

## Развитие технологий оперативного космического мониторинга пожаров в Казахстане

Л.Ф. Спивак, Г.Н. Сагатдинова

*институт космических исследований  
Имени академика У.М. Султангазина  
050010 Алматы, Шевченко 15  
E-mails: gulshatn@rambler.ru, levspivak@mail.ru*

В статье изложены современные возможности системы оперативного космического мониторинга пожаров, разработанной в Институте космических исследований имени У.М. Султангазина. Основное внимание уделено описанию ГИС-технологий регистрации и оперативной оценки опасности активных очагов пожаров (АОП), экспресс-прогноза динамики развития пожара и выработки рекомендаций по последовательности их ликвидации.

**Ключевые слова:** космический мониторинг, активные очаги пожаров (АОП), регистрация и оценка опасности АОП, прогноз развития АОП, рекомендации по ликвидации АОП.

### Введение

Технологии космического мониторинга пожаров разрабатываются в Казахстане уже более 10 лет. Основными объектами мониторинга являются активные очаги пожаров (АОП) и выгоревшие площади [1, 2]. В 2011 год мониторингом были охвачены 10 из 14 областей Казахстана, включая все основные пожароопасные регионы.

Чтобы снизить ущерб от пожаров недостаточно оперативно обнаружить активные очаги пожаров (АОП), необходимо своевременно принять решение о последовательности ликвидации АОП с учетом их потенциальной опасности. В этой связи основные усилия в последнее время были направлены на создание технологий экспресс-оценки опасности АОП, прогноза динамики их развития и определения сил и средств, необходимых для их ликвидации.

### Структура системы оперативного мониторинга пожаров

На рис. 1 приведена укрупненная структура системы оперативного мониторинга пожаров (СОМП). Основу системы образует комплекс ГИС-технологий решения целевых задач мониторинга, последовательность выполнения которых определяется схемой: регистрация и оценка опасности АОП – прогноз развития пожаров с учетом стационарных и динамических внешних условий – выработка рекомендаций по распределению сил и средств на ликвидацию АОП. Ниже кратко описаны компоненты СОМП.

### Исходные данные

Исходные данные для мониторинга пожаров делятся на оперативные и условно-постоянные. В качестве оперативных данных используются:

Дневные (видимый и инфракрасный диапазоны) и ночные (инфракрасный диапазон) космоснимки NOAA AVHRR, Aqua и Terra MODIS. Прием данных осуществляется три–четыре раза в сутки в режиме прямого сброса на приемные станции, установленные в гг. Алматы и Астана. Интервал между пролетами определяет временной шаг для прогнозных расчетов и составляет в среднем 8 часов.

Условно-постоянные данные формируются в виде картографических и атрибутивных слоев ГИС и актуализируются по мере необходимости. В основу структуры информационной базы ГИС положено административно-территориальное деление области на районы. Это позволяет осуществлять обработку и анализ данных в разрезе отдельных районов с последующим обобщением результатов на всю область.

ГИС создана на основе топографических карт масштаба 1: 200 000 и включает следующие векторные слои: границы районов, населенные пункты, жилые зоны, мосты, строения, дороги, рельеф, гидрография, леса, границы сельскохозяйственных угодий. Сведения об особо важных объектах (ОВО) дополнены информацией, необходимой для оценки ущерба.

В течение пожароопасного периода в ГИС накапливаются различные тематические карты, построенные по результатам космического мониторинга.



Рис. 1. Комплекс оперативного мониторинга пожаров

### Комплекс ГИС-приложений решения целевых задач

В состав комплекса входят ГИС-приложения, реализующие следующие функции:

- регистрация и оперативное картирование АОП на момент  $t$ ;
- экспресс-оценка опасности АОП и формирование описания ПОф ( $t$ ) с учетом стационарных внешних условий (СВУ);
- прогноз развития АОП с учетом динамических внешних условий (ДВУ) и формирование описания ПОп ( $t + \delta t$ );
- выработка рекомендаций по ликвидации АОП.

