{os} \leq 2217$ м/сут.

По формуле (3.23) можно оценить скорость прироста периметра пожара:

$$\frac{dL(t)}{dt} = 2v_o(t)Q(w) = 2 \cdot 2206 \cdot 1.422 = 6273 \pm 23.4 \text{ м/сут}$$

Полученная оценка скорости фронта пожара в сочетании с выбранной индикатрисой распространения позволяет строить прогнозные оценки контура пожара через заданные промежутки времени.

Прогноз контуров рассматриваемого пожара на 4 суток с шагом в одни сутки, полученный расчетом по методу подвижных сеток [7], приведен на рисунке 2.

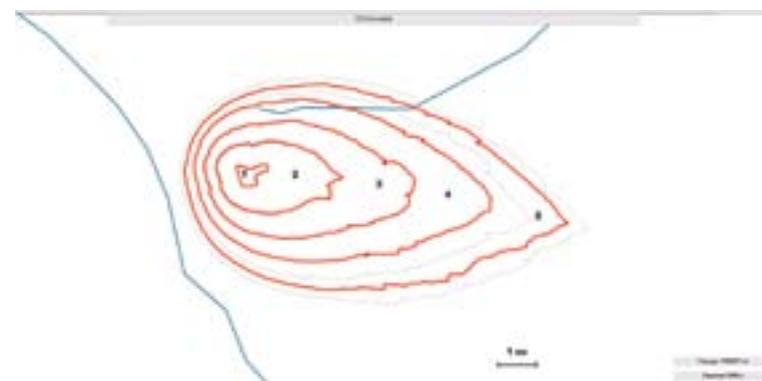


Рисунок 2. Прогнозные контуры пожара К-1491.

Обозначения: 1 – начальный контур, 2 – 5 – прогноз контура на 1 – 4 сутки

2. Оценка времени начала тушения пожара и скорости тушения по данным мониторинга

Идея изложенного ниже метода состоит в том, что на графике роста площади пожара обнаруживается точка перегиба, и по изменению наклона кривой оценивается момент начала и интенсивность противопожарных мероприятий. Предположим, что по данным мониторинга зарегистрирована площадь пожара в n последовательных моментов времени:

$$S_1 = S(t_1), S_2 = S(t_2), \dots, S_n = S(t_n), t_1 < t_2 < \dots < t_n.$$

Вычислим приращение площади пожара за каждый промежуток времени (первую разность):

$$\Delta S(t_i) = S(t_i) - S(t_{i-1}), i = 2, 3, \dots, n \text{ га/сут}, \quad (19)$$

а также приращение приращения (вторую разность):

$$\Delta^2 S(t_i) = \Delta S(t_i) - \Delta S(t_{i-1}), i = 2, 3, \dots, n \text{ га/сут}. \quad (20)$$

Анализ величин $\Delta S(t_i)$ и $\Delta^2 S(t_i)$ позволяет сделать следующие выводы.

Величины $\Delta S(t_i)$ всегда положительны (или равны нулю, когда пожар локализован).

Величины $\Delta^2 S(t_i)$ положительны при свободном распространении пожара, становятся отрицательными при тушении пожара и обращаются в нуль при завершении его локализации.

Проиллюстрируем эти выводы на примере.

Пример. По данным Красноярской базы охраны лесов лесной пожар в Туранском лесничестве был зарегистрирован 21.04.08 и развивался следующим образом (в таблице 3 месяц и год не указаны).

Таблица 3

Дата t_i	Площадь пожара $S(t_i)$, га	Приращение площади $\Delta S(t_i)$, га/сут	Вторая разность $\Delta^2 S(t_i)$, га/сут ²	Состояние пожара
21	60	-	-	Свободно распр.
22	75	15	-	Свободно распр.
23	220	145	130	Свободно распр.
24	275	55	-90	Тушение
25	320	45	-10	Тушение
26	320	0	-45	Тушение
27	320	0	0	Локализован

Соответствующий график приведен на рисунке 3.

Анализ таблицы и графика свидетельствует о том, что с 21 по 23 число пожар развивался свободно, а с 24 по 26 числа производилось тушение, причем наибольшие усилия по тушению пришлось на 24-е число. 27 апреля пожар локализован.

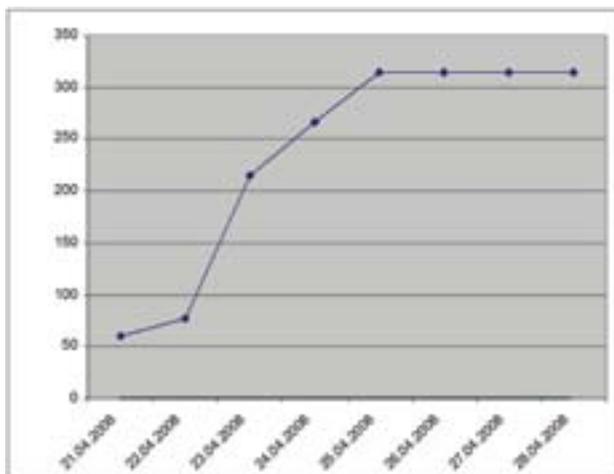


Рисунок 3. Динамика изменения площади пожара в Туранском лесничестве 21-28.04.2008 г.

3. Динамика пожара, находящегося под воздействием противопожарных сил и средств

Следует подчеркнуть, что в данном разделе речь идет о локализации пожара, а не о его ликвидации. Согласно принятым методикам расчета необходимой производительности противопожарных сил, борьба

с пожаром идет путем уменьшения длины горячей кромки пожара. Однако мы рассмотрим две модели этого процесса: упрощенную, основанную на гипотезе о снижении скорости прироста площади пожара со временем, и более точную, основанную на подсчете длины локализованной кромки пожара.

3.1 Упрощенная модель. Будем считать, что противопожарные силы, начиная с момента начала тушения уменьшают скорость прироста площади пожара, т.е уменьшают значение коэффициента k_0 в формуле (1). В простейшем случае можно принять линейный закон:

$$k_0 = k_0(t) = k_1 - k_2(t - t_s), \quad t > t_s. \tag{21}$$

где t_s – время начала тушения пожара, k_2 , га/сут^{α+1} – скорость изменения коэффициента k_0 ; при $t = t_s$ коэффициент $k_0 = k_1$

Тогда скорость прироста площади в соответствии с (1) и (21) определится формулой

$$R(t) = \frac{dS(t)}{dt} = \begin{cases} \alpha k_1 t^{\alpha-1}, & t \leq t_s, \\ \alpha(k_1 - k_2(t - t_s))t^{\alpha-1}, & t \geq t_s \end{cases} \tag{22}$$

При значении времени $t_F = t_s + \frac{k_1}{k_2}$ и $t \geq t_F$ скорость прироста площади $R(t_F) = 0$,

что означает локализацию (остановку распространения) пожара. При этом $S(t) = S(t_F)$ при $t \geq t_F$.

