

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ
И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.46, 551.52, 553.361

С.В. Афонин, В.В. Белов, Ю.В. Гриднев

**Система космомониторинга лесных пожаров на территории
Томской области. Часть 1. Организация системы
космомониторинга**

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 1.08.200 г.

Обсуждаются организационные моменты решения важной природоохранной проблемы космомониторинга очагов лесных пожаров на территории Томской области, который осуществляется с 1998 г. на базе созданного в Институте оптики атмосферы СО РАН центра приема и обработки информации со спутников NOAA.

Введение

Оперативное обнаружение и мониторинг очагов пожаров на территории обширных и труднодоступных лесных массивов России – актуальные природоохранные задачи. В Томской области за период с 1996 по 1999 г. количество пожаров увеличилось с 109 до 486, и только за последний год их число возросло более чем на 100 очагов (рис. 1). В этой связи не вызывает сомнений необходимость привлечения всех доступных средств оперативного обнаружения пожаров на ранней стадии их развития. Традиционное использование авиации для патрулирования пожароопасных районов требует значительных финансовых средств, поэтому роль спутниковых систем дистанционного зондирования земной поверхности все более возрастает. В настоящий момент для проведения космомониторинга в интересах служб пожароохраны лесов наиболее эффективным признано использование информации, полученной радиометром AVHRR со спутников серии NOAA, производящим измерения восходящего излучения в пяти спектральных каналах – 0,58–0,68 мкм (1), 0,725–1,1 (2), 3,55–3,93 (3), 10,3–11,3 (4) и 11,5–12,5 мкм (5). Рациональность эксплуатации именно этой спутниковой системы объясняется следующими известными обстоятельствами:

а) доступностью спутниковой цифровой информации;
б) периодичностью получения данных, позволяющей осуществлять со средним пространственным разрешением космомониторинг обширных территорий не реже 4–6 раз в сутки;

в) наличием недорогих приемных станций отечественного производства [1].

С 1996 г. в компьютерной сети ИНТЕРНЕТ функционирует сайт Центральной базы авиационной охраны лесов [2], где в течение пожароопасных сезонов ежедневно обновлялась информация о лесных пожарах на большей части территории России. Основой этой информации являются результаты тематической обработки

данных со спутников NOAA, осуществляемой в центрах приема и обработки спутниковых данных Института космических исследований РАН (г. Москва) и Института солнечно-земной физики СО РАН (г. Иркутск). Одновременно с этим подобные данные ежедневно распространяются в адрес областных управлений по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям (ГОЧС) лабораторией приема и обработки космической информации ВНИИ ГОЧС (г. Красноярск).

Несмотря на возможность получения данных о лесных пожарах на территории Томской области, из указанных выше источников тем не менее был сделан вывод о целесообразности развития в Томске собственного центра космомониторинга. По нашему мнению, это позволяет (в дополнение к уже имеющимся возможностям) использовать научно-технический потенциал работающих по этой проблеме групп в Томске для разработки эффективных алгоритмов обнаружения со спутников очагов лесных пожаров с учетом специфических условий проведения космомониторинга на территории Томской области. Очевидна в этой ситуации также высокая степень оперативности во взаимодействии между областным центром космомониторинга и областными службами охраны лесов. При этом открываются широкие возможности комплексного анализа результатов проводимого мониторинга и поиска путей повышения его эффективности.

Развитие системы космомониторинга лесных пожаров в Томской области осуществляется с 1998 г. на базе Института оптики атмосферы СО РАН (ИОА), в котором к этому моменту имелись все требуемые для проведения оперативного космомониторинга элементы: а) станция приема цифровой спутниковой информации «ScanEx»; б) широкий набор стандартных и оригинальных программных средств обработки спутниковых данных; в) необходимые для комплексного решения проблемы теоретические и алгоритмические разработки, практический опыт интерпретации спутниковых данных [12–18].