Здесь:  $t$  – время последнего сеанса приема данных ДЗЗ, на основе которых осуществляется картирование АОП;

ПОф( $t$ ) – фактическая пожарная обстановка на момент  $t$ , построенная по данным ДЗЗ;

ПОп( $t$ ) – прогнозная пожарная обстановка на момент  $t$ , построенная в результате модельных расчетов;

$\delta t$  – интервал времени между двумя сеансами приема данных ДЗЗ (в среднем 8 часов).

*Регистрация и оперативное картирование АОП.* Реализация этой функции, предусматривает дешифрирование космоснимков NOAA AVHRR, Aqua и Terra MODIS и включает два этапа.

На первом этапе с помощью стандартных алгоритмов и их модификаций по данным тепловых каналов определяются координаты очагов с высокой температурой.

На втором этапе из множества очагов с высокой температурой удаляются стационарные источники, представляющие собой тепловые выбросы промышленных объектов, и другие «ложные» объекты. Для этого используются соответствующие ГИС-слои, сформированные по результатам многолетних наблюдений. Оставшиеся очаги высоких температур считаются реальными АОП и передаются для дальнейшей обработки.

*Экспресс-оценка опасности АОП* включает следующие процедуры:

- оценка интенсивности АОП;
- расчет потенциального ущерба от АОП с учетом стационарных внешних условий (СВУ);
- формирование описания ПОф(t) с ранжированными по категории опасности АОП.

Для оценки опасности АОП используется комплексный критерий:

$$P(\text{АОП}_i) = k_1 I_i + k_2 U_i$$

где:  $i$  – идентификатор АОП;

$I_i$  – интенсивность АОП;

$U_i$  – потенциальный ущерб, который может нанести АОП;

$k_1, k_2$  – коэффициенты, учитывающие веса параметров.

Интенсивность АОП определяется количеством пикселей, образующих фронт пожара. В СОМП используется четырехбальная ранговая шкала оценки интенсивности АОП: низкая, средняя, высокая, катастрофическая.

Вторым и более важным критерием опасности АОП является величина потенциального ущерба ( $U$ ), который может быть причинен пожаром.

Для оценки потенциального ущерба, необходимо определить особо важные объекты (ОВО), находящиеся в зоне развития АОП. Обычно, к ОВО относятся: населенные пункты; объекты социально-экономической инфраструктуры, такие как мосты, электростанции и линии электропередач; нефте- и газопроводы; крупные промышленные предприятия; зерно и овощехранилища, а также природные экосистемы, повреждение которых может сказаться на сокращении биоразнообразия.

С учетом жестких временных требований, предъявляемых к технологиям решения задач оперативного мониторинга, перечень ОВО и соответствующий ущерб, определяются заранее и заносятся в ГИС, что существенно упрощает и ускоряет оперативные расчеты.

При оценке ущерба в СОМП используется дискретная ранговая шкала, отражающая вероятность повреждения ОВО в зависимости от расстояния до АОП. Потенциальный ущерб рассчитывается по формуле:

$$U = k(R) \times S,$$

где:  $k(R)$  – коэффициент риска повреждения ОВО, который зависит от расстояния до ОВО;

$S$  – величина ущерба в случае повреждения ОВО пожаром.

Если в зону распространения АОП попадает несколько ОВО, суммарная оценка ущерба определяется по формуле:

$$U = \sum (k(R)_j \times S_j),$$

где  $k(R)_j$  – коэффициент риска повреждения ОВО $_j$ .

$S_j$  – величина ущерба, при повреждении ОВО $_j$ .

После расчета значения  $U$  также преобразовываются в четырехбальную ранговую шкалу: незначительный (1), средний (2), высокий (3), чрезвычайный (4).

