

Пятилетний опыт оперативного космического мониторинга пожаров в Казахстане

О.П. Архипкин, Л.Ф. Спивак, Г.Н. Сагатдинова

*Институт космических исследований,
Министерство образования и науки Республики Казахстан,
050010, Казахстан, Алма-Ата, Шевченко 15,
E-mail: mkmikikz@rambler.ru*

Приводится описание технологии и результатов работы в эксплуатационном режиме в нескольких областях Казахстана системы оперативного космического мониторинга пожаров, намечаются перспективы ее дальнейшего развития.

Введение

Ежегодно степные пожары охватывают значительные территории республики. В последние годы пожары начинаются уже в апреле, а заканчиваются в середине октября. Большое значение для уменьшения экономического ущерба имеет своевременное обнаружение очагов пожаров. В современных условиях наиболее эффективное и оперативное решение этой проблемы достигается при использовании систем космического мониторинга пожаров. Разработкой ГИС-технологий космического мониторинга пожаров ИКИ занимается с 2001 года после установки антенны для приема данных Terra MODIS, а с 2002 года осуществляет оперативный космический мониторинг пожаров в ряде областей Казахстана. В процессе эксплуатации постоянно проводится отладка технологий, в том числе и с учетом реальных возможностей и потребностей органов ЧС, использующих эту информацию.

Разработанная за это время интегрированная система космического мониторинга пожаров (СКМП) базируется на данных дистанционного зондирования (ДДЗ) NOAA AVHRR и EOS-AM Terra MODIS [1-4]. Она включает в себя комплекс ГИС-технологий, обеспечивающих оперативное обнаружение очагов пожаров по космическим снимкам, географическую привязку и оценку потенциальной опасности обнаруженных очагов, картирование площадей, пострадавших от пожаров, оценку потенциального ущерба сельскохозяйственных угодий от пожаров, оценку риска пожароопасности различных территорий, моделирование развития пожаров по метеоданным. При работе СКМП в эксплуатационном оперативном режиме используется упрощенная схема, описываемая ниже.

Работа СКМП в оперативном режиме

При выработке оптимального варианта работы системы в эксплуатационном режиме учитывается количество и квалификация работающих на местах пользователей, их требования к выходным данным, возможности связи и ряд других параметров. Главным критерием является обеспечение максимально возможной оперативности доведения информации о состоянии пожарной обстановки до пользователя в понятной ему форме.

Технология работы СКМП в оперативном режиме

В настоящее время оптимальной представляется технология, включающая двухразовую посылку оперативных данных: первый раз - до 9 часов местного времени по результатам обработки ночных космоснимков, второй – не позднее 40 минут после приема дневных космоснимков

MODIS. Оперативные данные включают карты очагов пожаров, а также таблицы с указанием их координат, ближайшего населенного пункта, расстояния до него и азимута (см. рис. 1).



Рис. 1. Выходные данные по очагам пожаров

Примерно раз в 3-7 дней (в зависимости от облачности и интенсивности пожаров) высылаются кары-маски площадей, пострадавших от пожаров, с указанием новых и старых гарей, а также таблицы с указанием величины таких площадей для районов и области в целом по нарастающему итогу (см. рис. 2).

