

Развитие технологий оперативного космического мониторинга ЧС в Казахстане

О.П. Архипкин, Г.Н. Сагатдинова

*Институт космических исследований, МОН Республики Казахстан
050010, Казахстан, г. Алма-Ата, ул. Шевченко, 15*

E-mail: mkmikiz@rambler.ru

Приводится описание результатов работы в нескольких областях Казахстана в эксплуатационном режиме системы космического мониторинга ЧС, включающего оперативное картирование прохождения паводковых вод и оперативное определение очагов пожаров и оценку площадей, пострадавших от пожаров. Отмечаются особенности работы системы в последние годы. Намечаются возможные пути ее дальнейшего развития.

Введение

В настоящее время ИКИ осуществляет в интересах органов ЧС в эксплуатационном режиме оперативный космический мониторинг пожаров и прохождения паводковых вод и наводнений. Мониторинг пожаров проводится в пожароопасный период для четырех областей, занимающих примерно половину территории Казахстана. Мониторинг паводков ведется весной для водных объектов Западно-Казахстанской, Восточно-Казахстанской (с марта 2008 года) и Карагандинской областей, а также в зимне-весенний период для среднего течения реки Сыр-Дарья, включая мониторинг динамики заполнения водной поверхности Чардаринского водохранилища (см. рис. 1).



Рис. 1. Оперативный космический мониторинг ЧС

Принципы построения системы космического мониторинга паводков и наводнений в Казахстане изложены в [1-3], а пожаров в [4]. В данной статье остановимся на практическом применении этих систем в оперативной работе областных органов ЧС Казахстана.

Оперативный космический мониторинг прохождения паводковых вод и наводнений *Краткая характеристика решаемых задач*

Технология мониторинга базируется на ежедневных дневных съемках MODIS и включает решение ряда задач. Главной из них является картирование зон затопления во время прохождения

поводковых вод и наводнений. В предшествующий и начальный период прохождения паводка также проводится картирование схода снежного покрова на территории области, а в последнее время и картирование схода ледяного покрова на крупных водоемах. В связи с обострением в последние годы в зимне-весенний период паводковой ситуации в среднем течении Сыр-Дарьи на территории Кызыл-Ординской области в особую задачу выделен космический мониторинг динамики заполнения водной поверхности Чардаринского водохранилища, от режима которого во многом зависит развитие этой ситуации.

Для автоматизации процесса картирования снежного, ледяного и водного покровов разработаны специальные программы, позволяющие проводить в автоматизированном режиме процедуры трансформации в требуемую проекцию, обрезку по территории, вычисление индексов (NDSI, NDVI, VI) и классификацию изображений на космических снимках MODIS.

По результатам космического мониторинга схода снежного покрова строятся специальные карты, отражающие текущее состояние снежного покрова, динамику и календарные сроки схода снежного покрова. Эта информация представляет интерес для прогноза паводковой ситуации. Она позволяет оценить сроки начала таяния снежного покрова (ранние, нормальные, поздние), а также его темп (быстрое, нормальное, медленное таяние). Строятся также карты зон активного снеготаяния, то есть территорий, где температура превышает 0°C. В последние годы органы ЧС просят отслеживать также ситуацию со сходом ледяного покрова на крупных водоемах, таких как Балхаш и Алаколь.

Как уже отмечалось выше, главной задачей оперативного космического мониторинга прохождения паводковых вод и наводнений является контроль территорий, для которых существует высокий риск затопления паводковыми водами. По космическим снимкам этих территорий в результате тематической обработки строятся оперативные карты-маски затопленных территорий на уровне области и района, которые передаются в органы ЧС. Зоны затопления определяются как разница водных поверхностей в нормальных условиях и во время паводка. Эти карты позволяют оперативно отслеживать динамику развития ситуации, оценивать потенциальную опасность для населенных пунктов и особо важных объектов. Оперативная ситуация сравнивается с картами за предыдущие сутки и выделяются наиболее опасные участки с высокой динамикой развития паводка (см. рис. 2).