Общая площадь, пройденная огнем к моменту $t_F \geq t \geq t_s$

$$S(t) = k_1 \alpha \int_0^t t^{\alpha-1} dt + \alpha \int_{t_s}^t (k_1 - k_2(t - t_s))t^{\alpha-1} dt = k_1 t_s^\alpha + \alpha k_1 \int_{t_s}^t t^{\alpha-1} dt - \alpha k_2 \int_{t_s}^t (t - t_s)t^{\alpha-1} dt = k_1 t_s^\alpha - \frac{\alpha}{\alpha+1} k_2 (t^{\alpha+1} - t_s^{\alpha+1}) + k_2 t_s (t^\alpha - t_s^\alpha). \tag{23}$$

В случае, когда известны коэффициент k_1 , моменты начала и окончания локализации t_s и t_F , а также $S(t_F)$, можно оценить коэффициент k_2 , характеризующий интенсивность тушения:

$$k_2 = \frac{k_1 t_F^\alpha - S(t_F)}{\frac{\alpha}{\alpha+1} (t_F^{\alpha+1} - t_s^{\alpha+1}) - t_s (t_F^\alpha - t_s^\alpha)} \quad \text{га/сут}^{\alpha+1} \tag{24}$$

Пример. Подсчитаем площадь рассмотренного выше пожара в момент его локализации.

Положим $t_s - t_0 = 3 \text{ сут}$, $t_f - t_0 = 7 \text{ сут}$, $a = 2.15$, $k_1 = 10.23 \text{ га/сут}^{2.15}$, $S(7) = 320 \text{ га}$, тогда по формулам (28) и (29) получаем $k_2 = 2.771 \text{ га/сут}^{3.15}$.

Отметим, что непосредственно по формуле (26) получается несколько другое значение этого коэффициента:

$$k_2 = \frac{k_1}{t_f - t_s} = 2.58 \text{ га/сут}^{3.15}$$

Разница значений объясняется влиянием погрешности величины t_0 – момента возникновения пожара и нелинейным характером роста площади пожара во времени.

3.2. Модель процесса локализации при двустороннем охвате пожара. Как уже было отмечено, при локализации лесного пожара наземные силы чаще всего воздействуют на горящую кромку, продвигаясь вдоль нее и производя тушение до полной остановки пожара. При этом в зависимости от наличных сил и средств, а также от особенностей пожара может быть выбрана различная тактика локализации пожара. Формально тактика определяется так называемой схемой локализации [7], которая указывает количество противопожарных команд, их стартовое расположение и направление движения при локализации пожара. В данной работе мы рассмотрим один типичный частный случай схемы локализации, когда имеются две команды, которые начинают процесс локализации с головной части пожара, охватывая его с двух сторон, и движутся до встречи в тыловой части пожара.

Приняв, что пожар имеет симметричную относительно направления ветра конфигурацию, которая может быть описана рассмотренной выше геометрической моделью, мы получим схему, изображенную на рисунке 4. По сравнению с рисунком 1 здесь добавлена скорость локализации v_λ , с которой происходит движение команд. Процесс локализации начинается в момент $t = t_s$. В силу симметричности процесса относительно оси y мы рассматриваем «половину» процесса $0 \leq \varphi \leq \pi$.

Из рисунка 4 по аналогии с п. 1 следует:

$$dS = dp dl; \quad dp = v_\lambda(\varphi) dt;$$

$$v_\lambda(\varphi, t) = \frac{v_0(t) \xi^2(\varphi)}{\sqrt{\xi^2(\varphi) + \xi'^2(\varphi)}}, \quad dl = \rho(\varphi) d\varphi = d\varphi \sqrt{\xi^2(\varphi) + \xi'^2(\varphi)} \int_0^t v_0(\tau) d\tau$$

В дальнейшем для упрощения выкладок положим, что скорость фронта пожара постоянна во времени, т.е. $v_0 = \text{const}$.

Тогда кольцевое приращение площади при $t \geq t_s$

$$dS_\pi(t) = 2v_0(t) dt \int_{\varphi(t)}^\pi \xi^2(\varphi) d\varphi \int_0^t v_0(\tau) d\tau = 2v_0^2 dt \int_{\varphi(t-t_s)}^\pi \xi^2(\varphi) d\varphi. \quad (25)$$

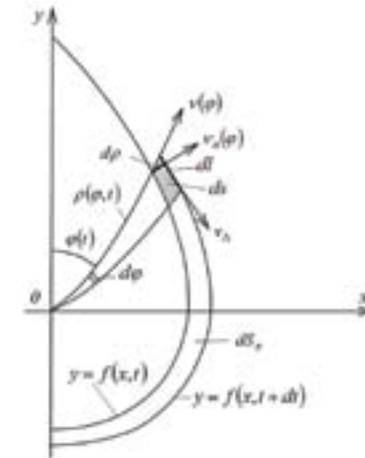


Рис. 4. Схема локализации пожара

Здесь $\varphi(t - t_s)$ – угол, на который противопожарные команды обогнули очаг горения к моменту $t \geq t_s$. Из рисунка 2 видно:

$$\varphi(t - t_s) = \frac{v_\lambda(t - t_s)}{\rho(t)} = \frac{v_\lambda(t - t_s)}{v_0 t \sqrt{\xi^2(\varphi) + \xi'^2(\varphi)}}. \quad (26)$$

Общая площадь, пройденная огнем с учетом процесса локализации к моменту $t \geq t_s$:

$$S(t) = S_0 + 2v_0^2 \int_{t_s}^t d\tau \int_{\varphi(t-t_s)}^\pi \xi^2(\varphi) d\varphi, \quad (27)$$

$$S_0 = 2v_0^2 t_s^2 \int_0^\pi \xi^2(\varphi) d\varphi.$$

Время локализации пожара t_λ определяется из условия $\varphi(t_\lambda) = \pi$. Из формулы (26) следует:

$$\pi = \frac{v_\lambda(t_\lambda - t_s)}{v_0 t_\lambda \sqrt{\xi^2(\pi) + \xi'^2(\pi)}}, \quad \text{откуда}$$

$$t_\lambda = \frac{v_\lambda t_s}{v_\lambda - \pi v_0 \sqrt{\xi^2(\pi) + \xi'^2(\pi)}} = \frac{\lambda t_s}{\lambda - \xi(\pi)}, \quad (28)$$

где $\lambda = \frac{v_{\Lambda}}{v_0}$ - отношение скоростей локализации и фронта пожара.

В формуле (28) величина $\xi'(\pi)=0$ в силу гладкости индикатрисы и ее симметричности относительно оси y .

Из формулы (33) следует условие локализуемости пожара:

$$v_{\Lambda} > \pi v_0 \xi(\pi), \text{ или } \lambda > \pi \xi(\pi). \quad (29)$$

Площадь пожара в момент окончания локализации

$$S(t_{\Lambda}) = S_0 + 2v_0^2 \int_{t_s}^{t_{\Lambda}} d\tau \int_{\varphi(t-t_s)}^{\pi} \xi^2(\varphi) d\varphi. \quad (30)$$

Рассмотрим частные случаи.

1. Пусть $\xi(\varphi)=1$, т.е. происходит круговое распространение пожара.