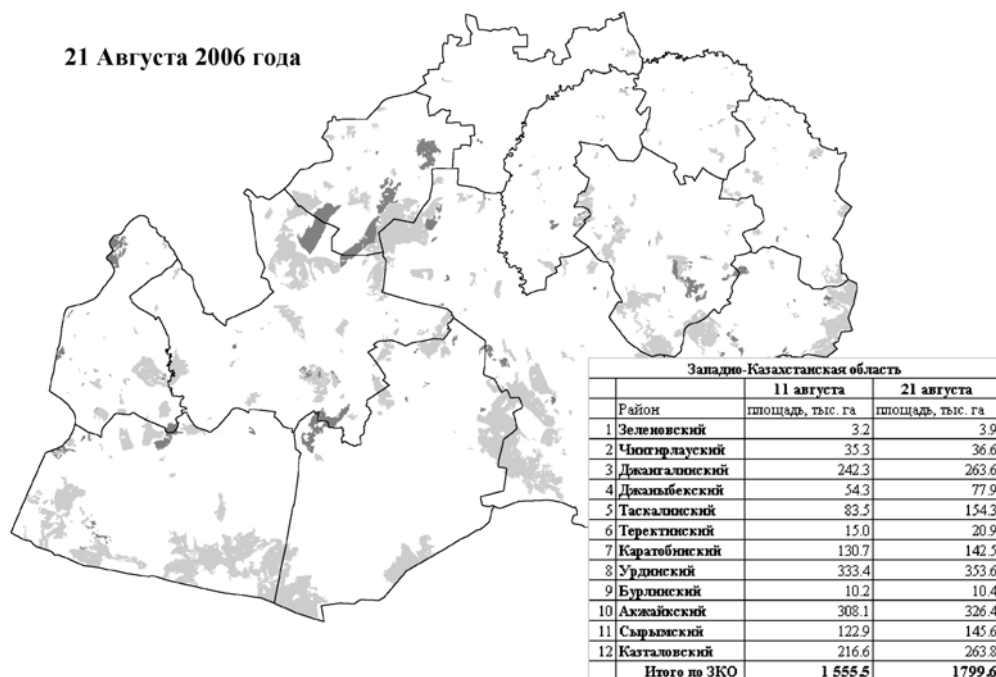


Рис. 2. Выходные данные по площадям, пострадавшим от пожаров

Методика выделения очагов пожаров

Для выделения очагов пожаров применяются стандартные (пороговые) алгоритмы, выделяющие пиксели или компактные группы пикселей с повышенными температурами, как по абсолютной величине, так и относительно соседних пикселей. Для обработки дневных снимков используются два алгоритма, результаты которых сравниваются и анализируются с использованием отдельных каналов MODIS и их rgb-комбинаций. Для отделения пожаров от стационарных источников высоких температур (промышленные объекты, объекты нефтегаздобывающей отрасли и др.) применяется специально построенная по временному ряду ДДЗ маска. Для удаления ложных очагов, вызванных бликами от водных объектов и облачного покрова, используются их маски. Ложные очаги, обусловленные особенностями местности и жарким климатом, удаляются с помощью комплексного анализа ДДЗ с использованием исторического опыта.

Первый алгоритм представляет собой MOD14 со стандартными параметрами, второй - MOD14 с переменными параметрами, варьировавшимися в зависимости от погодных условий (firelog). Результаты определения очагов пожаров по дневным данным MODIS для трех областей Казахстана в 2006 году с помощью MOD14, firelog и их совместного анализа представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1. Определение очагов пожаров по дневным данным MODIS с помощью MOD14

Область	Число пикселей с высокой температурой	Число очагов с высокой температурой	Число очагов огня (P _{MOD14})	% ложных очагов	% определения очагов огня (P _{MOD14} / P _{ито2})
Карагандская	3100	669	655	2,1	94,8
Актюбинская	6034	1284	1248	2,8	95,9
ЗКО	2945	667	646	3,1	92,2
Итого	12079	2620	2549	2,7	94,6

Таблица 2. Определение очагов пожаров по дневным данным MODIS с помощью firelog

Область	Число пикселей с высокой температурой	Число очагов с высокой температурой	Число очагов огня (P _{firelog})	% ложных очагов	% определения очагов огня (P _{firelog} / P _{ито2})
Карагандская	3926	680	636	6,5	92,0
Актюбинская	6902	1293	1148	11,2	88,2
ЗКО	3243	651	581	10,8	82,9
Итого	14071	2624	2365	9,9	87,8

Таблица 3. Определение очагов пожаров по дневным данным MODIS с помощью совместного анализа данных MOD14 и firelog

Область	Число пикселей	Число очагов пожара (P _{ито2})	Число стационарных очагов огня	% стационарных очагов огня
Карагандская	3636	691	73	10,6
Актюбинская	6662	1302	269	20,7
ЗКО	3387	701	46	6,6
Итого	13685	2694	388	14,4

В них под очагами с высокой температурой понимается объединение близко расположенных пикселей с высокой температурой в один очаг. Число пикселей, входящих в очаг, характеризует в некоторой степени интенсивность пожара. В среднем по трем областям в 2006 году на один очаг приходилось 5,3 пикселя (см. таблицу 3). Как видно из таблицы 1 при определении очагов пожаров с помощью MOD14 число ложных очагов лежит в интервале 2,1 – 3,1%, а число пропущенных очагов пожаров - в интервале 4,1 – 7,8%. Для firelog эти интервалы больше, соответственно 6,5 – 11,2% и 8,0 – 17,1% (см. таблицу 2). Число стационарных очагов огня составляет в среднем 14,4% (см. таблицу 3).