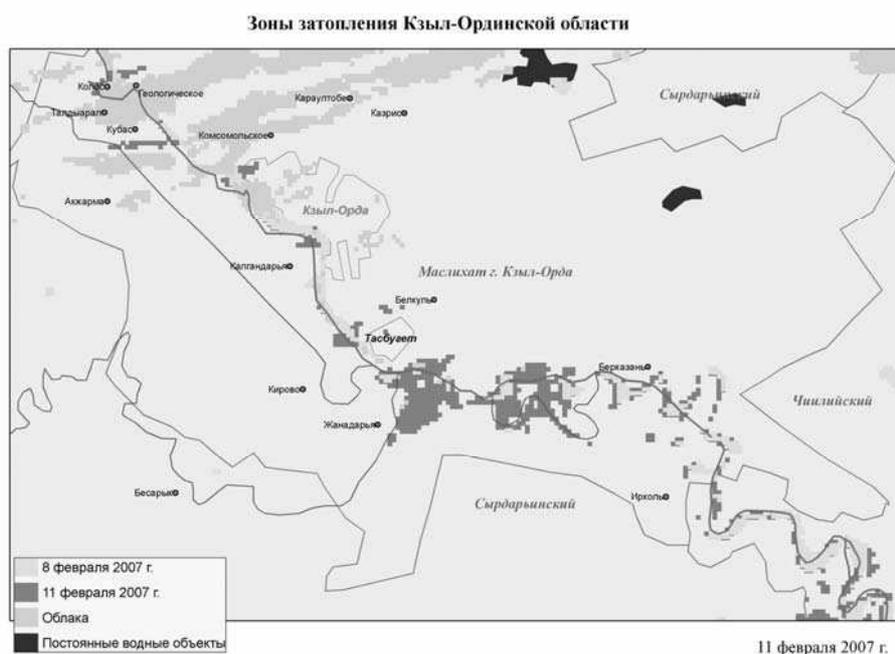


Рис. 2. Картирование зон затопления в районе г. Кызыл-Орда по данным MODIS

При космическом мониторинге динамики заполнения водной поверхности Чардаринского водохранилища решаются две основные задачи. Первая состоит в отслеживании текущей ситуации (см. рис. 3а), а вторая в сравнении этой ситуации с динамикой развития ситуации за предыдущие годы (см. рис. 3б).

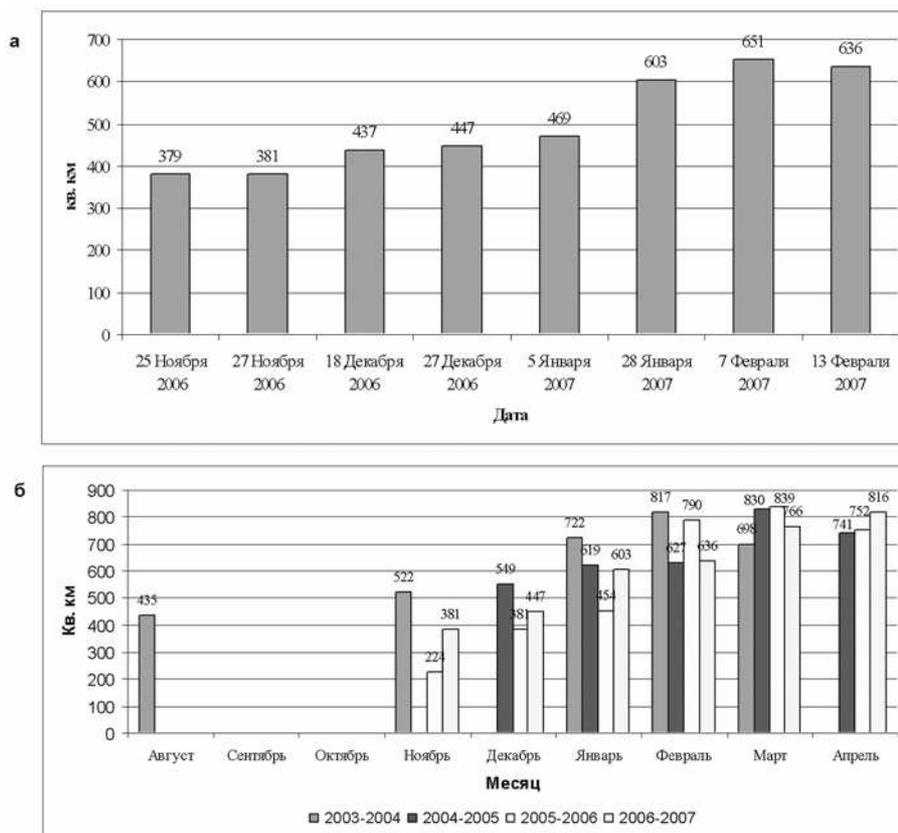


Рис. 3. Динамика заполнения Чардаринского водохранилища по данным MODIS в зимний сезон 2006-2007 годов (а) и с 2003 по 2007 годы (б)