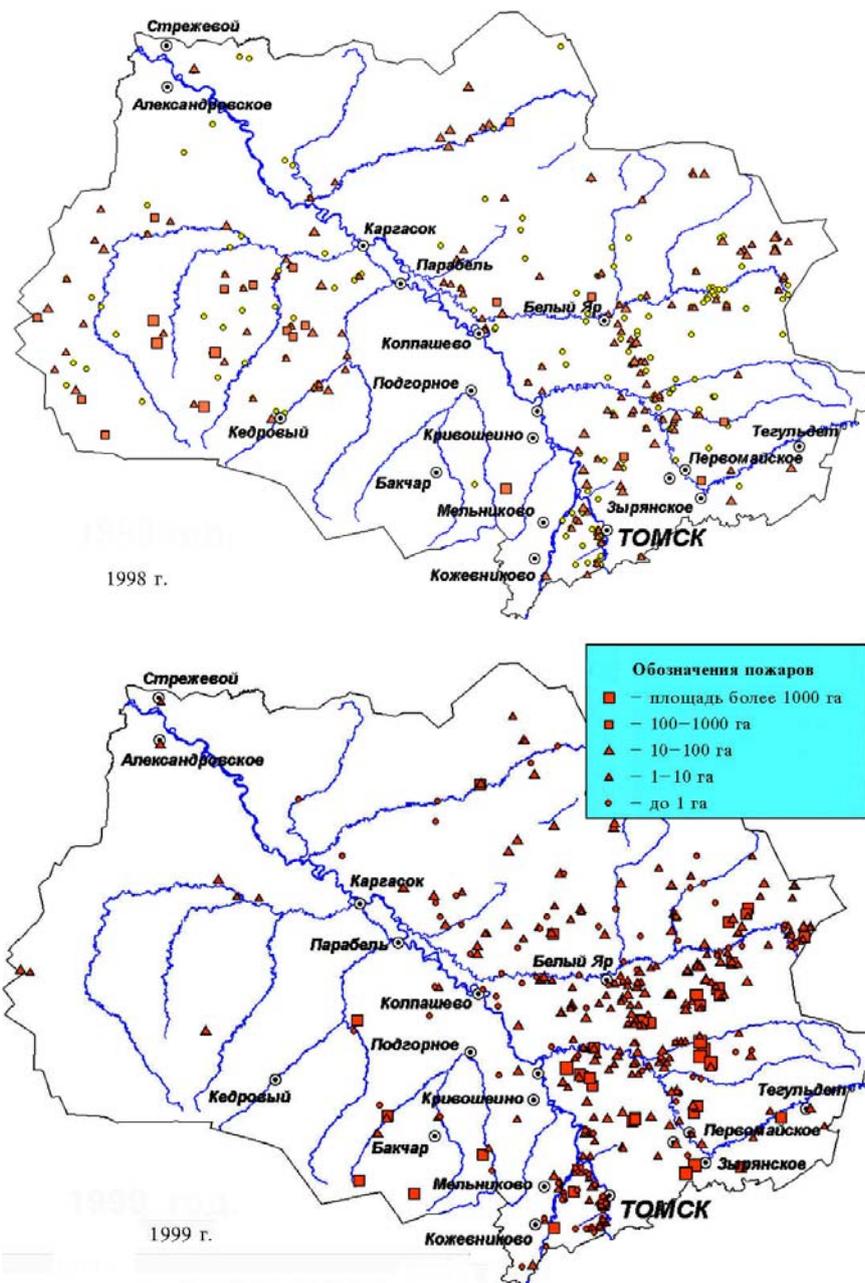


Рис. 1. Карты лесных пожаров на территории Томской области

При создании системы оперативного космомониторинга пожаров в Томской области нами был учтен опыт решения этой проблемы как за рубежом [3], так и в России [4–11]. Особый интерес представляют для нас результаты, полученные (начиная с 1994 г.) в Институте солнечно-земной физики СО РАН (ИСЗФ) на базе созданного там Центра космического мониторинга. Большой положительный опыт аналогичных работ имеется в Институте леса им. В.Н. Сукачева СО РАН [8–11].

В целях развития системы оперативного космомониторинга в Томской области в течение 1998–1999 гг. нами были решены следующие основные задачи.

1. Для работы системы в штатном оперативном режиме адаптированы уже имеющиеся и разработаны оригинальные программные средства, отработан оптимальный

режим функционирования системы и канала оперативной связи с Томской базой авиационной охраны лесов.

2. Проведено тестирование различных спутниковых алгоритмов автоматического обнаружения высокотемпературных аномалий на поверхности; результаты тестирования позволили на начальном этапе выбрать наиболее надежный для наших условий алгоритм (некоторые результаты приведены в работе [18]); дополнительно разработан новый эффективный алгоритм.

3. Разработаны методика, алгоритмы и компьютерные программы проведения комплексного анализа итогов космомониторинга, результаты использования которых будут представлены во второй части статьи.

Результаты этой работы за 1998–1999 гг. положительно оценены Центральной базой авиационной охраны

лесов, в Международном институте леса РАЕН (г. Москва), в ИСЗФ СО РАН. Кроме того, полученные результаты обсуждались в 1999–2000 гг. на пяти научных конференциях в Новосибирске [19], Красноярске [20] и Томске [21–23].

1. Организация космомониторинга

В 1998–2000 гг. космомониторинг лесных пожаров в Томской области организован сотрудниками лаборатории распространения оптических сигналов ИОА СО РАН по заказу Томского управления лесами и Томской базы авиационной охраны лесов, контролирующей около 95% территории лесных массивов области. Тематическая дешифровка данных 5-канального радиометра AVHRR осуществляется автоматически при помощи нескольких различных алгоритмов обнаружения высокотемпературных аномалий на подстилающей поверхности. Затем результаты дешифровки спутниковых снимков анализируются оператором, который принимает решение о наличии на снимке потенциальных очагов пожаров и проводит дополнительную отбраковку ложных тревог. На последнем этапе оператор с помощью специально разработанной компьютерной программы создает для каждого снимка два файла (текстовый и графический форматы) с результатами мониторинга пожаров, доступ к которым пользователи осуществляют через сеть ИНТЕРНЕТ. На протяжении всего периода проведения космомониторинга выполняется архивация принимаемой цифровой спутниковой информации на магнитную

ленту с использованием программно-аппаратного комплекса ARVID. В целях оперативной работы производится дополнительная архивация на жестком диске данных AVHRR для территории Томской области.

1.1. Режим приема спутниковой информации

В период проведения работ в 1998–1999 гг. и по настоящее время на полярных орбитах Земли находятся спутники NOAA-12, -14 и -15. Для каждого из этих спутников в сутки можно осуществлять прием двух снимков (до и после 12 ч дня) с максимальным пространственным разрешением соответственно для нисходящего и восходящего витков. В 1998 г. космомониторинг производился на основе данных двух спутников NOAA-12 и -14, что позволяло 4 раза в сутки вести оперативный мониторинг территории Томской области. В 1999 г. для этих целей дополнительно использовались данные со спутника NOAA-15, что, в принципе, увеличивает частоту наблюдений до 6 раз в сутки. Однако на протяжении практически всего периода выполнения работ в 1999 г. низкое качество информации, получаемой со спутника NOAA-15, заставило нас отказаться от его утренних снимков и осуществлять тщательную отбраковку сбойных данных для вечерних снимков. Общее представление об условиях наблюдения территории Томской области со спутников серии NOAA дает табл. 1, где приведены статистические данные за 1999 г.