Использование данных космического мониторинга пожаров в областях

Выходные данные космического мониторинга пожаров (см. рис. 1 и 2) посылаются по электронной почте в областные департаменты ЧС, которые и определяют их дальнейшее использование. В Карагандинской области, например, издавали распоряжение председателя комиссии по ЧС «О введении режима повседневной деятельности по предупреждению природных пожаров», в котором обязывали конкретные местные органы использовать в своей деятельности данные космического мониторинга пожаров и определяли порядок их использования. Схема взаимодействия местных органов по использованию результатов космического мониторинга пожаров представлена на рисунке 3.

Приложение № 1

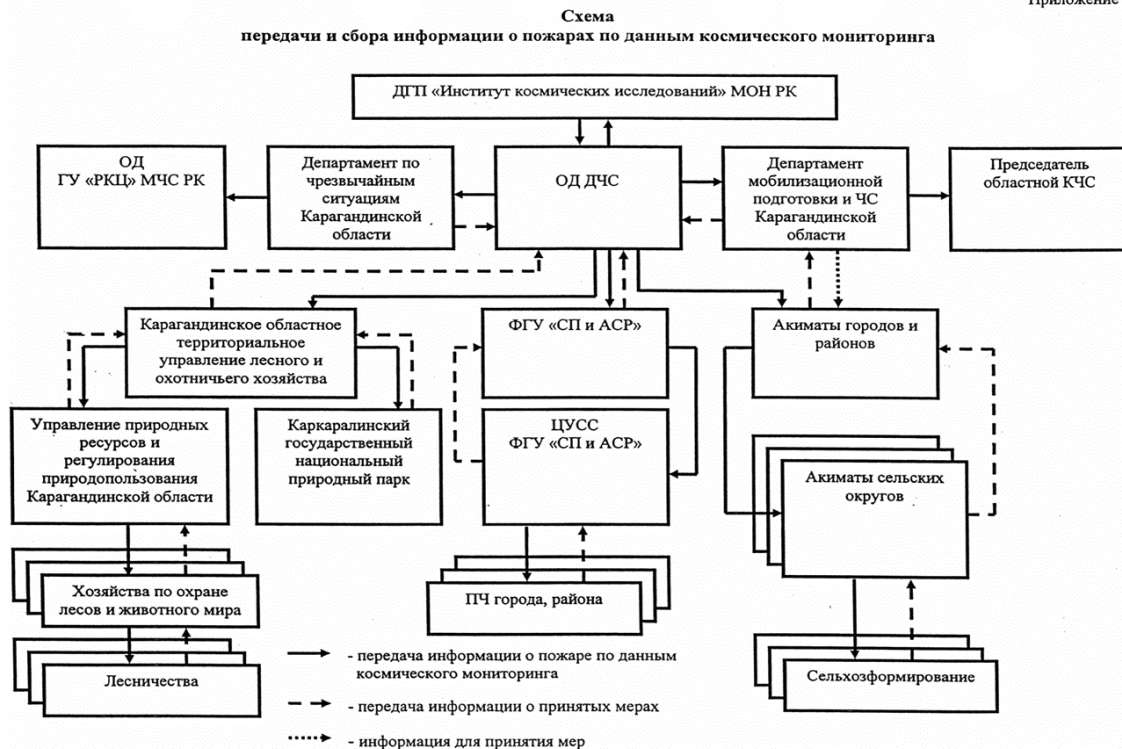


Рис. 3. Схема использования результатов космического мониторинга пожаров

К сожалению, в местных органах районного уровня отсутствует электронная почта и поэтому информацию об очагах пожаров (см. рис. 1) областные органы им пересылали по факсу. Эти карты они обязывались возвращать с указанием о принятых мерах. Данные о площадях, пострадавших от пожаров (см. рис. 2), использовались на еженедельных совещаниях в областном акимате (орган местного управления) для оценки ситуации. Данные космического мониторинга пожаров использовались и в работе специальных комиссий, созданных для разборки пожаров, причинивших большой материальный ущерб. В частности, они были использованы при выяснении винов-

ных в крупном пожаре, проходившем на границе нескольких районов и приведшем к гибели крупного рогатого скота. Одной из причин этого было непринятие мер к очагам пожара, распространившегося в сторону соседнего района.