Тогда время локализации составит $t_{\Lambda} = \frac{\lambda t_s}{\lambda - \pi}$,

угол охвата кромки пожара при $t_s \geq t_{\Lambda}$:

$$\varphi(t) = \frac{v_{\Lambda}(t-t_s)}{v_0 t} = \lambda \frac{t-t_s}{t},$$

площадь, пройденная пожаром к моменту t_{Λ} (после некоторых преобразований):

$$S(t_{\Lambda}) = S_0 + 2v_0^2 \int_{t_s}^{t_{\Lambda}} d\tau \int_{\varphi(t-t_s)}^{\pi} d\varphi = S_0 + 2v_0^2 \int_{t_s}^{t_{\Lambda}} d\tau \int_{\lambda \frac{t-t_s}{t}}^{\pi} d\varphi = \quad (31)$$

$$= S_0 + 2v_0^2 \int_{t_s}^{t_{\Lambda}} t \left(\pi - \lambda \frac{t-t_s}{t} \right) dt = S_0 + v_0^2 (t_{\Lambda} - t_s) \left[(\pi - \lambda) t_{\Lambda} + t_s + 2\lambda t_s \right]$$

$$S_0 = 2\pi v_0^2 t_s^2 \quad (32)$$

2. Снова рассмотрим пожар в Туранском лесничестве 21-20 04.2008 г. Приняв, что пожар распространялся равномерно по всем направлениям, т.е. что индикатриса $\xi(\varphi)=1$, и что использовалась рассмотренная выше тактика двустороннего охвата, оценим скорость локализации пожара.

Нам известны время начала и окончания процесса локализации $t_s=3$ сутки и $t_{\Lambda}=7$ сутки, а также площадь в момент начала локализации $S_0=220$ га и конечная площадь $S_{\Lambda}=320$ га.

По формуле (32) определим скорость фронта свободно развивающегося пожара:

$$v_0 = \frac{\sqrt{S_0}}{t_s} = 197 \text{ м/сутки},$$

По формуле (31) вычислим коэффициент λ : $\lambda = \frac{\pi(t_{\Lambda} + t_s)}{t_{\Lambda} - t_s} - \frac{S_{\Lambda} - S_0}{v_0^2(t_{\Lambda} - t_s)^2} = 6,4$.

Скорость локализации кромки пожара каждой командой

$$v_{\Lambda} = \lambda v_0 = 1229 \text{ м/сутки}.$$

Заключение

Приведенные в работе математические модели и примеры расчетов говорят, на наш взгляд, о принципиальной возможности производить более глубокую обработку данных о динамике лесных пожаров – как свободно распространяющихся, так и находящихся под воздействием противопожарных сил и средств – по сравнению с существующим уровнем обработки, принятым в упомянутых выше системах мониторинга лесных пожаров. Авторами создан и успешно испытан программный модуль нейросетевого прогнозирования параметров лесных пожаров на основе спутниковой информации. В настоящее время ведется разработка подсистемы прогнозирования лесных пожаров с более широкими функциями. Следует надеяться, что по мере накопления опыта качество прогнозирования параметров лесных пожаров и оценки эффективности противопожарных мероприятий будет возрастать.

Список литературы

1. Sukhinin A.I., Kashkin V.B., Ponomarev E.I. Monitoring Forest Fires in Eastern Siberia from Space // Proc. of SPIE. – Vol. 3983. – P. 206.
2. Барталев С.А. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса – Москва: Институт космических исследований РАН. – 2008. - Т.5., ч. II. – С. 419-429.
3. Отчет по теме «Тестирование моделей поведения лесных пожаров и методики прогнозирования распространения лесного пожара для оценки возможности использования их в ИСДМ – Рослесхоз». (Отчет по договору №221/99 от 01.07.09 с ИЛ СО РАН) / Красноярск: СибГТУ, 2009. – 57 с.

4. Берестенькова М.В., Р.С. Акинфеев, Коморовский В.С.. Применение нейронных сетей с учителем для прогнозирования прироста площади лесного пожара на основе данных ИСДМ-Рослесхоз // Мат. 11-й Всерос. науч.-практ. конф. «Проблемы информатизации региона». – Красноярск, 2009. – с. 165 – 167.
5. Andrews, Patricia L.; Bevins, Collin D.; Seli, Robert C. 2008. Behave-Plus fire modeling system, version 4.0: User's Guide. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-106WWW Revised. Ogden, UT: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. - 116 p.
6. Отчет по государственному контракту №82 «Разработка систем управления пожарами в Красноярском крае для повышения эффективности охраны лесов» // Институт леса СО РАН, Красноярск, 2009. – 131 с.
7. Дорпер Г.А. Динамика лесных пожаров. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. - 404 с.
8. Albini, F.A. Estimating wildfire behavior and effects / USDA Forest Service. Gen. Tec. Rep. INT – 30. Ogden, USA, 1976. – 72 p.

Разработка базы данных в задаче мониторинга и прогнозирования наводнений

А.А. Бурцев

*Сибирский федеральный университета,
Сибирский региональный центр МЧС России*

Представлены основы, структура и архитектура построения специализированной базы данных в задаче мониторинга и прогнозирования наводнений. Особенности базы данных являются: распределенность ресурсов, направленность на использование в ГИС-технологиях и экспертных системах поддержки принятия решений. Основы ее построения учитывают задачи, стоящие перед системой мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

Использование специализированных баз данных для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС), обусловленных паводковой опасностью, оправдано цикличностью возникновения источников опасности и позволяет существенно повысить эффективность функционирования системы мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций (СМП ЧС) за счет повышения оперативности сбора, передачи и обработки информации. Рассмотрим методические основы и принципы построения специализированной такой базы данных.

Методические основы использования баз данных в целях моделирования риска ЧС, обусловленных наводнениями.

Специализированная база данных представляет собой единую систему учета, регистрации, хранения и предоставления информации о гидрологической обстановке и реагировании на угрозы ЧС. Информация, содержащаяся в базе в формализованном виде, может использоваться при применении статистических методов и другого математического аппарата для анализа и выявления закономерностей возникновения ЧС. База данных необходима для создания архивов и накопления сведений о произошедших ЧС, материальном ущербе, мероприятиях по их предупреждению и ликвидации, количестве задействованных сил и средств. Это требуется при проведении анализа эффективности работы РСЧС и выборе направлений развития системы. На основе таких баз данных в дальнейшем возможно создание баз знаний [1].

Итак, цель создания специализированной базы данных в задаче оперативной оценки риска ЧС, обусловленных паводковой опасностью, – обобщение и анализ показателей гидрологической обстановки для последующего прогнозирования ее развития, принятия решений по проведению мероприятий предупреждения и ликвидации ЧС и оценки их эффективности. Разработка базы данных позволит систематизировать информацию о гидрологической обстановке в зоне ответственности, преобразовать ее в форматы, пригодные для анализа риска.

Основными прикладными задачами оперативной оценки опасности, при решении которых требуется информация специализированной базы данных, являются:

- определение мест возможного проявления источников ЧС (зон потенциальной опасности);
- оценка временных и амплитудных параметров возможных ЧС, а также их последствий;
- оперативная подготовка предложений по реагированию на ЧС.

Сфера применения предлагаемой базы данных – система мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера в Сибирском федеральном округе. В данной системе используются следующие основные виды информации:

- гидрометеорологического характера и информация, характеризующая уровень природного риска возникновения паводковых ЧС;
- организационного характера (сведения о руководящем составе органов управления, организационные данные по гидропостам и т.д.);
- характеристика местности (отметки рельефа, характеристики грунтов, особенности поведения рек на данной территории и т.д.);
- характеристики населенных пунктов, попадающих в зону затопления (количество проживающего населения, его качественный состав, количество жилых домов и объектов инфраструктуры и т.д.);
- характеристики объектов, попадающих в зону затопления (материал постройки, состояние строений, сведения о собственниках, количество проживающего населения и т.д.);
- данные о силах и средствах для предупреждения и ликвидации ЧС;
- данные о мероприятиях по предупреждению и ликвидации ЧС;
- данные о наблюдаемых случаях наводнений.

Большие объемы информации и оперативность ее обработки требуют применения информационных технологий анализа данных, создания баз данных и систем управления ими.