Таблица 1

Статистические данные о геометрии наблюдений (1999 г.)

Спутники, витки	NOAA-12a	NOAA-12p	NOAA-14a	NOAA-14p	NOAA-15p
Время	07:52÷09:37	18:04÷19:49	05:39÷07:30	15:44÷17:36	20:01÷21:40
Азимут сканирования	104,8÷108,8 106,5	69,9÷75,2 73,1	105,7÷110,0 107,5	68,4÷74,2 72,0	69,6÷74,9 72,9
Углы возвышения Солнца над горизонтом					
Май	8,3÷31,9 20,4	14,9÷37,9 26,3	-7,2÷12,6 2,7	34,4÷52,2 43,7	1,1÷23,1 11,6
Июнь	12,2÷31,5 22,2	20,4÷41,1 30,9	-1,7÷15,0 6,3	39,0÷54,3 47,5	7,2÷26,3 16,9
Июль	7,9÷30,3 19,6	19,7÷41,0 30,4	-5,9÷14,2 4,5	36,6÷53,6 45,5	5,3÷25,7 15,3
Август	1,6÷25,8 13,5	10,3÷35,7 23,8	-12,9÷9,6 -1,6	28,9÷48,2 38,5	-4,8÷21,0 8,4
Сентябрь	-6,4÷16,6 5,6	1,0÷27,3 14,0	-21,6÷2,7 -9,4	15,0÷36,3 27,1	-15,5÷12,8 -1,8
Азимуты направления на Солнце					
Май	70,4÷103,1 86,3	247,1÷281,3 263,8	38,9÷72,0 56,0	200,8÷247,0 225,0	273,0÷303,7 288,1
Июнь	65,9÷97,4 81,7	246,0÷279,6 264,0	39,1÷70,7 54,6	201,1÷250,2 226,8	272,1÷302,2 286,9
Июль	65,2÷96,9 81,0	241,7÷278,2 260,9	38,4÷70,0 54,9	199,3÷248,9 226,7	269,5÷301,6 285,7
Август	68,2÷104,1 85,4	237,9÷274,7 256,7	42,9÷76,5 59,9	201,4÷246,2 223,2	266,3÷299,3 282,7
Сентябрь	73,7÷111,1 92,6	233,9÷269,3 251,9	45,6÷87,4 67,3	200,9÷242,1 223,5	262,1÷295,8 279,0

Примечания: 1. В строке «Спутники, витки» буквами «а» и «р» отмечены соответственно утренние и послеполуденные витки. 2. Для азимутов сканирования, углов возвышения Солнца и азимутов направления на Солнце приведены диапазоны их изменения и средняя величина.

1.2. Алгоритмы дешифровки снимков

После проведения тестирования различных спутниковых алгоритмов автоматического обнаружения пожаров с помощью программ численного имитационного моделирования мы пришли к выводу, что для условий Томской области наиболее надежным из известных является разработанный в Центре космического мониторинга ИСЗФ СО РАН алгоритм [6], который прошел успешную апробацию при оперативном мониторинге пожаров на территории Иркутской области в 1997 г. Данный алгоритм был использован нами в качестве основного в 1998 г., а в течение всего сезона параллельно осуществлялось тестирование еще двух оригинальных алгоритмов автоматической дешифровки, предложенных сотрудниками ИОА СО РАН.

После завершения пожароопасного сезона 1998 г. была оценена эффективность этих алгоритмов на основе сравнения результатов дешифровки спутниковой информации с данными о пожарах, полученными от томских служб охраны лесов. Апробация алгоритма [6] для территории Томской области дала вполне удовлетворительные результаты и одновременно позволила определить условия, при которых он работает недостаточно надежно (например, в условиях полупрозрачной облачности, при обнаружении слабо-интенсивных очагов и при появлении солнечных бликов на водной поверхности рек и озер). Тестирование алгоритмов ИОА СО РАН позволило выбрать и усовершенствовать один из них для дальнейшей оперативной работы. В этом алгоритме были реализованы более корректный учет вклада солнечного излучения в инфракрасном канале № 3 прибора AVHRR (базовом для обнаружения очагов пожаров), учет искажающего влияния полупрозрачной облачности и повышена чувствительность к слабоинтенсивным очагам.

Проведенный в начале 1999 г. сравнительный анализ алгоритма ИОА СО РАН с методикой [6] подтвердил более высокую эффективность работы первого алгоритма. Для иллюстрации этого факта можно привести результаты анализа частоты наблюдения на снимках 1999 г. факелов на нефтяных и газовых месторождениях Томской области. Так, интенсивные факелы Лугининского месторождения обнаруживаются с помощью алгоритма [6] на 36–38% снимков, а для алгоритма ИОА СО РАН этот результат увеличивается на 5–6%. Более заметная разница между ними наблюдается в случае менее интенсивных факелов, когда эффективность алгоритма ИОА выше, чем эффективность алгоритма [6], уже в 2,5–3,5 раза. Еще одной его особенностью стала более высокая надежность при автоматической отбраковке случаев проявления в канале № 3 ложных тревог за счет солнечных бликов. Если учитывать большое количество рек и водоемов на территории Томской области, то такая характеристика алгоритма очень важна.