Верификация

СКПМ эксплуатируется в штатном режиме в Западно-Казахстанской области с 2002 года, в Актюбинской области – с 2003 года и в Карагандинской области с 2005 года. Полный анализ результатов верификации космического мониторинга пожаров был проведен по своей инициативе Государственной противопожарной службы (ГПС) Актюбинской области в 2003 году. Всего ГПС получила от ИКИ 384 очага идентифицированных как пожары по данным космического мониторинга, 307 из которых подтвердилось ГПС Актюбинской области как загорание степи и лесонасаждений на территории области. Из оставшихся очагов по данным ГПС Актюбинской области 74 являлись контролируемым горением по выжигу стерни. Таким образом, ошибочными были только три очага.

Анализ ситуации с пожарами по временному ряду ДДЗ

Кроме оперативной информации областным органам ЧС передается также информация, характеризующая развитие пожарной ситуации в целом по области во времени в течение пожароопасного сезона текущего года и по сравнению с предыдущими годами. По мере накопления многолетней базы данных появляется возможность оценивать риски пожароопасности различных территорий на основе анализа многолетнего ряда данных дистанционного зондирования о площадях, пострадавших от пожаров.

Сравнительный анализ динамики развития ситуации с пожарами

В качестве временных отрезков, для которых проводится сравнительный анализ можно выбрать неделю, декаду, месяц, времена года (весна, лето, осень), год и др. Для характеристики сезонной динамики развития пожарной ситуации в целом по области лучше подходит декада, а многолетнюю тенденцию лучше характеризует год. Характеризовать интенсивность пожаров за эти временные отрезки можно числом обнаруженных по ДДЗ пожаров или величиной площадей, пострадавших от пожаров. На рис. 4 представлены диаграммы подекадной динамики по нарастающему итогу (а, в) и по величине (б, г) по очагам пожаров и площадям, пострадавшим от пожаров для ЗКО в 2006 году. Многолетняя динамика развития пожарной ситуации на территории ЗКО и Актюбинской области представлена рис. 5. Из него видно, что динамика развития пожарной ситуации в этих соседних областях разная: параболическая для ЗКО и близкая к синусоидальной для Актюбинской. Представляет интерес для анализа и комбинация этих двух временных показателей (см. рис. 6). Она показывает, что в 2003 и 2005 годах всплеск интенсивности пожаров на территории ЗКО пришелся на 2 декаду июля и 2 и 3 декады сентября, в 2004 – на 3 декаду августа и 1 декаду сентября, в 2006 – на 1 декаду июня. То есть с начала июня и по конец сентября можно ожидать всплеска интенсивности пожаров.

Такой же анализ можно проводить и для районного уровня.

Оценка риска пожароопасности территории

Риск пожароопасности можно оценивать разными способами. Классический путь состоит в использовании при такой оценке характеристик горючести растительной среды на исследуемой территории, метеорологических (температура, количество дождей и их интенсивность, и т.п.) особенностей текущего периода времени и ряд других факторов. Достоинство этого подхода состоит в том, что он позволяет получить дифференциальную оценку риска пожароопасности в

конкретном месте и в конкретный период. С другой стороны, такой путь требует большого количества наземной информации. При этом растительность часто представляет собой многоярусную среду с различными характеристиками, что еще более усложняет процесс оценки.