В качестве модели представления информации предлагается использовать реляционные базы данных, которые в настоящее время по-

лучили наибольшее распространение и имеют наиболее проработанные СУБД. Они сочетают наглядность представления информации с относительной простотой реализации своей концепции.

Описание структуры предлагаемой базы данных и архитектуры СУБД. Определившись с моделью представления данных, перейдем к процессу ее проектирования.

Концептуальное проектирование. В системе мониторинга и прогнозирования ЧС, обусловленных наводнениями, производится мониторинг текущей гидрологической обстановки, оперативное, краткосрочное, среднесрочное и долгосрочное прогнозирование ЧС. Предметная область – процесс развития гидрологической обстановки.

Для осуществления текущего мониторинга гидрологической обстановки и прогнозирования ее развития на краткосрочный период предлагается использовать следующие основные таблицы.

Таблица гидропостов. Сущностями или записями являются характеристики гидрологических постов, расположенных на территории. Атрибутами каждой сущности или полями таблицы являются: ключевое поле, идентифицирующее отдельный гидропост (далее для краткости такие поля будем называть «ключами», например, в данном случае – ключ гидропоста); ключ реки или водоема, где находится гидропост; код населенного пункта из таблицы ГИС (таблицы, связывающей данный код населенного пункта с его названием, географическими координатами для отображения на электронных картах и другими характеристиками: численностью населения, его качественным составом и т.д.); географические координаты; ключ муниципального района (и группы районов), где расположен гидропост; расстояние до устья реки; уровень выхода воды на пойму (уровень начала неблагоприятного явления) и уровень начала затопления населенного пункта (уровень начала опасного явления); характеристика, отражающая является гидропост временным или постоянным; номер телефона дежурного сотрудника.

Таблица гидрологических уровней. Динамическая таблица, сущностями которой являются гидрологические уровни на гидропостах. Атрибуты сущности – ключ гидропоста; дата и время наблюдения; текущий уровень; расход реки; температура воды; толщина льда; ледовые явления (в холодное время года).

Таблица метеорологических условий. Динамическая таблица, подобная таблице гидрологических уровней, сущностями которой являются метеоусловия, наблюдающиеся на территории на конкретную дату.

Территориальные органы Росгидромета в своих документах используют понятие «группы районов», являющееся основной простран-

ственной единицей, для которой прогнозируются или описываются гидрометеорологические условия. В состав группы районов включаются территории муниципальных районов в соответствии с административно-территориальным делением субъекта РФ.

Поэтому сущностями таблицы метеорологических условий являются метеорологические характеристики, наблюдающиеся на территории определенной группы районов на конкретную дату. Атрибуты сущности – ключ группы районов; дата и время наблюдения; средняя температура воздуха; направление и скорость ветра; количество атмосферных осадков и их вид; погодные явления; высота и плотность снежного покрова (в зимний период года). Представляется целесообразным данную таблицу разделить на две: базу данных фактически наблюдавшихся метеоусловий и базу данных прогнозируемых метеоусловий, что может помочь при проведении исследований по повышению точности прогнозов.

Таблица объектов, попадающих в зону наводнения. Сущностями данной таблицы являются объекты, попадающие в зону затопления в зависимости от текущего уровня по гидропосту. Атрибуты сущности – ключ объекта; ключ муниципального района (и группы районов), где он расположен; ключ ближайшего гидропоста; уровень начала подтопления объекта; его функциональное назначение; материал постройки; техническое состояние.

Таблица ГТС. Сущности этой таблицы – ГТС, расположенные на территории. Атрибуты сущности – ключ ГТС; ключ муниципального района (и группы районов), где он расположен; ключ реки или водоема; координаты привязки; информация о собственнике; об эксплуатирующей организации; функциональное предназначение; идентификационный код ГТС в российском регистре (при наличии); класс опасности; материал постройки; технические характеристики; параметры водохранилища (если имеется); ключ государственного органа, осуществляющего надзор за безопасностью; информация об аварийных ситуациях (имелись или нет); показатель, характеризующий опасность ГТС.

Таблица сил и средств для реагирования на ЧС. Сущностями этой таблицы являются аварийно-спасательные формирования для проведения АСДНР на определенной территории. Атрибуты – ключ аварийно-спасательного формирования; ключ муниципального района и код населенного пункта, где территориально размещается формирование; его организационно-штатная характеристика (штатное или нештатное); специализация; ведомственная или муниципальная принадлежность; количество личного состава; единиц техники; информация о руководителе; степень готовности; дата проведения проверки готовности или аттестации.

Указанные таблицы можно детализировать. Например, с таблицей

объектов, попадающих в зону затопления, имеет смысл связать таблицы, содержащие информацию об их собственниках; количестве находящегося на объекте персонала или населения; степени стойкости к опасному природному явлению; закрепленных пунктах временного размещения людей и т.д. С таблицей ГТС целесообразно связать таблицу, содержащую информацию об имевшихся на них аварийных ситуациях. При этом база данных станет более полной и качественной. Кроме того, не рассматривались вспомогательные таблицы. Например, таблица муниципальных районов, полями которой являются ключ района, его название и основные характеристики (площадь территории, численность населения, информация о главе администрации, председателе КЧС и ПБ и т.д.). Можно также добавить дополнительные атрибуты в указанные таблицы, например, в таблицу по ГТС целесообразно добавить поля, характеризующие наличие документации на объекте, необходимость проведения предупредительных мероприятий и их виды и т.д. Здесь представлены только основные таблицы (и их поля), без которых не имеет смысла говорить о специализированной базе данных. Кроме того, практика показывает, что представленных таблиц достаточно для мониторинга текущей гидрологической обстановки, оперативного ее прогнозирования на краткосрочный период и разработки рекомендаций по реагированию на возможные риски.

Необходимо отметить, что оперативность работы с базами данных и эффективность их использования многократно повышается, если в рамках системы мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС используется единая распределенная база данных. Например, когда в территориальных органах Росгидромета заполняется база данных по уровням рек и метеорологическим условиям, а территориальные органы МЧС России, за которым закреплена функция координатора системы, имели бы доступ к данной информации в режиме реального времени.

Для осуществления среднесрочного и долгосрочного прогнозирования наводнений целесообразно использовать следующие таблицы данных.

Таблица случаев наводнений. Сущностями данной таблицы, как ясно из названия, являются имевшие место наводнения. Атрибуты – ключевое поле таблицы, ключ субъекта РФ (для базы данных федерального уровня или уровня федерального округа); ключ муниципального района (и группы районов), где произошло наводнение; ключ гидропоста; код населенного пункта; ключ реки или водоема; ключ причины наводнения; дата начала и окончания наводнения; уровень начала затопления (уровень опасного явления); максимальный зафиксированный уровень воды. С таблицей через ключевое поле, идентифицирующее случай наводнения, связана таблица ущербов от наводнений, в которой фиксируется численность пострадавшего населения; пло-

щадь затопленных сельскохозяйственных угодий; лугов; численность сельскохозяйственных животных, попавших в зону наводнения; количество затопленных жилых домов; объектов промышленности, инфраструктуры; данные об ущербе в материальном выражении. Также с таблицей по случаям наводнений целесообразно связать таблицу, в которой фиксируется информация о проводимых мероприятиях по ликвидации ЧС; ответственных руководителей ими; численности привлечавшихся сил и средств и их эффективности.

