

**В.В. Белов, С.В. Афонин, Ю.В. Гриднев, К.Т. Протасов**

## **ТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И АТМОСФЕРНАЯ КОРРЕКЦИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 9.07.99 г.

Дается краткий обзор, приводятся некоторые результаты исследований, выполненных в Институте оптики атмосферы по проблемам тематического анализа и атмосферной коррекции аэрокосмических изображений земной поверхности, полученных в видимой и ИК-областях спектра.

### **Введение**

ГИС-технологии как мощное и удобное средство для хранения, преобразования и анализа информации об окружающей среде используют, как правило, в качестве базовых архивные (или накопленные в результате многолетних наблюдений) данные о ее состоянии. Изменения, происходящие с природными объектами, выявляются на основе сравнений базовых с оперативными данными о них. Если эти объекты относятся к категории глобальных (атмосфера, океан, леса планеты, береговая линия континентов, ледники как мировые запасы воды и т.д.), то единственными средствами оперативного контроля их характеристик в планетарном или региональном масштабах остаются аэрокосмические системы, причем значение спутниковых комплексов в этом процессе стремительно возрастает. Это обусловлено следующими обстоятельствами.

В последние десятилетия существенный прогресс достигнут в создании высокоэффективных оптико-электронных комплексов космического базирования, тенденция совершенствования которых связана [1] с повышением их разрешающей способности (пространственной, спектральной и т.п.). Высокий уровень их автоматизации и возможность съема информации в реальном масштабе времени в некоторых случаях позволяют этим средствам дистанционного мониторинга по точности количественных оценок характеристик окружающей среды приближаться к контактным методам контроля.

Другая причина стремительного расширения числа абонентов пока еще не организованной в единую федеральную систему сети космомониторинга связана с облегчением доступа к оперативной спутниковой информации. Для России и других стран СНГ это обеспечили Российское космическое агентство, Институт космических исследований РАН и фирма «СканЭкс», которая организовала производство и распространение относительно недорогих, компактных, управляемых с помощью персональных компьютеров с обычными характеристиками комплексов приема и предварительной обработки информации с метеоспутников NOAA (США) и спутников типа «Ресурс» (Россия).

Несмотря на то что спутниковые системы уже не одно десятилетие включены в национальные и международные программы исследований окружающей среды, в целом проблема достоверности интерпретации спутниковой информа-

ции по-прежнему остается открытой. Например, данные мониторинга атмосферы из космоса с помощью оптико-электронной техники дистанционного зондирования нередко носят иллюстративный или качественный характер. Что касается количественных оценок, то их практическая ценность часто остается невысокой из-за невозможности характеризовать их точность.

Хорошие количественные результаты дает зондирование температуры поверхностного слоя океана из космоса. Но это имеет отношение только к открытым водным пространствам. Для прибрежных зон спутниковые данные, как правило, не обрабатываются из-за отсутствия алгоритмов учета влияния суши на измеряемые величины.

### **Искажающее влияние атмосферы на спутниковые изображения земной поверхности**

Итак, любое изображение Земли из космоса представляет собой композицию изображений трех его составляющих: наблюдаемого участка земной поверхности, атмосферы над ним и компоненты, возникающей в результате взаимодействия оптического излучения с атмосферой и его отражения поверхностью. Например, в формировании спутникового ИК-изображения земной поверхности участвуют оптические потоки, излучаемые ею и атмосферой. Третья компонента возникает в результате рассеяния в атмосфере излучения, восходящего от наблюдаемой поверхности, и отражения ею падающих световых потоков. Иными словами, в любом аэрокосмическом изображении Земли присутствует информация об оптических свойствах земной поверхности и атмосферы. Поэтому задача разработчиков этих оптико-электронных систем состоит в поиске оптимальных оптических условий для минимизации влияния атмосферы на изображения, если система предназначена для исследования, наблюдения или мониторинга подстилающей поверхности или для усиления этого влияния, если объектом исследования или мониторинга становится сама атмосфера.