Потенциальная возможность АОП преодолеть расстояние до ОВО зависит от стационарных внешних условий (СВУ). В первую очередь речь идет о количестве и степени увлажнения растительного покрова, играющего роль «пищи» для огня. СВУ задаются в виде лингвистической

переменной, принимающей следующие значения: особо благоприятные, благоприятные, нейтральные, неблагоприятные и особо неблагоприятные. С учетом СВУ осуществляется переоценка интенсивности АОП. Для упрощения расчетов используется следующее правило: неблагоприятные СВУ снижают категорию интенсивности на один балл (особо неблагоприятные на 2), нейтральные оставляют без изменения, а благоприятные – увеличивают на 1 балл (особо благоприятные – на 2).

Итоговая категория опасности АОП определяется в виде линейной комбинации баллов интенсивности и потенциального ущерба. В результате обработки всех АОП<sub>i</sub> формируется описание ПОФ(t) в виде таблицы, ранжированной по категории опасности АОП<sub>i</sub>.

На следующем шаге осуществляется разделение АОП на высоко и низко опасные. Все дальнейшие расчеты, включая моделирование и прогноз развития АОП с учетом ДВУ (направление и скорость ветра), проводятся только для АОП, опасность которых превышает заданный порог. Таким образом, процедура быстрой количественной оценки ущерба от пожаров позволяет уже на ранних стадиях отделить АОП с незначительным потенциальным ущербом и существенно сократить объемы последующих вычислений.

Моделирования распространения очага пожара осуществляется на основе сеточного представления территории мониторинга (GRID-модели). При этом для каждой ячейки сетки определяются СВУ, а в качестве начальных условий задаются координаты и интенсивность высоко опасных АОП. В процессе моделирования происходит анализ соседних с АОП ячеек, на предмет соблюдения условий распространения огня. Последовательность движения по ячейкам сети зависит от направления и скорости ветра. Кроме того, при моделировании учитываются «барьеры», препятствующие распространению АОП.

В результате моделирования определяются пространственное расположение и интенсивность наиболее опасных АОП на момент  $(t + \delta t)$ . С учетом этих данных уточняется величина потенциального ущерба для каждого АОП, осуществляется переоценка категории их опасности и формируются описание ПОп  $(t + \delta t)$ .

#### *Выработка рекомендаций по ликвидации АОП.*

Описания ПОФ(t) и ПОп  $(t + \delta t)$  используются для выработки рекомендаций по очередности ликвидации АОП. В процессе решения этой задачи определяется количество сил и средств, необходимых для ликвидации каждого АОП и осуществляется распределение имеющихся в наличии ресурсов тушения пожаров с учетом их фактического расположения на момент времени t. Для реализации этой функции разработаны ГИС-приложения на основе методов и моделей исследования операций.

В случае, когда для тушения наиболее опасных АОП ресурсов не достаточно рекомендуется эвакуация населения.

Таким образом, в зависимости от категории опасности и количества АОП предлагается конкретный план действий по их ликвидации. Ценность такого плана состоит в том, что он позволяет сократить до минимума время, необходимое для принятия оперативных решений и существенно снизить ущерб, наносимый пожарами.

### **Средства отображения и распространения результатов мониторинга**

Одной из важнейших функций СКМП является своевременное доведение результатов решения прикладных задач мониторинга до заинтересованных пользователей. Средства распространения результатов мониторинга пожаров обеспечивают два режима обслуживания:

- служебный, предусматривающий распределение и адресную доставку данных в соответствии со статусом и запросами пользователей. Этот режим практикуется для передачи результатов оперативного мониторинга, требующих быстрого реагирования, а также для конфиденциальных сведений;

- открытый, для доступа к данным общего пользования через web-интерфейсы. Открытая информация размещается на геопортале (<http://emergency.gzi.kz>) и обновляется с частотой один раз в сутки. В качестве примера на рисунке 2 приведен формат отображения результатов оперативного картирования крупных АОП на территории Казахстана.