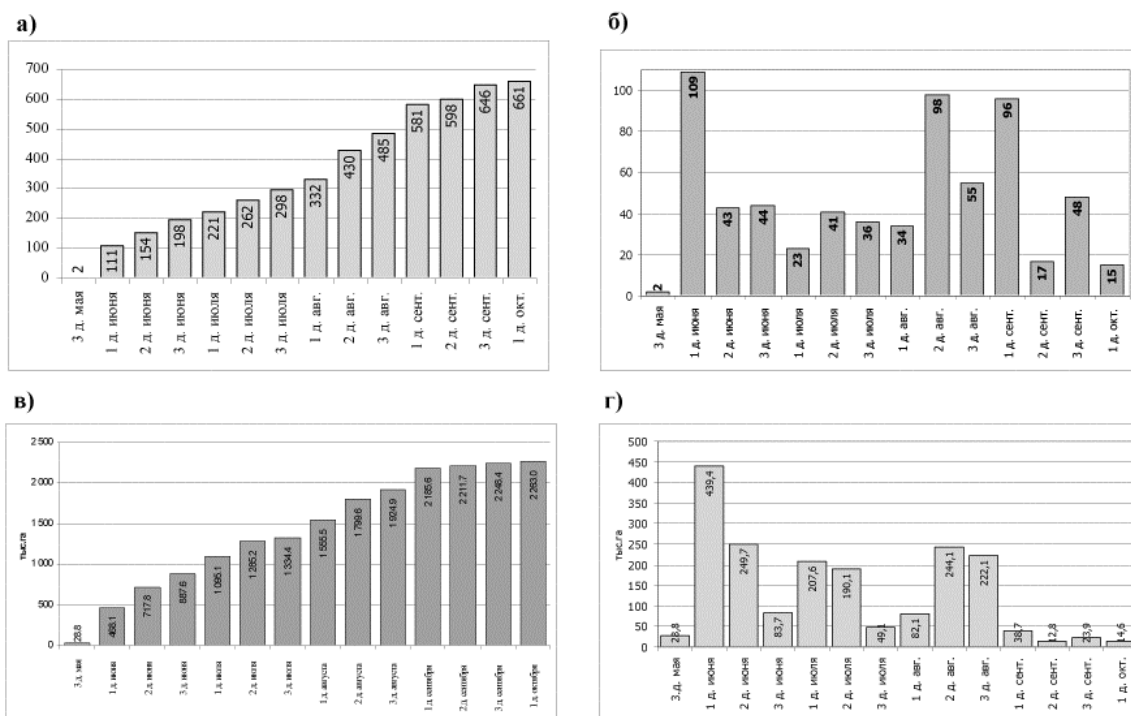


Рис. 4. Результирующие диаграммы подекадной динамики по очагам пожаров (а, б) и площадям, пострадавшим от пожаров (в, г) для ЗКО в 2006 году

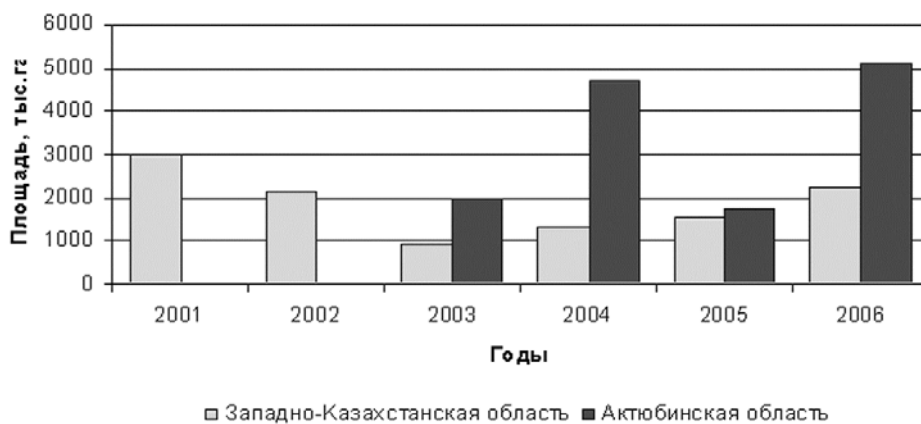


Рис. 5. Динамика площадей, пострадавших от пожаров, на территории ЗКО за 2001-2006 годы и на территории Актыбинской области за 2003-2005 годы

Другой путь состоит в статистической оценке результатов многолетних наблюдений на исследуемой территории. При оценке риска пожароопасности в этом случае оценивают частоту повторения пожаров в каждой элементарной площадке за весь исследуемый период времени. Такой подход позволяет получить интегральную оценку по временному периоду в каждом конкретном месте. Его достоинство состоит в том, что не требуется подробных характеристик наземной растительной среды.

В СКМП оценка риска пожароопасности для различных территорий проводится на основе пространственного анализа многолетнего ряда ДДЗ. В результате анализа проводится райониро-

вание исследуемой территории по степени риска возникновения пожаров. Такую оценку можно проводить двумя способами. При первом, оценивается количество фиксированных очагов пожаров в каждом конкретном пикселе за весь период наблюдения. Затем проводится оценка плотности количества очагов на какой-либо конкретной территории. Чем больше плотность очагов, тем выше степень риска пожароопасности.