Таблица физических параметров перед началом половодья. Сущностями данной таблицы являются физические параметры перед началом половодья для групп районов в различные годы. Предлагается использовать следующие физические параметры, оказывающие наибольшее влияние на процесс развития половодья: запас воды в снежном покрове, атмосферные осадки в период снеготаяния, осенне-зимнее увлажнение почвы и глубина ее промерзания, наличие ледяной корки на почве, интенсивность снеготаяния, сочетание волн половодья крупных притоков бассейна [2]. Кроме этих параметров могут применяться и другие, опробованные на соответствующих моделях для конкретных гидропостов. Ведение данной таблицы позволит оперативно проводить оценку паводковой опасности перед началом снеготаяния и определять год-аналог, например, с помощью аппарата логических решающих функций.

Общая схема структуры рассматриваемой базы данных представлена на рисунке.

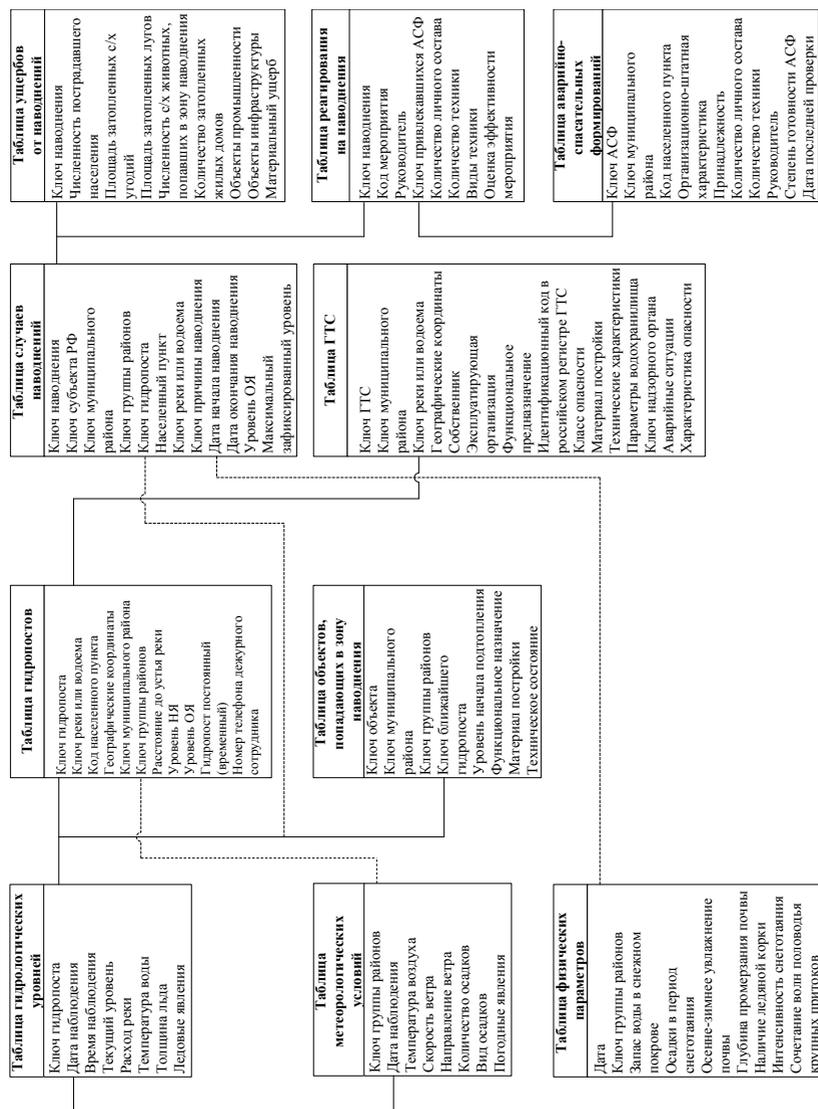
Логическое проектирование. Архитектура предлагаемой СУБД. В целях полноценного использования предлагаемой базы данных требуется применение распределенных серверных СУБД [3]. Необходимо, чтобы база данных находилась на отдельной машине, обладающей большой производительностью, – сервере. С помощью системы администрирования, распределения прав среди пользователей СУБД (клиентов) осуществляется управление ведением базы данных. Для повышения оперативности введения информации целесообразно автоматизировать процесс заполнения базы данных на основе формализованных документов.

Предлагается «трехзвенная» архитектура СУБД: сервер баз данных – сервер приложений – клиент. Такая архитектура позволит переложить всю функциональность программы с машины клиента на отдельную машину (сервер приложений), оставив клиенту только интерфейсную часть, что разгрузит клиента и сервер баз данных от вычислений [1]. При большом количестве пользователей возможно использование нескольких серверов приложений. Для распределения нагрузки возможно кэширование на сервере приложений часто используемых таблиц для ускорения доступа к ним.

Сервер для управления реляционными базами данных обычно называют SQL- сервером. SQL является стандартным языком для работы с реляционными базами данных. Среди самых распространенных в настоящее время SQL- серверов наибольшие возможности имеют программные продукты Oracle Database и Microsoft SQL Server [3].

Наилучшая эффективность работы предлагаемой СУБД достигается при возможности ее программного сопряжения и едином формате используемых баз данных в системах вышестоящего, нижестоящего иерархического уровня, а также в системах одного уровня иерархии по горизонтали. Платформы используемых СУБД должны быть едиными на всех уровнях вертикали системы управления: федеральном, межрегиональном, региональном, муниципальном и (возможно) объектовом, – в этом случае обеспечиваются оптимальные характеристики и производительность системы. В данном вопросе важно взаимодействие органов управления различного уровня и разных ведомств. В системе антикризисного управления в Сибирском федеральном округе давно назрела задача создания полнофункциональной системы, позволяющей консолидировать данные на сервере и представлять их в пользование многим потребителям, выполняющим различные задачи по анализу информации.

Включение распределенной базы данных в единую геоинформационную систему анализа риска наводнений. Для эффективного решения проблемы защиты населения и территорий от ЧС необходимо оперативное создание и использование комплексного картографического обеспечения, основанного на современных информационных технологиях и базах картографических данных. Картографическая информация для оценки риска паводковых ЧС предоставляет колоссальные возможности для прогнозирования места, времени и масштабов предполагаемых негативных воздействий и способствует оперативному проведению аварийно-спасательных мероприятий. Важнейшая роль ГИС-технологий заключается в проведении различных исследований пространственного анализа. ГИС объединяют традиционные операции при работе с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами визуализации и географического анализа, которые предоставляют цифровые карты. Применение ГИС в задаче оценки риска ЧС, обусловленных наводнениями, особенно актуально в связи с пространственной распределенностью объектов мониторинга. Современные ГИС-технологии позволяют автоматизировать проведение вычислительных процедур, оперативно производить моделирование и расчет зон затопления, их площадей, количества пострадавшего населения и т.д.



Общая схема структуры специализированной базы данных

Изучение отечественного и мирового рынка программного обеспечения в области ГИС показало, что целесообразнее всего использовать платформу фирмы ESRI. Эта компания выпустила и успешно развивает ArcGIS – единое семейство программных ГИС- продуктов, обеспечивающих широкие возможности масштабирования приложений от однопользовательских рабочих мест до развитой корпоративной системы, работающей по архитектуре «клиент – сервер». ArcGIS предоставляет мощные возможности построения распределенной системы и ее синхронизации с подсистемами региональных подразделений.