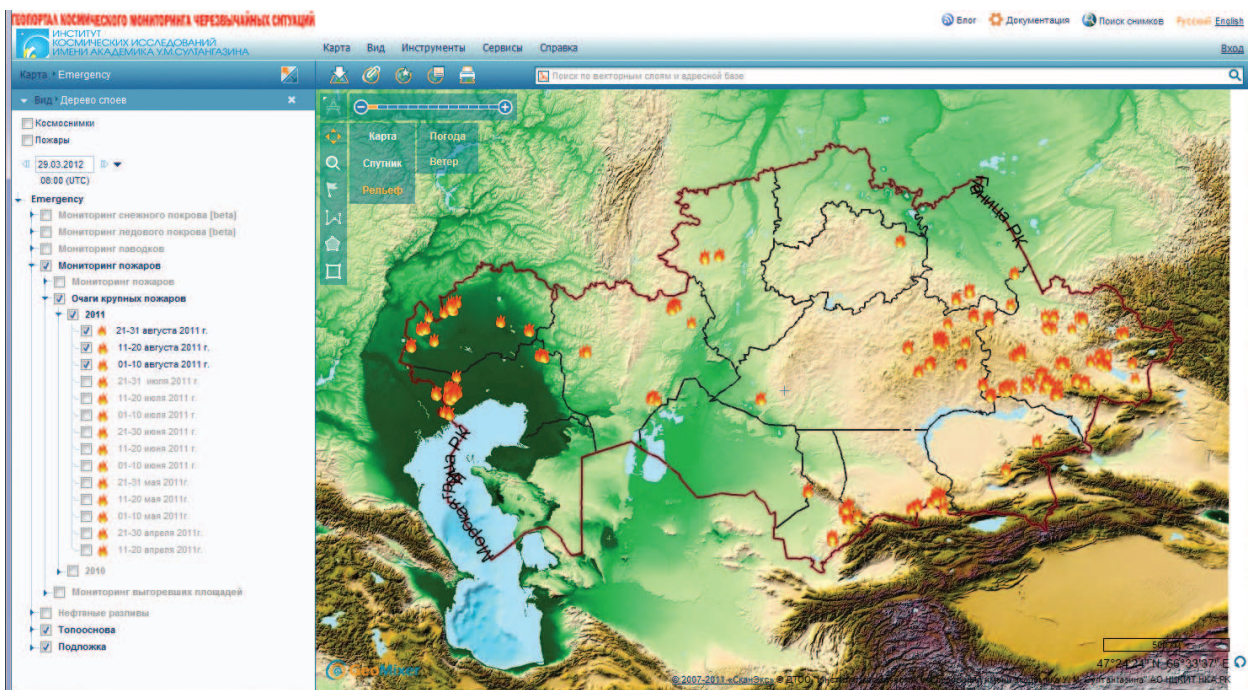


Рис. 2. Пример отображения результатов оперативного картирования крупных пожаров АОП на геопортале

## Заключение

Наиболее перспективным направлением повышения эффективности космического мониторинга пожаров, на наш взгляд, является создание в областях ситуационных (кризисных) центров, которые будут выполнять две основные функции:

- эксплуатация разработанных технологий и формирование рекомендаций по ликвидации АОП с учетом местных особенностей;
- выработка предложений по дальнейшему совершенствованию алгоритмов и технологий оперативного мониторинга пожаров.

## Литература

1. *Спивак Л.Ф.* Основы создания систем космического мониторинга: Методическое пособие. Алматы: «Дайк-Пресс», 2010. – 88 с. + 12 с. Вкл.
2. *Спивак Л.Ф., Сагатдинова Г.Н.* Развитие технологий оперативного космического мониторинга пожаров в Казахстане // *Космические исследования и технологии.* 2011. №1 с. 28–32

# The development of operative fire space monitoring technologies in Kazakhstan

L.F. Spivak, G.N. Sagatdinova

*Sultangazin Space Research Institute*

*050010 Almaty, Shevchenko 15*

*E-mails: gulshatn@rambler.ru, levspivak@mail.ru*

The article describes the current capabilities of operational satellite monitoring of fires developed at the Sultangazin Space Research Institute. The main attention is paid to the description of GIS registration and operational risk assessment of active fires (AF), rapid prediction of the dynamics of fire and make recommendations on the order of their elimination.

**Keywords:** space monitoring, active fires (AF), registration and risk assessment of AF, forecast of AF, recommendation to eliminate the AF.