Таким образом, анализ полученных в 1998–1999 гг. результатов позволил нам в дальнейшем использовать следующую схему космомониторинга очагов пожаров:

- 1) в качестве основного применять алгоритм ИОА СО РАН;
- 2) в качестве дублирующего – алгоритм ИСЗФ СО РАН;
- 3) совпадающим для обоих алгоритмов потенциальным очагам присваивается название тип 2, соответст-

вующий более высокой степени достоверности результатов космомониторинга;

4) для высокотемпературных аномалий, обнаруженных только одним алгоритмом, оператор проводит в их окрестности визуальный анализ снимка в различных каналах AVHRR и количественный анализ полученных значений альbedo и радиационных температур; в результате оператор либо подтверждает наличие потенциального очага пожара (присваивается тип 1), либо осуществляет отбраковку ложной тревоги;

5) стационарные промышленные высокотемпературные объекты автоматически исключаются из списка потенциальных очагов.

1.3. Формы представления результатов дешифровки снимков

После осуществления автоматической дешифровки спутниковых данных оператор, пользуясь вспомогательными компьютерными программами, создает для каждого снимка два файла, которые содержат результаты дистанционного мониторинга пожаров.

Первый файл имеет текстовый формат и назван протоколом мониторинга. Пример такого файла приведен в табл. 2.

Протокол содержит следующие данные:

- идентификатор (имя) протокола, дата и время его создания;
- тип спутника, дата и время приема снимка;
- количество плотной облачности, закрывающей территорию Томской области, которое определяется автоматически при помощи порогового алгоритма;
- количество потенциальных очагов пожаров;
- список очагов, включающий следующие их характеристики: 1) порядковый номер, 2) географические широта и долгота, 3) тип очага – количество алгоритмов, обнаруживших данный очаг (2 или 1), 4) площадь очага – количество «горячих» пикселей (количественное представление о пространственном масштабе пожара), 5) название ближайшего населенного пункта, удаление очага от него и азимут направления «населенный пункт → очаг» (используются данные электронной карты Томской области).

Второй файл имеет графический формат (например, BMP-файл) и образован на основе данных ИК-канала № 3. Это позволяет пользователю производить визуальный анализ пространственных характеристик высокотемпературных объектов и одновременно осуществлять оперативную оценку состояния облачности и наличия осадков в местах развития очагов пожаров, что дает возможность оптимизировать планирование службами охраны лесов необходимых противопожарных мероприятий. Пример такого файла приведен на рис. 2.

На полученное изображение наносится следующая информация:

- географическая координатная сетка, административная граница Томской области, контуры крупных рек и озер, некоторые крупные населенные пункты;
- ряд стационарных промышленных высокотемпературных объектов;
- потенциальные очаги пожаров, для которых обозначающие их символы имеют 2 цвета (красный или желтый на цветном изображении) в зависимости от количества алгоритмов, обнаруживших очаг.

Пример протокола с результатами космомониторинга пожаров в Томской области

Результаты космомониторинга лесных пожаров в Томской обл.
 (Институт оптики атмосферы СО РАН, лаб. РОС; г. Томск)
 Протокол No: 07051026 @ Составлен: 07/05/00 & T = 19:14:16
 Спутник: NOAA-12
 Дата снимка: 05.07.2000 г.
 Время снимка: 18 ч 26 мин.
 Программы дешифровки данных: С.В. Афонин, Ю.В. Гриднев
 Количество плотной облачности = 16,2 (%)
 Количество потенциальных очагов пожаров = 11

№ п/п	Широта	Долгота	Тип*	Площадь**	Населенный пункт	Расстояние до очага, км	Азимут населенный пункт – очаг пожара	Ранее***
1	59:43,9	80:14,3	1	2	Киевский	9,8	244,3	-/1
2	58:40,3	80:11,5	2	4	Б. Грива	28,4	186,3	2/1
3	58:28,7	76:49,6	2	19	Озерное	13,7	208,8	1/4
4	58: 7,1	77:50,0	2	8	Чарымово	42,1	173,7	3/6
5	58: 5,0	77:57,8	2	6	Чарымово	47,4	165,0	3/5
6	57:59,6	78:20,0	2	32	Лугинецкий	36,9	240,1	6/6
7	57:56,5	79:24,2	2	5	Мирное Озеро	36,6	47,2	3/4
8	57:53,1	78:31,2	2	13	Мирное Озеро	31,5	306,0	3/4
9	56:57,8	79:54,6	2	5	Чага	44,2	273,7	-/1
10	56:53,3	82:3,0	2	2	Б. Галка	5,9	133,5	-/1
11	56:38,5	81:4,0	2	1	Пироговка	19,4	227,4	-/1

* Количество алгоритмов, обнаруживших очаг (=2, 1). ** Количество пикселей, отражающее площадь пожара. *** Количество протоколов, в которых очаг был зафиксирован в течение предыдущих 24–48 ч/предыдущих 24 ч.