При решении практических задач часто не удается аппаратными средствами полностью исключить нежелательное влияние атмосферы на точность анализа или тематической обработки спутниковой информации. В этих случаях средства автоматической обработки изображений дополняются блоками их атмосферной коррекции. Основная

проблема атмосферной коррекции спутниковых изображений связана с неизвестностью, как правило, оптических условий в момент их формирования. Лидарное зондирование атмосферы из космоса открывает новые возможности для корректной интерпретации измерений, осуществляемых с помощью пассивных оптико-электронных приборов космического базирования. Это связано с тем, что они могут дать ту недостающую пока информацию об оптическом состоянии атмосферы в момент спутниковых наблюдений, которая и определяет возникающую неопределенность при интерпретации результатов наблюдения Земли из космоса.

Обратимся к двум наиболее ярким иллюстрациям искажающего влияния атмосферы на данные наблюдения земной поверхности из космоса, которое легко устранимо при знании (полученном, например, с помощью космического лидара) оптического состояния атмосферного канала в момент съемки.

Первая воспроизведена на рис. 1 [2]. На нем представлены результаты оценки влияния аэрозольной атмосферы на работу штатного алгоритма распознавания образов при тематической обработке многоканальной информации со спутника Landsat. На рисунке слева направо даны следующие фрагменты:

- 1) тест-объект (пруд, окруженный полем скошенной сои);
- 2) спектральные образы-портреты воды и поля сои в 4–7 каналах оптико-электронного прибора спутника Landsat;

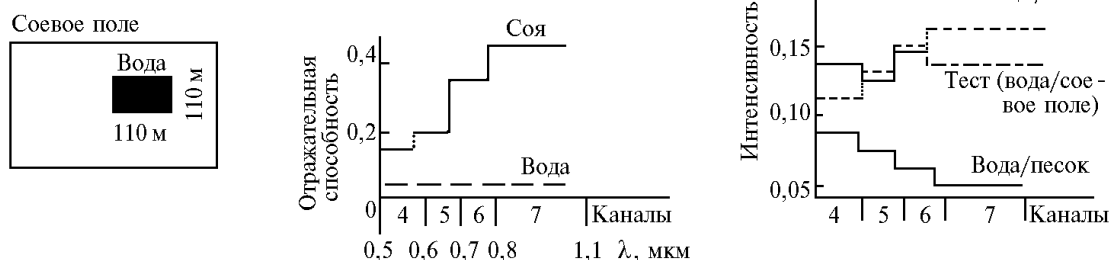


Рис. 1. Изменение спектрального образа и распознавание тест-участка земной поверхности при наблюдении его из космоса (4 оптических канала спутника Landsat) через аэрозольную атмосферу средней мутности

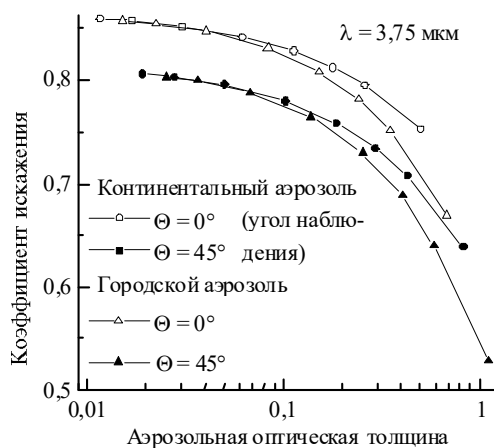


Рис. 2. Коэффициент искажения атмосферой линейного размера очага пожара

### Космомониторинг атмосферного аэрозоля по данным прибора AVHRR

Как известно, спутниковые методы являются эффективным средством оперативного дистанционного мониторинга

- 3) спектральные образы-портреты изображений:
  - тестового участка (штрихпунктирная линия);
  - пруда на фоне песчаной поверхности (сплошная кривая);
  - скошенного пшеничного поля на фоне песчаной поверхности.

Очевидно, что в данном случае атмосфера так трансформирует спектральные образы объектов наблюдения, что вода на фоне соевого поля воспринимается как поле скошенной пшеницы. Важно подчеркнуть, что этот результат соответствует средней замутненности безоблачной атмосферы. Рассмотренный пример имеет непосредственное отношение к проблемам аэрокосмического мониторинга состояния биосферы на земной поверхности, включая оценку состояния здоровья лесов и т.д.

Второй пример (рис. 2) взят из результатов исследований Института оптики атмосферы [3] по проблемам обнаружения малоразмерных тепловых аномалий при наблюдении Земли из космоса в ИК-диапазоне длин волн. На рис. 2 показано, что процессы рассеяния в атмосфере могут значительно исказить восстанавливаемые из космических изображений характеристики малоразмерных температурных аномалий (в частности, их размеров). Снятие этих искажений открывает перспективу раннего их обнаружения и, следовательно, повышения эффективности борьбы с такими стихийными бедствиями, как лесные пожары.