В качестве серверного решения может быть выбран ArcGIS Server Standart Workgroup, который поддерживает одновременную работу не менее 15 клиентов. В работу будет включаться также сервер с СУБД Oracle либо Microsoft SQL Server, на котором предлагается хранить распределенную базу данных по источникам ЧС. В общую структуру серверов может быть включен и Web-сервер, обеспечивающий работу с картографическими данными «легким» клиентам, в качестве программного обеспечения использующими ArcExplorer либо любой стандартный Web browser, например, Internet Explorer. Через Web-сервер может производиться обмен информацией с оперативными группами в зоне ЧС и оперативными штабами или организациями системы мониторинга и прогнозирования ЧС.

Разработка на основе предлагаемых баз данных баз знаний в области мониторинга и прогнозирования ЧС. Целесообразно уже на этапе проектирования и создания распределенной базы данных позаботиться о возможности ее преобразования в полнофункциональную базу знаний. База знаний – это особого рода база данных, разработанная для управления знаниями, то есть сбора, хранения, поиска и выдачи знаний [1, 4]. Наиболее важный параметр базы знаний – качество содержащихся знаний. Лучшие базы знаний включают самую современную информацию, имеют совершенные системы поиска, тщательно продуманную структуру и формат знаний.

База знаний – важный компонент интеллектуальной системы. Наиболее известный класс таких систем – экспертные системы. Они предназначены для построения способа решения специализированных проблем, основываясь на записях баз знаний и на пользовательском описании ситуаций.

Предлагаемая специализированная база данных позволяет создать на ее основе базу знаний для использования в экспертных системах поддержки принятия решений в условиях ЧС. Создание таких систем является одним из перспективных направлений, с помощью которого можно значительно повысить эффективность функционирования системы мониторинга и прогнозирования ЧС, обусловленных наводнениями.

Библиографический список

1. Доррер Г.А., Ничепорчук В.В. Распределенные информационные системы экологического мониторинга. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2011. – 232 с.
2. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 184 с.
3. Дейтел Х.М., Дейтел П.Дж., Чофнес Д.Р. Операционные системы. Часть 2. Распределенные системы, сети, безопасность. – М.: Бинوم-Пресс, 2009. – 704 с.
4. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

Сведения об авторе

Бурцев Андрей Александрович, аспирант Сибирского федерального университета, главный специалист отдела территориальной политики Сибирского регионального центра МЧС России (660074, г. Красноярск, ул. Ленинградская, 42), моб. тел.: 8-913-509-40-43, e-mail: BurtsevAndrey@mail.ru.

Разработка регламента выполнения противопожарных мероприятий в зависимости от прогнозируемой пожарной опасности

А.Н. Батуро, Н.В. Мартинович, А.А. Мельник

*Центр НИОКР института пожарной безопасности
Сибирского филиала Санкт-Петербургского университета
ГПС МЧС России*

В статье описано решение задачи разработки регламента выполнения противопожарных мероприятий в зависимости от прогнозируемой пожарной опасности. Работа проводилась в рамках проекта по созданию универсальной методики прогнозирования количества техногенных пожаров в различных регионах России. Приведены результаты обработки экспертных оценок по различным аспектам противопожарных мероприятий

Предупреждение пожаров и надзорная деятельность должны проводиться в сезонном режиме – зимнем (октябрь-апрель) и летнем (май-сентябрь). Летний сезон в свою очередь делится на два периода: весенне-летний (май-июнь) и летне-осенний (июль-сентябрь). Направленность, содержание и формы работы должны соответствовать сезонам и периодам.

В зимний сезон основное внимание следует уделять предупреждению пожаров в связи с отопительным сезоном, необходимо также учитывать, что в это время наблюдается наибольшее число случаев гибели людей.

В весенний период летнего сезона работа выполняется в особом противопожарном режиме, особенно в сельской местности. Основное направление деятельности – предупреждение пожаров вне зданий из-за палов, разведения костров и сжигания мусора. В связи с тем, что уровень этой области пожарной опасности определяется погодно-климатическими условиями конкретной территории - интенсивность мероприятий и сроки их реализации должны рассчитываться с учетом специальных критериев пожарной опасности по условиям погоды.

На летне-осенний период времени, в связи с его наименьшей напряженностью, следует планировать анализ деятельности органов ГПС за прошедшие осенне-зимний и весенний периоды, какие-то другие плановые мероприятия, которые не требуют быстрого оперативного решения, отпуска государственных инспекторов и др.

Как показали выполненные исследования, значительное влияние на обстановку с пожарами оказывает погодно-климатический фактор. Поэтому одним из специальных критериев (показателей) для введения особого противопожарного режима должен быть специальный показатель пожарной опасности в связи с погодными условиями. Однако, в настоящее время такого показателя в системе ГПС не существует. По результатам выполненных исследований предлагается следующая шкала пожарной опасности по условиям погоды (табл. 1).

**Таблица 1. Шкала пожарной опасности
по температуре окружающей среды**

Уровень пожарной опасности	Среднесуточная температура окружающего воздуха	
	зимний сезон	летний сезон
I - умеренный	до -20°C	до + 20°C
II - высокий	-20 ... -30°C	+20 ... +30°C
III - чрезвычайный	более -30°C	более +30°C

В весенне-летний период (май-июнь) при скорости ветра более 10 м/с и положительной температуре окружающего воздуха уровень пожарной опасности повышается на одну ступень.

Приведение во взаимосвязанную систему предложений и дополнений с учетом влияния природно-климатических факторов риска может быть осуществлено посредством разработки порядка (регламента) работы ГПС в зависимости от изменения погодных условий.

Внедрение в практику предложенного порядка противопожарных работ позволит повысить оперативность реагирования органов ГПС на изменение обстановки с пожарами и, следовательно, повысить эффективность надзорной деятельности и пожаротушения.

Порядок проведения противопожарных мероприятий направлен главным образом на предупреждение пожаров по двум группам причин:

- техногенным;
- социальным.

В первую очередь это касается предупреждения пожаров вне зданий из-за сжигания мусора, прошлогодней травы, сельхозпалов, неосторожного курения, детских шалостей, а также пожаров, связанных с использованием бытовых электронагревательных приборов, печей и других теплогенерирующих установок. В общей сложности по этим причинам возникает до 90 % пожаров.

Разработанные авторами модели оценки рисков пожаров с использованием эмпирических данных и методов математической статистики позволяют моделировать обстановку с пожарами на 3-5-дневный период времени (время доступного среднесрочного метеопрогноза) и более (при наличии долгосрочного метеопрогноза) на уровне административных районов и крупных населенных пунктов и прогнозировать следующие показатели, позволяющие принимать адекватные складывающейся обстановке оперативные управленческие решения:

- вероятное количество пожаров по техногенным, социальным и прочим причинам;
- возможное число случаев травмирования и гибели людей при пожарах;
- вероятное распределение числа пожаров, случаев травмирования и гибели людей в течение суток.

Анкетирование является наиболее эффективным и самым распространенным видом опроса, позволяющим наилучшим образом сочетать информационное обеспечение экспертов с их самостоятельным творчеством. Для этих целей была составлена анкета, состоящая из двух блоков:

1. Перечень основных мероприятий которые необходимо выполнить в условии обстановки повышенной опасности.

Задача эксперта заключалась в определении очередности того или иного мероприятия и выставлении ему условного ранга (1-в первую очередь, 2-во вторую очередь, 3-в последнюю очередь). При этом эксперту предоставлялось право дополнить перечень мероприятием, не отраженным в приведенном списке.