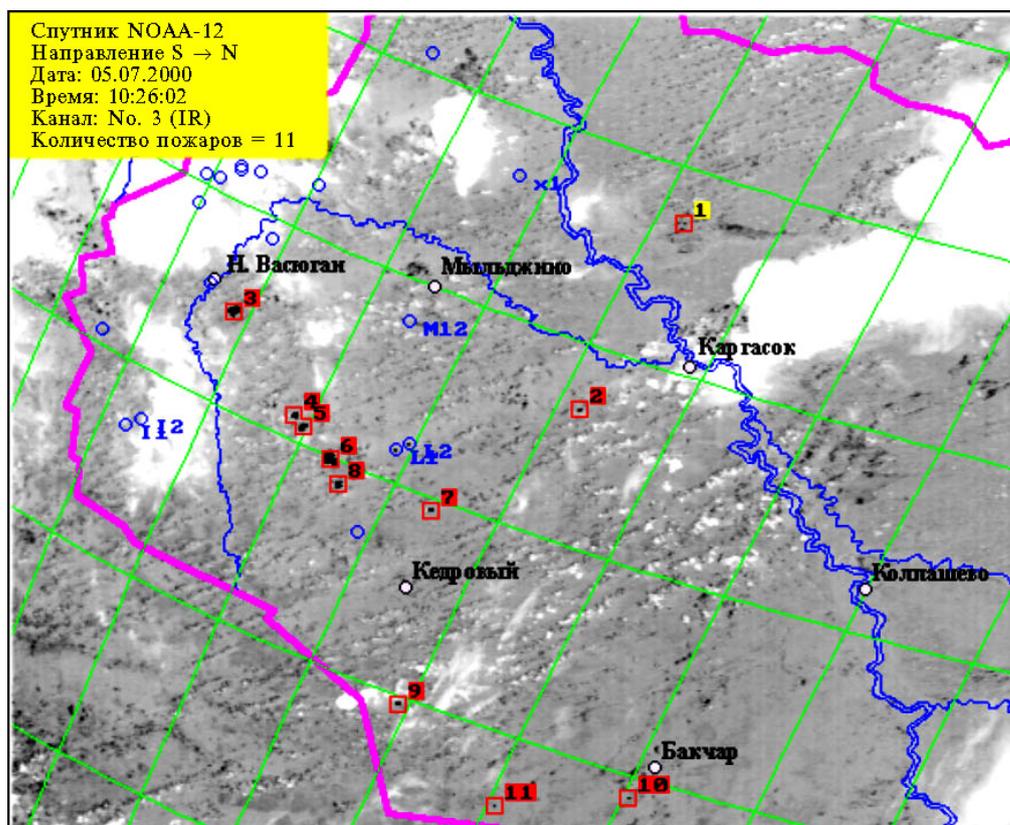


Рис. 2. Фрагмент BMP-файла с результатами космомониторинга пожаров в Томской области. Потенциальные очаги пожаров отмечены квадратиками и цифрами на темном (№ 2–11) или светлом (№ 1) фоне, в зависимости от типа очага. Стационарные промышленные высокотемпературные объекты выделены кружками (на цветном изображении выделенные объекты имеют различный цвет)

2. Проблемы проведения мониторинга

Не затрагивая сложной задачи повышения точности алгоритмов автоматического обнаружения со спутников малоразмерных высокотемпературных аномалий на подстилающей поверхности, остановимся на некоторых проблемах, влияющих на качество космомониторинга очагов лесных пожаров.

2.1. Проблема солнечных бликов

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод о возможности периодического появления на вечерних снимках, главным образом со спутника NOAA-12, солнечных бликов на водной поверхности крупных рек и озер (рис. 3), что может приводить к аномальному росту радиационной температуры в третьем канале AVHRR

(3,55–3,93 мкм) и возникновению значительного количества ложных тревог. При этом, как правило, в первых двух каналах прибора наблюдается заметный рост нормированных на спектральные значения солнечной постоянной интенсивностей восходящего излучения (альbedo) A_1 и A_2 ($A_1 > A_2$), что характерно для условий полупрозрачной облачности.

Сравнивая представленные на рис. 3 два изображения Томской области, полученные в третьем канале AVHRR с интервалом менее 1 ч, можно увидеть появление большого количества черных пикселей на поверхности рек Обь, Васюган, Вах и многочисленных озер, сопровождающееся аномально большим ростом радиационных температур (на величину порядка 30° и выше). В данном конкретном случае применение нами алгоритма [6] привело к появлению 63 ложных «очагов» общей площадью 336 пикселей.