бальной информации о  $\tau_a$  для различных регионов мирового океана [5, 6]. В то же время недостаточно изучен вопрос о применимости подобных алгоритмов для мониторинга аэрозоля над поверхностью суши или внутренних водоемов, а также для решения задачи классификации типа аэрозоля. Спутниковые измерения в инфракрасной области спектра в дополнение к данным видимого диапазона, безусловно, расширяют возможности дистанционного мониторинга аэрозоля в дневное время суток и являются основой для обнаружения локальных аэрозольных образований в ночное время.

В Институте оптики атмосферы проводились исследования принципиальной возможности применения спутниковых измерений в инфракрасном диапазоне длин волн для обнаружения локальных участков повышенной аэрозольной замутненности приземного слоя атмосферы и классификации типа аэрозоля. С этой целью проведены численные эксперименты, имитирующие для условий лета средних широт ночные и дневные измерения интенсивностей (радиационных температур) восходящего теплового излучения в ИК-каналах радиометра AVHRR (3, 4, 5-й каналы соответственно 3,55–3,93; 10,3–11,3; 11,5–12,5 мкм) над однородной подстилающей поверхностью при различном содержании в приземном слое атмосферы аэрозоля различного происхождения (типы: rural, urban). При этом рассматривались две ситуации: а) «стандартные» для лета средних широт вертикальные профили метеопараметров и значения температуры подстилающей поверхности ( $T_n = 294$  К); б) «нестандартные» низкие значения  $T_n = 278$  К (имитация метеоусловий над поверхностью оз. Байкал).

В «стандартной» ситуации ИК-каналы радиометра AVHRR обладают низкой чувствительностью к вариациям оптических характеристик приземного аэрозоля. Так, максимальное изменение радиационных температур с ростом  $\tau_a$  не превышает для ИК-каналов 0,8–1,7 (3-й канал), 1,0–2,0 (4-й) и 0,7–1,2 К (5-й). Устанавливая пороговую величину 0,5 К для разности радиационных температур («чистый» – замутненный), можно обнаружить замутненный участок только в случае высокого содержания аэрозоля, соответствующего метеорологической дальности видимости  $S_m < 3–5$  км. Однако в случае низкого значения ТПП чувствительность ИК-каналов к вариациям  $\tau_a$  приземного аэрозоля значительно возрастает по сравнению со «стандартной» ситуацией. Данное обстоятельство связано с ростом в этом случае относительного вклада атмосферного аэрозоля в формирование восходящего потока теплового излучения. При этом максимальное изменение радиационных температур с ростом  $\tau_a$  достигает уже величин 4,5–6,0 (3-й канал), 2,2–3,0 (4-й канал), 1,5–2,3 К (5-й канал).

Таким образом, становится реальным обнаружение участков с уровнем замутненности  $S_m \approx 10–15$  км. Вместе с тем сравнение данных для континентального и городского аэрозолей указывает на их малое (менее 0,5 К) различие, что говорит о невозможности осуществления в ночное время классификации типа приземного аэрозоля с помощью спутниковых ИК-измерений.

При проведении дневных измерений в канале 3,55–3,93 мкм становится заметным вклад рассеянного аэрозолем солнечного излучения, что закономерно приводит к росту радиационных температур по сравнению с ночными измерениями. Однако при этом необходимо принимать во внимание тот факт, что рост аэрозольной оптической толщины будет одновременно уменьшать вклад собственного

теплового излучения системы «атмосфера – подстилающая поверхность».

Следовательно, результаты измерений и чувствительность канала к вариациям  $\tau_a$  будут определяться суммарным действием этих двух факторов в зависимости от высоты (зенитного угла) Солнца, типа аэрозоля и температуры подстилающей поверхности. Чувствительность будет максимальной для континентального аэрозоля и низкой температуры подстилающей поверхности: а) при «стандартной» ситуации в диапазоне зенитных углов от 15 до 60° максимальное изменение радиационной температуры, вызванное ростом  $\tau_a$ , составляет 0,9–3,3 К для континентального аэрозоля и всего 0,1–0,8 К для городского аэрозоля; б) в случае низкого значения  $T_n$  аналогичное изменение радиационной температуры достигает уже 6,7–10,6 К для континентального аэрозоля и всего 6,6–8,8 К для городского.