Особенности работы космического мониторинга паводков и наводнений в последние годы

Для всех наблюдаемых регионов, кроме Сыр-Дарьи, в последние годы наблюдаются слабые паводки. В среднем течении Сыр-Дарьи каждый год возникают критические ситуации. В 2007 году критическая ситуация возникла в конце первой декады февраля и привела к затоплению населенных территорий в районе Кзыл-Орды (см. рис. 2). Для выяснения причин этого мы предоставили местным органам информацию о динамике заполнения Чардаринского водохранилища в этот период (см. рис. 3). Из рис. 3 видно, что, во-первых, в это время произошел сброс воды с водохранилища, и, во-вторых, водохранилище было заполнено на две трети от максимально зафиксированной за время наблюдения величины. Было ли это причиной критической ситуации, мы утверждать не можем. Эту причину выясняла специальная комиссия.

Гораздо более серьезные последствия (и по числу пострадавших, и по разрушенным домам) имело наводнение в третьей декаде февраля 2008 года. Причиной этого была не Сыр-Дарья, а аномальные для этого периода ливневые дожди и аномально холодная зима, которая превратила землю в ледяной желоб. В результате пострадали поселки, которые никогда не затоплялись и не были готовы к такой ситуации. Собственно паводок по Сыр-Дарье прошел без особых проблем. Зафиксировать критическую ситуацию в пиковый период по данным MODIS мы не могли по причине облачности, а использовать для этих целей данные RADARSAT не могли по причине невоз-

возможности оперативного заказа (срок заказа минимум три дня).

Следует отметить, что высокая облачность является существенной проблемой для проведения оперативного космического мониторинга паводков в последние годы, особенно в Западном Казахстане. Так в 2005 году за 45 дней развития паводка удалось получить 16 космоснимков территории ЗКО, пригодных для картирования зон затопления. Для отдельных районов ЗКО эта цифра еще меньше. Например, для района г. Уральска таких снимков было только 9. В 2007 году в период развития паводка не удалось получить ни одного космоснимка территории ЗКО, пригодных для картирования зон затопления. В 2008 году ситуация была гораздо лучше, только паводка не было.

Районирование территорий по степени риска затопления

По мере накопления информации формируются временные ряды ДДЗ (сезонные и многолетние), которые позволяют на основе анализа всего многолетнего ряда данных оценить риски затопления для различных территорий. Для такой оценки исследуемая территория ранжируется по степени риска затопления паводковыми водами и наводнениями. Для этого анализируется имеющийся многолетний ряд ДДЗ и определяется частота попадания территории в зоны затопления (см. рис. 4). Результаты районирования территории по степени риска затопления могут быть полезны при планировании хозяйственной деятельности на этих территориях и при планировании защитных мероприятий от повторяющихся затоплений. Не все зоны затопления представляют опасность для жизни и хозяйственной деятельности человека. Некоторые могут быть даже полезными, например, места сбора паводковых вод, которые в дальнейшем могут использоваться и природой, и человеком.