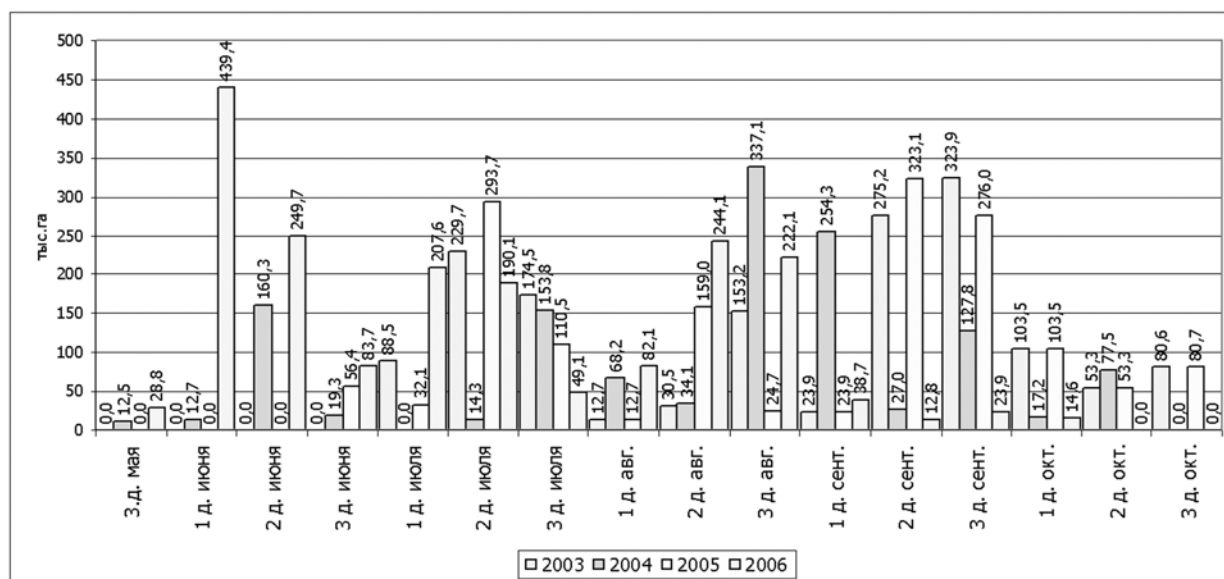


Рис. 6. Подекадная динамика площадей, пострадавших от пожаров, на территории Западно-Казахстанской области за 2003-2006 годы

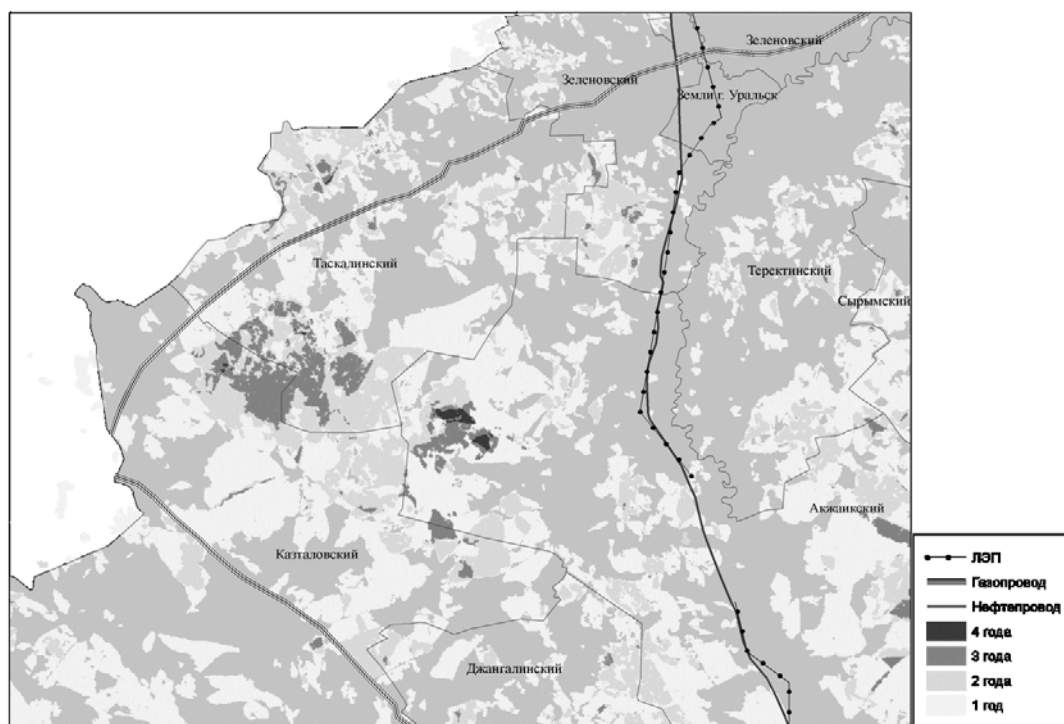


Рис. 7. Фрагмент районирования территории ЗКО по степени риска Пожароопасности по ДДЗ за 2002-2005 годы