Итак, в определенных ситуациях чувствительность канала 3,55–3,93 мкм к вариациям  $\tau_a$  в дневное время может быть ниже, чем в ночное. В целом же использование этого ИК-канала днем расширяет по сравнению с ночными измерениями возможность обнаружения участков локальной замутненности. При высоте Солнца порядка 60° порог обнаружения в случае низкого значения  $T_n$  достигает уже значений  $S_m = 20–25$  км. Однако в стандартной ситуации для континентального аэрозоля он снижается до величины  $S_m = 5–8$  км и составляет 1–2 км для городского аэрозоля.

Решая задачу классификации типа аэрозоля, необходимо принимать во внимание зависимость результатов измерений в канале 3,55–3,93 мкм от высоты Солнца и азимута наблюдения. Следовательно, максимальный успех в решении данной задачи может быть достигнут при условии, когда области значений радиационных температур для различных типов аэрозоля не пересекаются. Результаты численных расчетов показали, что в случаях континентального и городского аэрозолей это условие выполняется для диапазона зенитных углов Солнца 15–60°. Возможность классификации типа аэрозоля, естественно, зависит от оптико-геометрических условий наблюдения. В целом, успешное решение этой задачи достигается при высокой степени замутненности атмосферы для значений  $S_m$  не более 10 км.

Описанные выше результаты теоретических исследований нашли подтверждение при анализе реальных ИК-изображений оз. Байкал и данных подспутникового эксперимента [7].

#### **Оценки эффективности спутниковых алгоритмов обнаружения очагов лесных пожаров по данным прибора AVHRR**

Возрастающая роль спутниковых систем при решении проблемы оперативного обнаружения очагов лесных пожаров требует дальнейшего повышения эффективности алгоритмов автоматической идентификации высокотемпературных аномалий.

В настоящее время для мониторинга лесных пожаров, как правило, используются данные пятиканального радиометра AVHRR (спутники NOAA). Это позволяет организовать оперативное наблюдение за пожароопасной обстановкой на обширных территориях несколько раз в сутки. Идентификация очагов пожаров часто осуществляется с помощью пороговых алгоритмов типа [8–10], которые базируются на сравнении совокупности фиксированных пороговых значений с измеряемыми характеристиками интенсивности восходящего излучения или их комбинациями. Проблема ат-

мосферной коррекции в этом случае сводится к выбору пороговых значений, учитывающих влияние атмосферы на регистрируемые потоки оптического излучения. Основными информативными признаками очагов пожаров в этих алгоритмах являются радиационная температура ( $T_3$ ) в третьем канале и разность температур ( $T_3 - T_4$ ) третьего и четвертого каналов. Другие комбинации измеряемых характеристик используются для идентификации атмосферных (облачных) бликов, что уменьшает количество ложных тревог.

Точность пороговых алгоритмов определяется оптическими и геометрическими условиями наблюдений, т.е. оптическими характеристиками атмосферы, ориентацией приемника в пространстве и направлением излучения Солнца. Для получения оценок влияния этих условий на эффективность алгоритмов обнаружения очагов пожаров был осуществлен сравнительный анализ четырех пороговых алгоритмов [8–10], примененных к модельным и реальным (лето 1998 г.) условиям наблюдения таежных массивов на территории Томской области. Модельные условия генерировались на основе модифицированной нами программы LOWTRAN-7, реальные воспроизводились из архивных записей за лето 1998 г.

Обозначим  $A_1, A_2$  – альбедо в 1-м – 2-м каналах;  $R_1 = A_1/\cos(Zen)$ ,  $R_2 = A_2/\cos(Zen)$ ,  $Zen$  – зенитный угол Солнца;  $T_3, T_4$  и  $T_5$  – радиационные температуры в 3–5-м каналах;  $dT_{34} = T_3 - T_4$ ;  $dT_{45} = T_4 - T_5$ ;  $dT_{3S} = T_3 - [T_4 + 3,303(T_4 - T_5)]$ . Опишем пороговые алгоритмы, приведенные в [8–10], с помощью введенных выше обозначений.