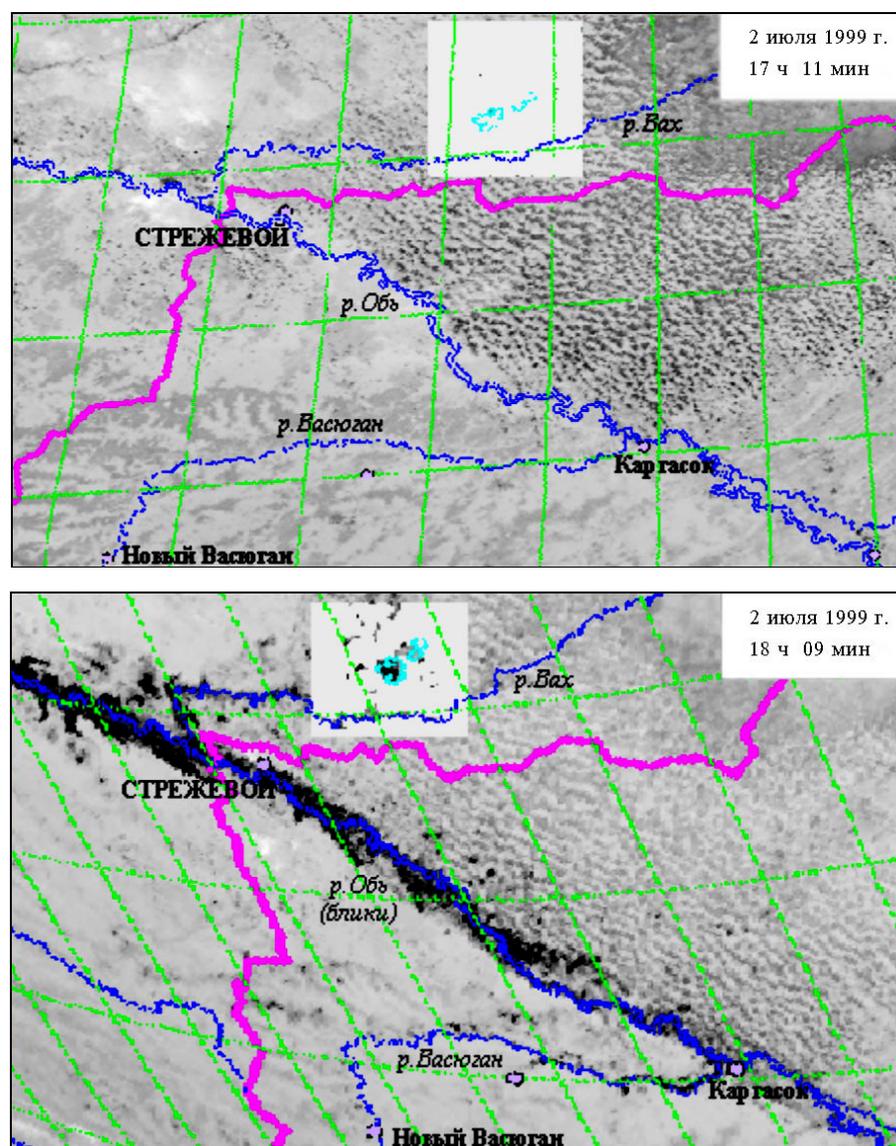


Рис. 3. Проявление в третьем канале AVHRR/NOAA солнечных бликов на поверхности рек и озер (Томская и Тюменская области)

В литературе фактически отсутствует описание способов, позволяющих в автоматическом режиме осуществ-

лять идентификацию и отбраковку подобных ложных «очагов». Казалось бы, для этих целей можно использовать

низкие пороговые значения альбедо $A1$ и $A2$, однако это приводит к ограничению области применения спутниковых алгоритмов случаями слабозамутненной атмосферы. В то же время этот прием не гарантирует успешной отбраковки ложных тревог для пикселей, включающих одновременно участок как земной, так и водной поверхности.

С другой стороны, попытка осуществить отбраковку ложных тревог только на основе известных геометрических условий формирования в поле зрения прибора солнечных бликов на водной поверхности будет сталкиваться с риском отбраковать реальный очаг пожара. Аналогичная проблема возникает при использовании для этих целей только гидрографических карт. С учетом всех обстоятельств в настоящий момент нами используется комплексный подход для решения проблемы борьбы с солнечными бликами, который включает:

- пространственный статистический анализ спутниковых данных;
- совместный анализ измеренных во всех каналах прибора величин с учетом геометрии наблюдений;
- сравнение координат потенциального очага пожара с гидрографическими данными электронной карты Томской области.

В качестве примера эффективности этих мер можно привести тот факт, что для приведенной на рис. 3 сложной ситуации наши алгоритмы полностью осуществили в автоматическом режиме отбраковку солнечных бликов.

2.2. Проблема географической привязки

При решении задачи раннего обнаружения мало-размерных очагов пожаров особое значение принимает проблема точности определения координат пожара, от которой зависит эффективность проведения службами охраны лесов противопожарных мероприятий. В период пожароопасных сезонов 1998–1999 гг. географическая привязка спутниковой информации осуществлялась с помощью общеизвестных расчетных алгоритмов на основе файлов с орбитальными данными типа

TLE-NORAD Two-Line Elements Set (TLE-файл), обновление которых оператор осуществляет 5 раз в неделю.

Таким образом, фактически были реализованы предельные возможности использования на практике расчетного метода геопривязки. По спутниковым снимкам 1999 г. нами был проведен анализ точности этого метода, результаты которого представлены на рис. 4 и позволяют сделать ряд выводов. Прежде всего, становится очевидной необходимость проведения дополнительной коррекции расчетной геопривязки, поскольку достаточно часто (рис. 4, *a*) возникают заметные смещения расчетных данных как вдоль, так и поперек траектории движения спутника. В среднем отклонение расчетного положения объекта от истинного превышает 4 км, что нельзя считать удовлетворительным уровнем точности определения координат очага пожара.

Другой вывод касается вопроса о зависимости точности расчета геопривязки от «возраста» TLE-файла, т.е. интервала между временем получения спутниковых и орбитальных данных. Анализ рис. 4, *б* позволяет убедиться в том, что такая зависимость (в пределах 6 сут) практически отсутствует и даже при «возрасте» TLE-файла менее 1 сут ошибки расчета геопривязки могут достигать 7–8 км. Таким образом, не удастся минимизировать погрешность расчетного метода только с помощью «свежих» орбитальных данных.

Для решения этой проблемы нами в 2000 г. разработаны алгоритмы и компьютерные программы интерактивной линейной коррекции расчетной геопривязки, основанной на использовании совокупности реперных точек и контурных гидрографических линий. Оценка эффективности этих программ проводилась на основе 740 спутниковых снимков 1999 г. Результаты работы показали, что в 95% ситуаций удастся осуществить коррекцию геопривязки, а 5% неудач связаны с высоким баллом облачности. При этом в большинстве ситуаций алгоритмы позволяют осуществлять автоматическую коррекцию без участия оператора. В настоящее время эти программы уже используются в оперативной работе и по нашим оценкам позволяют снизить погрешность геопривязки до уровня 1–2 км.