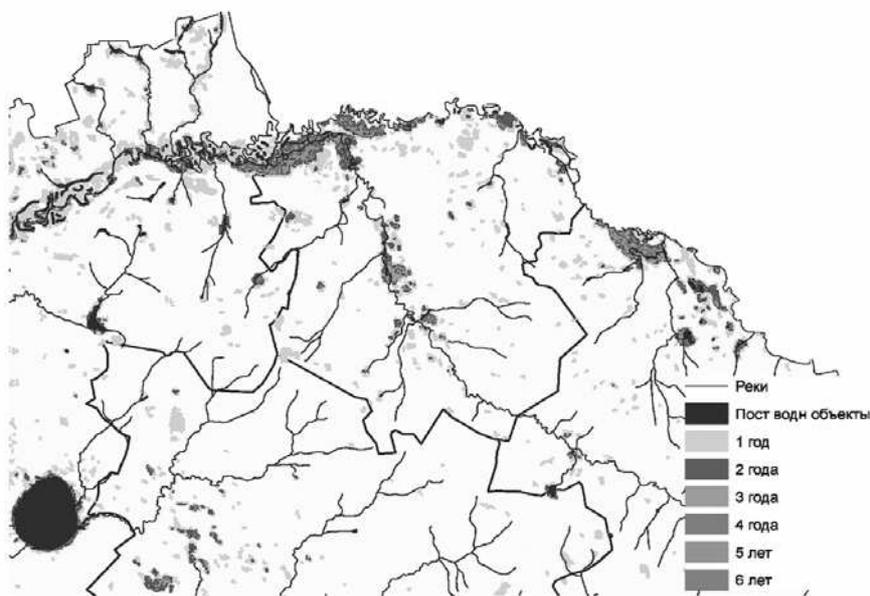


Рис. 4. Районирование зон риска затопления фрагмента территории ЗКО за 2001-2006 годы

Оперативный космический мониторинг пожаров

Технология оперативного космического мониторинга пожаров

Система космического мониторинга пожаров базируется на данных дистанционного зондирования NOAA AVHRR и EOS-AM Terra MODIS и в оперативном режиме включает двухразовую передачу оперативных данных (карты очагов пожаров, таблицы с указанием их координат, ближайшего населенного пункта, расстояния до него и азимута) утром и днем в органы ЧС. Пример-

но раз в неделю высылаются карты-маски площадей, пострадавших от пожаров, с выделением новых и старых гарей, а также таблицы с указанием величины таких площадей для районов и области в целом по нарастающему итогу [4].

Для проведения процедуры определения очагов пожаров разработаны специальные программы, позволяющие проводить в автоматизированном режиме создание векторов очагов высокой температуры и расчет их атрибутивной информации (координаты очагов, ближайший населенный пункт, расстояние до него, азимут и др.). При вычислении площадей, пострадавших от пожаров, также используются разработанные программы, позволяющие автоматизировать процесс расчета используемых при этом индексов (VI, SWVI), классификацию и вычисление площадей по районам.

В целом технология является полуавтоматизированной, так как отделение ложных очагов выполняется оператором на основе комплексного анализа ДДЗ с использованием исторического опыта.

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.

Первый алгоритм представляет собой MOD14 со стандартными параметрами. В качестве второго (условно назовем его firelog) в 2006 году использовали MOD14 с переменными параметрами, варьировавшимися в зависимости от погодных условий [4]. В 2007 году в качестве второго проанализирована возможность использования MOD14 с заниженными параметрами, увеличивающими число потенциальных очагов пожара. Результаты определения очагов пожаров по дневным данным MODIS для трех областей Казахстана в 2007 году с помощью стандартного MOD14 и их совместного с firelog анализа представлены в таблице 1. Процент определения очагов пожаров по стандартному алгоритму равен 94 в 2007 году, а в 2006 году был 94,6. Это означает с одной стороны, что firelog 2007 года позволяет немного увеличить число зафиксированных очагов пожаров, а с другой, что стандартный MOD14 дает достаточно высокую точность.

Таблица 1. Определение очагов пожаров по дневным данным MODIS с помощью MOD14 в 2007 году

<i>Область</i>	<i>Число очагов огня MOD14</i>	<i>Число подтвержденных MOD14</i>	<i>Число очагов огня всего</i>	<i>% ложных MOD14</i>	<i>% определения очагов огня MOD14</i>
Карагандинская	230	227	244	1,3	93
Актюбинская	553	548	585	0,9	94
Западно-Казахстанская	442	440	467	0,5	94
Итого	1225	1215	1296	0,8	94

Результаты космического мониторинга пожаров в 2007 году

На рис. 5 представлена динамика площадей, пострадавших от пожаров, для трех областей Казахстана за все время наблюдения. Из него видно, что это был самый наименьший год по интенсивности пожаров для Актюбинской (из 5 лет) и Карагандинской (из 3 лет) областей и один из наименьших (второй из 7 лет) для ЗКО. Однако характерной особенностью 2007 года для ЗКО является многолетний декадный максимум величины площадей, пострадавших от пожаров, в третьей декаде июля (см. рис. 6).