2. Целесообразность основных противопожарных работ. Блок разбит на три раздела по условным показателям пожарной опасности. Для каждого раздела представлен перечень основных мероприятий, которые возможно выполнить в условии обстановки пожарной опасности. Задача экспертов заключалась в оценке целесообразности каждого из предложенного мероприятия при конкретной пожарной опасности (1-целесообразно, 2- нецелесообразно). При этом эксперту предоставлялось право дополнить перечень мероприятием, не отраженным в приведенном списке.

Информация, представленная в анкетах, заносится в матрицу опроса размерностью n строк на m столбцов. Коэффициент конкордации (согласованности) Кендалла предназначен для исследования согласованности мнений экспертов. Вычисление коэффициента конкордации производится по формуле:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m p_{ij} - \frac{k(n+1)}{2} \right)^2}{\frac{1}{12} n^2 m(m^2 - 1) - k \sum_{i=1}^n B_i} \quad (1)$$

где B_i – поправки на объединение рангов в оценках экспертов, вычисляемые по формуле:

$$B_j = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^k x_i(x_i^2 - 1), \quad (2)$$

где k – число групп объединенных рангов в данной экспертной оценке;

x_i – число рангов в i -ой группе,

элементы p_{ij} , $i=1..n$, $j=1..m$, где n – количество критериев, m – количество экспертов, матрицы опроса являющиеся численными значениями (весами, приписанными экспертами данным критериям).

Оценивается значимость вычисленного показателя на том основании, что величина W распределена как χ^2 с числом степеней свободы, равном $(n-1)$.

Результаты проведенных расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Показатель согласованности мнений экспертов

Наименование раздела	Коэффициент конкордации	Величина значения P
Часть 1	0.3561	1.762×10^{-20}
Часть 2.1	0.2533	1.843×10^{-18}
Часть 2.2	0.2108	2.309×10^{-14}
Часть 2.3	0.3373	1.254×10^{-21}

Малая величина вычисленного значения асимптотической значимости означает хорошую согласованность представленных экспертами оценок, что говорит об относительно едином мнении экспертов.

На следующем этапе, на основании матрицы опроса, используя метод группового оценивания определим для каждого блока:

- вектор групповой оценки;
- вектор компетентности.

Пусть $P(n,m)$ – матрица опроса, квадратные матрицы PP^T и P^TP обладают следующими основными свойствами:

- симметрические;
- действительные;

- положительно полуопределенные.

Для таких матриц все собственные значения неотрицательны, в силу чего все собственные вектора действительные.

Собственный вектор p размером n , соответствующий максимальному собственному числу матрицы PP^T , может быть интерпретирован в качестве вектора групповой оценки (весовых коэффициентов объектов) и представлен в таблицах 19 - 22.

Собственный вектор v размером m , соответствующий максимальному собственному числу матрицы P^TP , может быть интерпретирован в качестве вектора компетентности экспертов (весовых коэффициентов компетентности).

Медиана Кемени (медиана Кемени-Снелла), точнее, медианная варианта Кемени, представляет собой выбор согласованного мнения группы экспертов.

Запишем заданное множество ранжировок как $\{P_1, P_2, \dots, P_m\}$.

Пусть $d(P, P_i)$ – расстояние между произвольной ранжировкой P и ранжировкой P_i . Тогда некоторая ранжировка P , принадлежащая множеству заданных ранжировок и удовлетворяющая выражению (3) называется медианой Кемени.

$$M\{P_1, P_2, \dots, P_m\} = \arg \min_p \sum_{i=1}^m d(P, P_i) \quad (3)$$

Расстояние между ранжировками определяется по формуле (4)

$$d(P_k, P_l) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |p_{ij}^k - p_{ij}^l|, \quad (4)$$

где $p_{ij}^{(k)}$, $p_{ij}^{(l)}$ – элементы матриц отношений частичного порядка ранжировок k и l , соответственно.

По определению, медиана Кемени ищется только среди ранжировок, заданных анализируемой матрицей опроса. Решением, таким образом, будет ранжировка, представленная одним из экспертов.

Анализ результатов исследования экспертных оценок

Определим очередность основных мероприятий которые необходимо выполнять в условиях обстановки повышенной пожарной опасности, основываясь на мнениях экспертной оценки. На основании данных полученных при проведении исследований результатов оценок экспертов раздела №1 анкеты, сгруппируем мероприятия по очередности их проведения в зависимости от средних рангов (табл. 3).

**Таблица 3. Ранжировка мероприятий
в зависимости от средних рангов**

№	Мероприятие	Средний ранг	Медиана Кемени	Вектор гр. оценки
1	Проведение внеплановых инструктажей с ответственными лицами	1	1	0.141387
2	Вручение памяток о мерах пожарной безопасности	2	1	0.152046
3	Информирование населения о прогнозе и оперативной обстановке с пожарами	3	1	0.157883
4	Проведение дополнительного инструктажа с исполнителями и ответственными при проведении пожароопасных работ	4	1	0.156167
5	Проведение патрулирования пожароопасных районов	5	1	0.160264
6	Разработка и издание средств наглядной агитации, специальной литературы и рекламной продукции	6	1	0.16124
7	Частичный запрет на проведение пожароопасных работ	7	1	0.160576
8	Увеличение численности личного состава оперативных подразделений (вызов из отпусков, отгулов)	8	1	0.172079
9	Усиление мониторинга за произошедшими пожарами	9	1	0.16716
10	Создание дополнительного резерва личного состава находящегося в режиме повышенной готовности	10	1	0.17567
11	Методическое обеспечение лиц проводящих инструктажи на предприятиях	11	2	0.194065
12	Усиление контроля за запретом разведения костров, сжигания мусора, травы и т.д.	12	2	0.204154
13	Запрет на проведение пожароопасных работ (за исключением неотложных работ при авариях и т.д.)	13	2	0.220076
14	Привлечение общественных организаций к профилактике пожаров	14	2	0.23083
15	Проверка наличия, исправности и достаточности средств противопожарной защиты объектов	15	3	0.253171
16	Соблюдение дополнительных мер пожарной безопасности при проведении пожароопасных работ	16	3	0.270277
17	Организация дежурства граждан и работников предприятий в помощь членам добровольной пожарной дружины	17	3	0.274853
18	Создание дополнительного резерва техники	18	3	0.281942

19	Подготовка для возможного использования имеющейся, приспособленной для целей пожаротушения, техники	19	3	0.289083
20	Привлечение других оперативных служб к профилактике пожаров	20	3	0.284343
21	Проверка наличия, исправности и достаточности пожарной техники	21	3	0.322551

При этом как видно из таблицы 3 распределение очередности, основанное на определении медианы Кемени, и использование метода группового оценивания позволяет разбить мероприятия на 3 группы.

На основании данных полученных при проведении исследований результатов оценок экспертов раздела № 2 анкеты, сгруппируем мероприятия в зависимости от определенного уровня условной пожарной опасности (табл. 4).