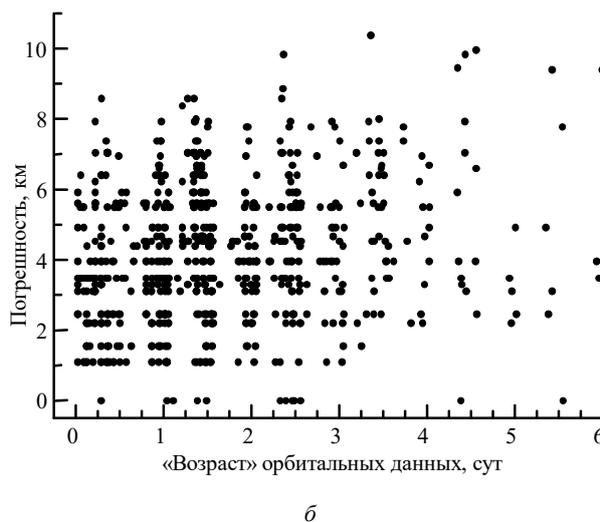
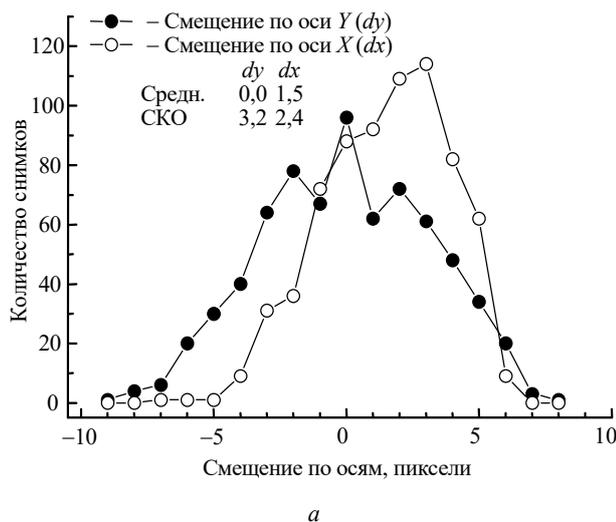


Рис. 4. Погрешность расчета географической привязки спутниковых данных – *a* (координатная ось X ориентирована с запада на восток вдоль направления сканирования, ось Y ориентирована с юга на север вдоль направления движения спутника); *б* – зависимость погрешности расчета географической привязки спутниковых данных от «возраста» орбитальных данных

2.3. Проблема достоверности результатов космомониторинга

При проведении анализа результатов дешифровки спутниковых снимков существует проблема повышения достоверности полученных данных о потенциальных очагах пожаров, которая до 2000 г. решалась нами фактически на основе совпадения результатов космомониторинга для двух независимых алгоритмов (что, конечно, не всегда гарантирует правильности решения). Особенно сложно решение этой проблемы в случае появления на снимках температурных аномалий относительно слабой интенсивности, которые обнаруживаются к тому же только одним алгоритмом.

Очевидным и наиболее простым способом повышения в такой ситуации достоверности результатов является проведение сравнительного анализа ближайших по времени снимков. Практика подобной работы в 1999 г. показала ее достаточно большую трудоемкость при визуальной обработке снимков, особенно в ситуации появления на снимках значительного количества подобных «подозрительных» объектов. В этой связи в 2000 г. (после создания алгоритмов геокоррекции) был разработан дополнительный блок в программе анализа результатов дешифровки снимков, который автоматически выполняет эту работу. Ее результаты отражаются в графе «Ранее» протокола мониторинга (см. табл. 2).

Приведенный в табл. 2 пример протокола космомониторинга содержит список потенциальных очагов пожаров, один из которых (№ 1) обнаружен только одним алгоритмом. В результате возникает описанная выше сложная ситуация, связанная с неоднозначностью классификации объекта № 1. Однако программа, проанализировав предыдущие по времени снимки, обнаружила аналогичную высокотемпературную аномалию еще на одном из снимков и позволила оператору с большей достоверностью внести объект № 1 в список потенциальных очагов.

В заключение статьи авторы работы выражают искреннюю признательность начальнику управления лесов Томской области А.Н. Мониному, главному лесничему Томской области А.В. Быкову, начальнику авиабазы охраны лесов Томской области К.А. Абашеву и его заместителю В.Н. Пирогову, д.ф.-м.н. В.В. Кошелеву (Институт солнечно-земной физики СО РАН), к.-ф.-м.н. А.И. Сухинину (Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН) за полезные советы и дискуссии. Авторы выражают благодарность сотрудникам ИОА Н.В. Кабановой, М.В. Энгель, к.т.н. К.Т. Протасову, В.П. Протасовой и А.Н. Алексееву за их участие в организации и проведении космомониторинга лесных пожаров на территории Томской области.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 00-05-72014.