При втором способе оценка проводится по выгоревшей площади. В этом случае степень пожароопасности определяется суммарной площадью гарей за весь период наблюдения. Второй способ представляется более объективной оценкой. Количество зафиксированных очагов зависит

от времени пролета спутника и состояния облачности, а выгоревшие площади определяются по результатам анализа временного ряда фактически полностью. Районирование можно проводить по различным временным периодам года (по всему периоду фиксации пожаров, по месяцам, по характерным временным интервалам и др). Так для сельскохозяйственных районов можно рассматривать три периода: до сева, от сева до уборочной, после уборочной.

ГИС-технология количественной оценки риска пожароопасности апробирована на примере Западно-Казахстанской области, для которой проанализирован четырехлетний временной ряд ДДЗ об очагах пожаров (см. рис. 7). Эти данные могут применяться для решения различных задач. Например, они позволяют определить хозяйства, наиболее часто прибегающих к такому запрещенному в настоящее время законом способу повышения плодородия полей, как поджог стерни на полях. Использование этих данных позволяет определить также наиболее пожароопасные места для существующих и строящихся магистральных газопроводов и ЛЭП.

Результаты и перспективы развития СКМП в Казахстане

1. Результаты эксплуатации СКМП в оперативном режиме получили положительный отзыв местных органов ЧС. Она позволяет быстро идентифицировать очаги активного огня, определить их точные географические координаты и расположение относительно ближайших населенных пунктов и особо важных объектов. Это дает возможность существенно ускорить процесс анализа оперативной обстановки, оценить потенциальную угрозу различных очагов пожаров, выработать оптимальные решения по борьбе с пожарами, своевременно оповестить местные пожарные службы об их расположении и сократить время на их ликвидацию.

2. В настоящее время в областные органы ЧС высылаются карты (см. рис. 1 и 2), на получение которых требуется до 40 минут времени. Для повышения оперативности принятия решений на местах были разработаны специализированные автоматизированные рабочие места (АРМ) дежурного ЧС на базе ГИС. Их внедрение в эксплуатацию позволило бы не только существенно сократить время передачи информации (передаваться в этом случае будут только шейпы очагов пожаров, на получение которых уходит гораздо меньше времени), но и ускорить процесс анализа оперативной обстановки. Однако, не смотря на установку АРМ в двух областях, ввести их в эксплуатацию пока не удалось по причине отсутствия на местах квалифицированных пользователей. Но работы в этом направлении продолжаются.

3. Опыт эксплуатации СКМП показывает, что она может эффективно использоваться для контроля крупных пожаров, которые носят трансграничный характер (межрайонный, межобластной, межгосударственный). Часто органы ЧС всех уровней не принимают мер для локализации пожаров движущихся в сторону других территориальных образований. Использование данных космического мониторинга пожаров позволяет информировать все соседние органы ЧС об угрозе таких пожаров, а также выявить виновных в нарушении своевременных мер. На межрайонном уровне такой контроль уже применяется (см. выше), а на межобластном носит пока информационный характер. Для создания такого контроля на межгосударственном уровне требуется интеграция систем космического мониторинга пожаров соседних стран, прежде всего России и Казахстана.

Литература

1. *Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Шагарова Л.В., Батырбаева М.Ж.* К вопросу о космическом мониторинге пожаров в Казахстане // Исследование Земли из космоса, 2003. №3. – С. 93-94.
2. *Spivak L.F., Arkhipkin O.P., Shagarova L.V., Batyrbaeva M.J.* Fire space monitoring System in Kazakhstan // IGARSS'2003. Toulouse, 2003.
3. *Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Сагатдинова Г.Н.* Космический мониторинг пожаров на территории Западного Казахстана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Москва: ГРАНТИ-Полиграф, 2005. Т. 2. - С. 332-335.
4. *Spivak L.F., Arkhipkin O.P., Sagatdinova G.N.* Development of Fires Space Monitoring System in Kazakhstan // Proceedings of 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment. Saint-Petersburg, 2005.