Таблица 4. Мероприятия при умеренной пожарной опасности

№	Мероприятие	Средний ранг	Медиана Кемени	Вектор гр. оценки
1	Вручение памяток о мерах пожарной безопасности	2	1	0.159807
2	Разработка и издание средств наглядной агитации, специальной литературы и рекламной продукции	1	1	0.155065
3	Методическое обеспечение лиц проводящих инструктажи на предприятиях	3.5	1	0.165526
4	Информирование населения о прогнозе и оперативной обстановке с пожарами	5	1	0.186238
5	Проведение внеплановых инструктажей с ответственными лицами	7	1	0.206155
6	Запрет на проведение пожароопасных работ (за исключением неотложных работ при авариях и т.д.)	13.5	2	0.235861
7	Частичный запрет на проведение пожароопасных работ	16.5	2	0.236530
8	Проведение дополнительного инструктажа с исполнителями и ответственными при проведении пожароопасных работ	6	2	0.201863
9	Соблюдение дополнительных мер пожарной безопасности при проведении пожароопасных работ	8.5	2	0.211220
10	Усиление контроля за запретом разведения костров, сжигания мусора, травы и т.д.	10.5	2	0.226360

11	Подготовка для возможного использования имеющейся, приспособленной для целей пожаротушения, техники	19.5	2	0.251055
12	Проверка наличия, исправности и достаточности средств противопожарной защиты объектов	13.5	2	0.236049
13	Проведение патрулирования пожароопасных районов	8.5	2	0.215979
14	Организация дежурства граждан и работников предприятий в помощь членам добровольной пожарной дружины	16.5	2	0.241317
15	Привлечение общественных организаций к профилактике пожаров	3.5	1	0.169979
16	Привлечение других оперативных служб к профилактике пожаров	16.5	2	0.236474
17	Усиление мониторинга за произошедшими пожарами	10.5	2	0.221177
18	Создание дополнительного резерва техники	21	2	0.255467
19	Увеличение численности личного состава оперативных подразделений (вызов из отпусков, отгулов)	19.5	2	0.251144
20	Создание дополнительного резерва личного состава находящегося в режиме повышенной готовности	16.5	2	0.241679
21	Проверка наличия, исправности и достаточности пожарной техники	12	2	0.231407

На основании анализа данных определения медианы Кемени, при умеренной пожарной опасности, целесообразно применение мероприятий № 1, 2, 3, 4, 5, 15, а так же, основываясь на показателях значений средних рангов и вектора групповой оценки, целесообразно применение мероприятия №8 во вторую очередь (табл. 5).

Таблица 5. Мероприятия при умеренной пожарной опасности

№	Мероприятие	Средний ранг	Медиана Кемени	Вектор гр. оценки
1	Проведение внеплановых инструктажей с ответственными лицами	2	1	0.159807
2	Вручение памяток о мерах пожарной безопасности	1	1	0.155065
3	Информирование населения о прогнозе и оперативной обстановке с пожарами	3.5	1	0.165526
4	Проведение патрулирования пожароопасных районов	7	1	0.206155

5	Проведение дополнительного инструктажа с исполнителями и ответственными при проведении пожароопасных работ	5	1	0.186238
6	Увеличение численности личного состава оперативных подразделений (вызов из отпусков, отгулов)	6	2	0.201863
7	Проверка наличия, исправности и достаточности средств противопожарной защиты объектов	3.5	1	0.169979

При этом, учитывая данные анализа раздела 1 анкеты, указанные мероприятия, с учетом средних рангов, целесообразно выполнять в очередности, приведенной в табл. 6. При повышенной пожарной опасности имеет смысл выполнение мероприятий, указанных в табл. 7.

Таблица 6. Очередность мероприятий при умеренной пожарной опасности

№	Мероприятие	Очередность мероприятия
1	Проведение внеплановых инструктажей с ответственными лицами	1
2	Вручение памяток о мерах пожарной безопасности	1
3	Информирование населения о прогнозе и оперативной обстановке с пожарами	1
4	Проведение дополнительного инструктажа с исполнителями и ответственными при проведении пожароопасных работ	1
5	Проведение патрулирования пожароопасных районов	1
6	Увеличение численности личного состава оперативных подразделений (вызов из отпусков, отгулов)	2
7	Проверка наличия, исправности и достаточности средств противопожарной защиты объектов	2

Таблица 7. Мероприятия при повышенной пожарной опасности

№	Мероприятие	Средний ранг	Медиана Кемени	Вектор гр. оценки
1	Вручение памяток о мерах пожарной безопасности	3	1	0.171169
2	Разработка и издание средств наглядной агитации, специальной литературы и рекламной продукции	1.5	1	0.179053
3	Методическое обеспечение лиц проводящих инструктажи на предприятиях	1.5	1	0.171376

4	Информирование населения о прогнозе и оперативной обстановке с пожарами	5	1	0.184110
5	Проведение внеплановых инструктажей с ответственными лицами	5	2	0.179402
6	Запрет на проведение пожароопасных работ (за исключением неотложных работ при авариях и т.д.)	14	2	0.243142
7	Частичный запрет на проведение пожароопасных работ	11	2	0.196497
8	Проведение дополнительного инструктажа с исполнителями и ответственными при проведении пожароопасных работ	7	1	0.184724
9	Соблюдение дополнительных мер пожарной безопасности при проведении пожароопасных работ	15.5	2	0.251589
10	Усиление контроля за запретом разведения костров, сжигания мусора, травы и т.д.	8.5	1	0.197020
11	Подготовка для возможного использования имеющейся, приспособленной для целей пожаротушения, техники	11	1	0.204309
12	Проверка наличия, исправности и достаточности средств противопожарной защиты объектов	15.5	2	0.257739
13	Проведение патрулирования пожароопасных районов	8.5	1	0.195599
14	Организация дежурства граждан и работников предприятий в помощь членам добровольной пожарной дружины	18	2	0.257692
15	Привлечение общественных организаций к профилактике пожаров	5	1	0.183807
16	Привлечение других оперативных служб к профилактике пожаров	13	1	0.225984
17	Усиление мониторинга за произошедшими пожарами	18	2	0.255894
18	Создание дополнительного резерва техники	20	2	0.262844
19	Увеличение численности личного состава оперативных подразделений (вызов из отпусков, отгулов)	21	2	0.269471
20	Создание дополнительного резерва личного состава находящегося в режиме повышенной готовности	11	1	0.197085
21	Проверка наличия, исправности и достаточности пожарной техники	18	2	0.322551

На основании анализа данных определения медианы Кемени, при повышенной пожарной опасности, целесообразно применение мероприятий № 1, 2, 3, 4, 8, 10, 11, 13, 15, 16, 20, а так же, основываясь на показателях значений средних рангов и вектора групповой оценки, целесообразно применение мероприятий № 5, 7 во вторую очередь.

Результаты работы и выводы

С целью совершенствования процесса принятия оперативных управленческих решений по обеспечению пожарной безопасности для органов МЧС разработан проект регламента (порядка) выполнения противопожарных мероприятий в зависимости от прогнозируемой пожарной опасности. Этот порядок, в зависимости от уровня пожарной опасности по условиям погоды, уровня урбанизации, сезона и периода года (по лесным пожарам дополнительно день недели), определяет интенсивность и, в ряде случаев, время и место выполнения некоторых видов противопожарных работ.

Для заметок:

Научное издание

**МОНИТОРИНГ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ
И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ
ЯВЛЕНИЙ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Материалы научно-практического семинара
15 июня 2011 года

СОСТАВИТЕЛИ:

МЕЛЬНИК Антон Анатольевич,
кандидат технических наук, доцент;
ДОМРАЧЕВ Александр Анатольевич,
кандидат медицинских наук, с.н.с., академик МАНЭБ;
КАЛЮЖИНА Жанна Сергеевна

г. Железногорск,
2011 г.