1. Букчин М.А., Гершензон В.Е., Захаров М.Ю. и др. Возможность создания и перспективы использования недорогих станций приема данных со спутников серии NOAA в режиме HRPT // Исслед. Земли из космоса. 1992. № 6. С. 85–90.
2. Абушенко Н.А., Барташев С.А., Беляев А.И., Еришов Д.В., Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Минько Н.П., Назиров Р.Р., Семенов С.М., Тацилин С.А., Флитман Е.В., Щетинский В.Е. Опыт и перспективы организации оперативного спутникового мониторинга территории России в целях службы пожароохраны лесов // Исслед. Земли из космоса. 1998. № 3. С. 89–95.
3. Kaufman Y.J., Justice C. MODIS ATBD: Fire Products (Version 1.2.2 Feb.21 1994) // EOS ID#2741. March 10. 1994. 47 p.
4. Кондранин Т.В., Овчинникова Е.В. Моделирование эффективности алгоритмов распознавания из космоса тепловой аномалии типа лесного пожара // Исслед. Земли из космоса. 1995. № 6. С. 51–57.
5. Жеребцов Г.А., Кокуров В.Д., Кошелев В.В., Минько Н.П. Использование данных AVHRR с ИСЗ NOAA для обнаружения лесных пожаров // Исслед. Земли из космоса. 1995. № 5. С. 74–77.
6. Абушенко Н.А., Минько Н.П., Семенов С.М., Тацилин С.А., Татарников А.В. Разработка автоматизированного алгоритма обнаружения очагов пожаров по данным прибора AVHRR/NOAA для территории Восточной Сибири // Международная школа молодых ученых и специалистов «Физика окружающей среды»: Сб. трудов. Томск: Изд-во «Спектр», 1999. С. 46–49.
7. Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Минько Н.П., Семенов С.М., Тацилин С.А., Татарников А.В. Алгоритм обнаружения пожаров по многоспектральным данным прибора AVHRR // VI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана»: Тезисы докл. Томск: Изд-во «Спектр», 1999. С. 69.
8. Сухинин А.И. Система космического мониторинга лесных пожаров в Красноярском крае // Сибирский экологический журнал. 1996. Т. 3. № 1. С. 85–91.
9. Ромаско В.Ю., Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Послепожарная инвентаризация лесных территорий по спутниковым данным // Исслед. Земли из космоса. 1998. № 6. С. 99–103.
10. Сухинин А.И., Кахун Д.Р., Стокс Б.Дж. Дистанционное зондирование лесных пожаров в Сибири с использованием информации NOAA // Международная конференция «Пожары в лесу и на объектах лесохимического комплекса: возникновение, тушение и экологические последствия»: Тезисы докл. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1999. С. 123–125.
11. Sukhinin A.I., Kashkin V.B., Ponomarev E.I. Monitoring forest fire in Eastern Siberia from space // Sixth International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Proceedings of SPIE. V. 3983. 1999. P. 206–214.
12. Зув В.Е., Селиванов А.С., Фомин В.В., Панфилов А.С., Романов А.В., Афонин С.В., Хамарин В.И. Измерение температуры поверхности океана аппаратурой МСУ-СК со спутника «Космос-1689» // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. № 11. С. 76–80.
13. Афонин С.В., Панфилов А.С., Романов А.В., Селиванов А.С., Фомин В.В., Хамарин В.И. Подспутниковые эксперименты по контролю радиометрической точности ИК-каналов приборов МСУ-СК ИСЗ «Ресурс-01» N2 в период ЛКИ // Сб. трудов НПО «Планета». 1993. Вып. 42. С. 33–37.
14. Ignatov A.M., Stowe L.L., Sakerin S.M., Korataev G.K. Validation of the NOAA/NESDIS satellite aerosol product over the North Atlantic in 1989 // Journal of Geophysical Research. 1995. V. 100. N D3. P. 5123–5132.
15. Ignatov A., Stowe L., Singh R., Sakerin S., Kabanov D., Dergileva I. Validation of NOAA/AVHRR aerosol retrieval using sunphotometer measurements from R/V Akademik Vernadsky in 1991 // Adv. Space Res. 1995. V. 16. P. (10)95–10(98).
16. Зув В.Е., Белов В.В., Веретенников В.В. Теория систем в оптике дисперсных сред. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. 402 с.
17. Белов В.В., Афонин С.В., Макушкина И.Ю. Перенос ИК-изображений через атмосферу // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 4. С. 449–462.
18. Белов В.В., Афонин С.В., Гриднев Ю.В., Протасов К.Т. Тематическая обработка и атмосферная коррекция аэрокосмических изображений // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т. 12. № 10. С. 991–997.
19. Белов В.В., Афонин С.В., Гриднев Ю.В. Космомониторинг лесных пожаров на территории Томской области // Научно-практическая конференция «Совершенствование защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера»: Тезисы докл. Новосибирск, 1999. С. 135.
20. Белов В.В., Афонин С.В., Гриднев Ю.В. Обнаружение и мониторинг лесных пожаров на территории Томской области в 1998 г. на основе прибора AVHRR // Международная конференция «Пожары в лесу и на объектах лесохимического комплекса: возникновение, тушение и экологические последствия»: Тезисы докл. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1999. С. 20.

21. *Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В.* Результаты космомониторинга лесных пожаров на территории Томской области в 1998 году // VI Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана»: Тезисы докл. Томск: изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 1999. С. 72.
22. *Белов В.В., Афонин С.В., Гриднев Ю.В.* Дистанционное зондирование со спутников NOAA высокотемпературных объектов на подстилающей поверхности: возможности, проблемы и результаты // VII Международный симпозиум «Оптика атмосферы и океана»: Тезисы докл. Томск: изд-во «Спектр» ИОА СО РАН, 2000. С. 77.
23. *Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В.* Проблемы и возможности обнаружения малоразмерных очагов пожаров со спутников NOAA // Международная конференция «Сопряженные задачи механики и экологии»: Тезисы докл. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 29.

S.V. Afonin, V.V. Belov, Yu.V. Gridnev. **The system of space monitoring of forest fires on the territory of Tomsk region. Part I. Organizing aspects of the space monitoring system.**

Some organizing problems of space monitoring of forest fire sites on the territory of Tomsk region are discussed in detail. The monitoring is conducted, starting in 1998 on the basis of the Center of receiving and processing the NOAA space information, organized at the Institute of Atmospheric Optics, SB RAS.