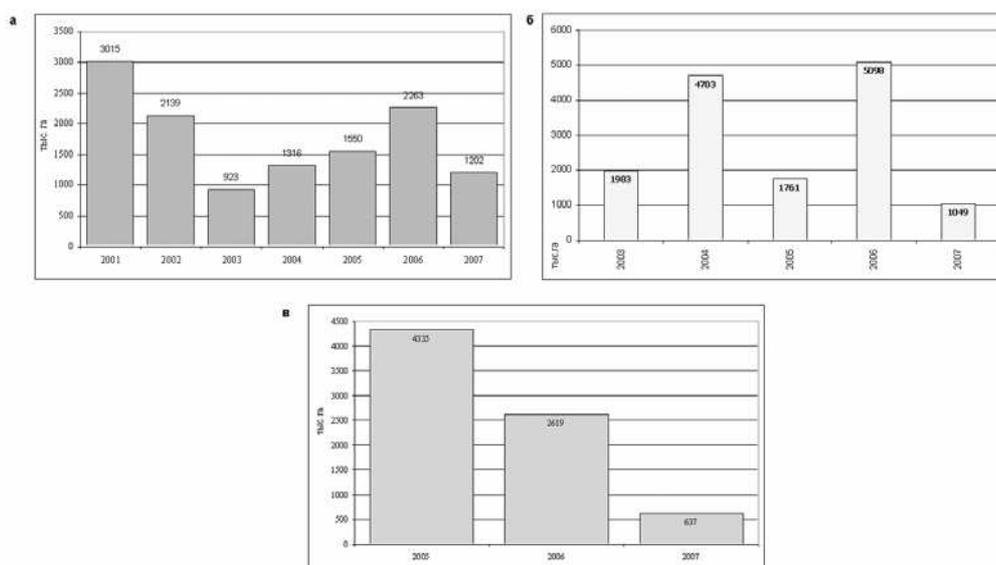


Рис. 5. Динамика площадей, пострадавших от пожаров, на территории Западно-Казахстанской области в 2001-2007 годах (а), Актыбинской области в 2003-2007 годах (б) и Карагандинской области в 2005-2007 годах (в)

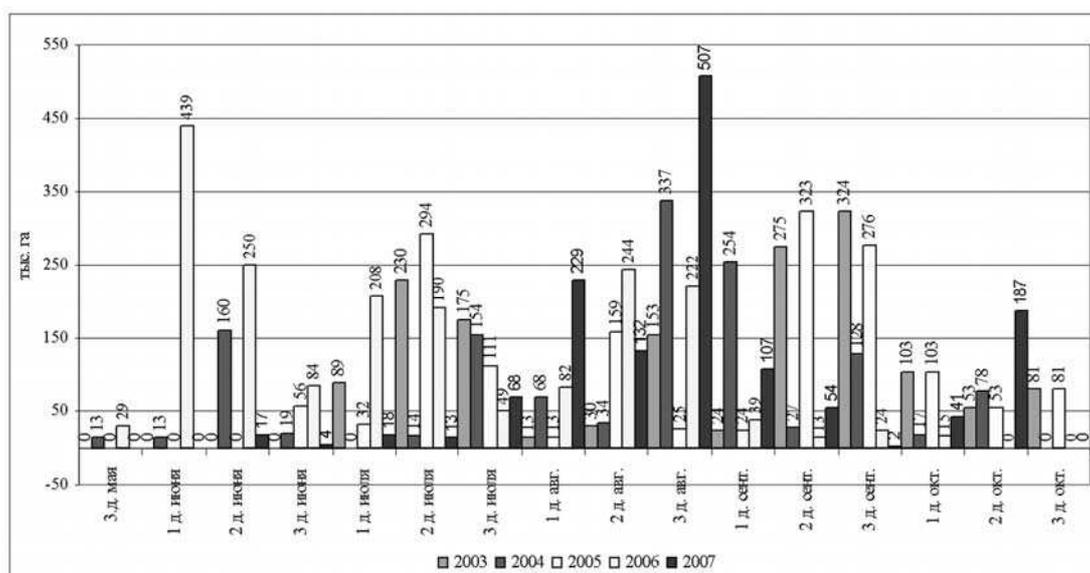


Рис. 6. Подекадная динамика площадей, пострадавших от пожаров на территории Западно-Казахстанской области в 2003-2007 году по данным дистанционного зондирования

Представляет также интерес процент стационарных очагов, связанных с тепловыми выбросами промышленных объектов, определенных по данным MODIS в 2006 и 2007 годах (см. таблицу 2).