Алгоритм 1 [9] (используется в ЦКМ ИСЗФ СО РАН):

а) очаги пожаров ночью –  $A_1 < 1$ ,  $T_3 > 290$  К,  $T_4 > 265$ ,  $dT_{3S} > 4$ ;

б) крупные очаги пожаров днем для любых условий наблюдений –  $A_1 < 25$ ,  $T_3 > 320$  К,  $T_4 > 265$ ,  $dT_{3S} > 4$ ;

в) очаги пожаров днем при наличии тонкой облачности –  $A_1 < 10$ ,  $T_3 > 316$  К,  $dT_{3S} > 4$ ;

г) очаги пожаров днем в условиях безоблачной атмосферы –  $A_1 < 4$ ,  $T_3 > 306$  К,  $dT_{3S} > 4$ .

Алгоритм 2 [10] (предлагается фирмой «Скан-Экс»):

$R_1 < 20$ ,  $ABS(R_1 - R_2) > 2$ ,  $T_3 > 318$  К,  $dT_{34} > 10$ ,  $T_4 > 270$  К.

Алгоритм 3 [8]: Kaufman et al. (1990–1994):

$A_1 < 20$ ,  $T_3 > 315$  К,  $dT_{34} > 8$ ,  $T_4 > 265$  К.

Алгоритм 4 [8]: Franca et al. (1993):

$A_1 < 9$ ,  $T_3 > 320$  К,  $dT_{34} > 15$ ,  $0 < dT_{45} < 5$ ,  $T_4 > 287$  К.

Для оценки эффективности работы алгоритмов использовались официальные данные авиабазы охраны лесов Томской области о времени обнаружения и других характеристиках лесных пожаров. Некоторые результаты этого сравнения приведены в табл. 1, 2.

Анализ эффективности алгоритмов на модельных условиях наблюдения очагов пожаров приводит к следующим основным выводам:

1) в случае больших размеров пожара различия между результатами применения разных пороговых алгоритмов не имеют принципиального значения (исключением является алгоритм, предлагаемый [10]);

2) в абсолютном большинстве модельных ситуаций явным преимуществом обладает алгоритм, используемый ЦКМ ИСЗФ [8];

3) при изменении ориентации приемника эффективность алгоритмов существенно зависит от площади наблюдаемого пожара – при больших размерах оно малосущественно, однако при решении задачи раннего обнаруже-

ния малоразмерных очагов эффективность даже лучшего из рассмотренных алгоритмов изменяется на порядок и более в диапазоне углов сканирования  $0 - 45^\circ$ .

Результаты тестирования алгоритмов на реальных (архивных) данных подтверждают приведенные выше выводы. При этом выделим следующие моменты:

1) наибольшей эффективностью характеризуется алгоритм [9];

2) достаточно высокий уровень обнаружения очагов алгоритмом [8] (предложенным Ю. Кауфманом) сопровождается относительно высоким уровнем и ростом ложных тревог для ситуаций, наблюдавшихся, например, в июле;

3) корректировка оператором результатов работы алгоритма [8] за август 1998 г. показала, что именно этот вариант организации мониторинга лесных пожаров (оператор + алгоритм [9]) обеспечивает наиболее высокую вероятность раннего обнаружения лесных пожаров по данным прибора AVHRR;

4) минимальный порог чувствительности рассмотренных пороговых алгоритмов лежит в районе 0,2–0,4 га.

Таблица 1

Модельные ситуации. Сравнительный анализ пороговых алгоритмов

Алгоритм	Угол наблюдения, град				
	0	30	40	45	50
	Площадь пожара 10000 м <sup>2</sup>				
1	391/303	321/255	311/245	294/228	247/181
2	153/120	110/88	93/77	75/65	46/37
3	398/310	314/248	308/242	301/235	242/176
4	303/237	292/233	247/192	197/150	97/60
	Площадь пожара 400 м <sup>2</sup>				
1	242/176	107/78	35/21	22/13	12/3
2	93/63	–	–	–	–
3	198/132	11/5	–	–	–
4	160/97	–	–	–	–
Площадь, м <sup>2</sup>	Алгоритм [9]				
200	121/88	33/23	18/9	4/3	1/1
100	40/28	13/3	3/3	1/1	–
50	16/4	2/2	–	–	–

Примечание. Первая цифра в каждой графе соответствует общему количеству оптико-геометрических ситуаций, при которых с помощью алгоритма обнаружен пожар, вторая цифра – в том числе обнаруженных через облачные слои.

Таблица 2

Результаты натуральных испытаний спутниковых алгоритмов обнаружения очагов лесных пожаров

Алгоритм	Идентифицировано пикселей, %		Обнаружено пожаров		Обнаружено ранее	
	Июль	Август	Июль	Август	Июль	Август
Оператор	79,2	83,9	46(5)	67(8)	8(1)	38(3)
1	89,8	89,6	32(3)	47(3)	8(3)	19(1)
2	90,2	88,6	21(2)	31(2)	3(1)	8(0)
3	63,8	85,0	45(9)	46(3)	9(3)	12(0)
4	90,6	88,3	18(1)	29(2)	3(1)	8(0)

Примечание. В скобках указано количество пожаров с площадью менее 0,2 га.

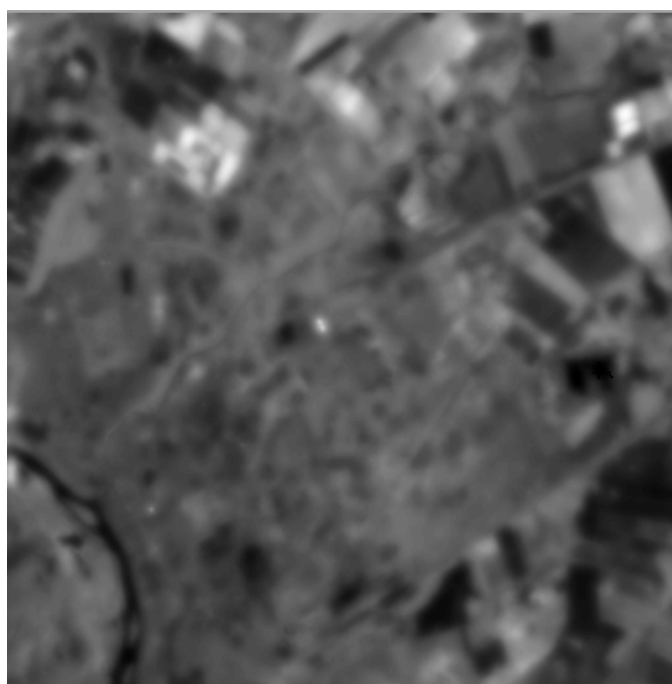
#### Восстановление изображений земной поверхности, искаженных рассеивающей атмосферой

При тематическом анализе аэрокосмических снимков подстилающей поверхности Земли алгоритмами ав-

томатической классификации и распознавания образов актуальна задача предварительной обработки изображений с целью устранения искажений, обусловленных аэрозолевой составляющей атмосферы (наличием дымки, полупрозрачных туманов, облаков). Сложность коррекции видеоданных заключается в том, что передаточный оператор атмосферы, определяемый ее импульсной реакцией или функцией рассеяния точки (ФРТ), неизвестен. Возникает задача оценивания или восстановления этой функции по информации, имеющейся в самом наблюдаемом изображении. Нами рассматривается задача адаптивного восстановления ФРТ по информации, извлекаемой из размытого изображения. Априорно предполагается, что на наблюдаемом фрагменте существуют «резкие» границы физических объектов земной поверхности. Таким образом, задача разбивается на следующие этапы ее решения [11, 12]:

- выделяется относительно стационарный участок изображения (стационарность понимается в том смысле, что ФРТ на этом участке не меняет свою форму);
- дифференцируется полученное изображение и строится гистограмма распределения градиентов;
- с учетом закона распределения экстремальных значений Гумбеля декомпозируется полученная гистограмма на два распределения, описывающих градиент и его отсутствие;
- после того как смесь идентифицирована, строится байесово решающее правило проверки двух гипотез:  $H_1$  – экстремумы градиентов и  $H_0$  – не градиенты;
- сканируются участки видеоданных, относящихся к классу  $H_1$ , и фиксируется степень их размытия;
- деконволюция изображения производится стандартным образом.

Пример реализации этой процедуры решения представлен на рис. 3.



*a*



*б*



Рис. 3. Изображение земной поверхности, полученное с помощью спутника «Ресурс»: *a* – замутненное; *б* – восстановленный фрагмент изображения

Общезвестны затруднения, возникающие при анализе видеоданных, полученных в ситуации, когда отдельные участки поверхности Земли закрыты полупрозрачной дымкой или облаками. Нами предложены два подхода решения задачи восстановления космических снимков подстилающей поверхности Земли (ППЗ), регистрируемых прибором AVHRR со спутника NOAA.