Таблица 2. Определение очагов пожаров по дневным данным MODIS с помощью совместного анализа данных MOD14 и FIRELOG за 2006 и 2007 годы с выделением стационарных очагов

Область	Число пикселей		Число очагов огня		Число стационарных очагов огня		% стационарных очагов огня	
	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006
Карагандинская	921	3636	244	691	55	73	22.5	10,6
Актыбинская	1677	6662	585	1302	93	269	15.9	20,7
Западно-Казахстанская	1544	3387	467	701	43	46	9.2	6,6
Итого	4142	13685	1296	2694	191	388	14.7	14,4

Как видим, он практически одинаков в эти два года, не смотря на то, что интенсивность пожаров в 2006 году была в 2 раза выше. Это вызвано резким снижением числа зафиксированных стационарных очагов в Актюбинской области.

Оперативная оценка падения ракет

Следует отметить, что в последнее время в Казахстане периодически возникала задача оперативной фиксации последствий падения ракет на территории Казахстана. Эта задача может решаться только при использовании данных высокого разрешения, оперативное получение которых весьма затруднительно. В 2007 году при падении ракеты Протон была сделана попытка повысить оперативность получения таких данных. Через несколько часов после падения ракеты из органов ЧС Карагандинской области нам передали координаты предполагаемого места падения самой большой оставшейся части ракеты. У нас был заказан снимок IRS PАН в этом регионе и он был перенацелен на указанный район и через несколько часов получен. Однако там следов падения не было видно, так как координаты крупного осколка были определены неправильно, а здесь упал довольно малый фрагмент. После уточнения координат был заказан ближайший снимок IRS PАН и через два дня он был получен. В целом можно сказать, что тесное взаимодействие с местными органами ЧС может позволить значительно повысить оперативность получения таких данных.

Результаты и пути развития космического мониторинга ЧС в Казахстане

1. Космический мониторинг пожаров стал действенным инструментом, который активно используется местными органами ЧС для принятия оперативных мер по ликвидации пожаров, для выяснения виновных в пожарах, нанесших крупный ущерб, а также при оценке ситуации в целом на совещаниях руководящих органов как на областном, так и на республиканском уровнях. В настоящее время регулярный космический мониторинг пожаров проводится для четырех областей Казахстана. В ближайшем будущем их число возрастет. Для более успешного выполнения возрастающего объема работ рассматривается возможность использования в системе космического мониторинга пожаров (преимущественно степных) в Казахстане автоматизированных алгоритмов российской системы космического мониторинга пожаров, ориентированной прежде всего на лесные пожары.

2. Использование результатов космического мониторинга прохождения паводковых вод и наводнений носит в основном информационный характер. Эффективность мониторинга значительно повышается при использовании снимков высокого разрешения. Однако широкому применению таких снимков для оперативного космического мониторинга паводков и наводнений мешают их высокая стоимость и сложности оперативного заказа.

В последние годы существенной проблемой для проведения оперативного космического мониторинга паводков, особенно в Западном Казахстане, является высокая облачность в период наблюдения. Использование для решения этой проблемы радарных данных также ограничивается их высокой стоимостью и сложностью оперативного заказа.

В силу сказанного, одним из главных направлений развития космического мониторинга прохождения паводковых вод и наводнений является поиск оптимальных вариантов использования данных высокого разрешения, в том числе радарных.

Другим направлением развития технологий космического мониторинга водных объектов в интересах органов ЧС является использование ДДЗ при моделировании возможных ЧС (прорыв плотин, размыв берега и др.).

Литература

1. *Spivak L., O. Arkhipkin, V. Pankratov, I. Vitkovskaya, G. Sagatdinova.* Space monitoring of floods in Kazakhstan. *Mathematics and Computers in Simulation.* 2004. 67. P. 365–370.

2. *Спивак Л.Ф., Архипкин О.П., Панкратов В.С., Шагарова Л.В., Сагатдинова Г.Н.* Технология мониторинга паводков и наводнений в Западном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М.: Полиграфсервис, 2004. С. 90-98.

3. *Spivak L.F., Arkhipkin O.P., Sagatdinova G.N.* Development of Flood Monitoring Information System in Kazakhstan // Proceedings of 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment. Saint-Petersburg, 2005.

4. *Архипкин О.П., Спивак Л.Ф., Сагатдинова Г.Н.* Пятилетний опыт оперативного космического мониторинга пожаров в Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Сб. научн. статей. М.: ООО «Азбука-2000», 2007. Т. 1. С. 103-110.