Подход, основанный на методе преобразования гистограмм, уместно использовать в тех случаях, когда наблюдаемое изображение подвержено искажающему влиянию полупрозрачного аэрозольного образования. Кроме того, известна гистограмма распределения яркостей этого или текстурно подобного участка видеоданных, полученная в условиях хорошей видимости. Предположим, что идеальные условия наблюдения некоторого участка поверхности Земли формируют распределение радиояркостей, описываемое гистограммой  $\hat{g}(y)$ , а влияние полупрозрачного тумана приводит к искажению гистограммы  $\hat{g}(y)$ , так что мы наблюдаем распределение яркости  $\hat{f}(y)$ . Для восстановления изображения строится преобразование  $y = T(x)$ ,  $x \in [0,1]$ , которое переводит распределение яркости  $\hat{f}(y)$  искаженного изображения в распределение  $\hat{g}(y)$ , описывающее ситуацию «лучших» условий видения, тем самым  $y = T(x)$  восстанавливает и замутненное изображение.

Другой подход восстановления видеоданных основан на использовании регрессионной зависимости. Для построения уравнения регрессии необходимо иметь минимально искаженный фрагмент изображения, который поточечно согласован с восстанавливаемым участком видеоданных. Кроме того, для адаптации уравнения к конкретным условиям наблюдений необходим участок неискаженных изображений по двум каналам одновременно. Для восстановления регрессионной зависимости в данном случае используются непараметрические методы статистики.

### Заключение

Приведенные примеры результатов исследований, связанных с проблемами тематической обработки и атмосферной коррекции аэрокосмических изображений, иллюстрируют основные направления, по которым они выполняются в Институте оптики атмосферы СО РАН. Им предшествовал, затем велся параллельно анализ влияния рассеивающих и поглощающих сред на процессы формирования и переноса изображений объектов в подобных средах. Результаты этих работ обобщены в [13].

Развитие исследований по проблемам обработки аэрокосмических многоспектральных изображений земной поверхности и атмосферы предполагается продолжать по следующим направлениям:

– атмосферная коррекция, т.е. создание алгоритмических средств, устраняющих атмосферную компоненту

в изображениях для их дальнейшей тематической обработки;

– построение адаптированных к существенному искажающему влиянию атмосферы алгоритмов тематического анализа изображений для решения таких, например, задач, как раннее обнаружение лесных пожаров через полупрозрачную или разорванную облачность и т.п.;

– построение теории и методов оценки оптического состояния атмосферы, ее состава и состояния по изображениям земной поверхности из космоса в оптическом диапазоне длин волн.

Авторы благодарят советника Президиума РАН, основателя Института оптики атмосферы СО РАН академика В.Е. Зуева за стимулирование и поддержку исследований в этом направлении и создание материальной базы (включая станцию «СканЭкс»), на основе которой их проведение стало возможным.

1. Жуков Б.С. Дистанционное зондирование с использованием комплексов приборов различного разрешения // Космический бюллетень. 1995. Т. 2. № 2. С. IV–VI.
2. Kaufman Y.J. Atmospheric effects on remote sensing of surface reflectance // SPIE. 1984. V. 475. Remote Sensing. P. 20–33.
3. Белов В.В., Афонин С.В., Макушкина И.Ю. Перенос ИК-изображений через атмосферу // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 4–5. С. 449–462.
4. Werbowetzi A. (editor). Atmospheric Sounding User's Guide // NOAA Technical Report NESS 83. U.S. Department of commerce National Oceanic and Atmospheric Administration. Washington, D.C. 1981. P. 83.
5. Rao C.R.N., Stowe L.L. and McClain E.P. Remote sensing of aerosols over the oceans using AVHRR data. Theory, practice and applications // Int. J. Remote Sensing. 1989. V. 10. № 4–5. P. 743–749.
6. Stowe L.L. Cloud and aerosol products at NOAA/NESDIS // Glob. and Planet. Change. 1991. V. 4. № 1–3. P. 25–32.
7. Белов В.В., Афонин С.В., Белан Б.Д. и др. Аэрозольное искажение спутниковых ИК-снимков поверхности озера Байкал // Тез. докладов III Межреспубликанского симпозиума «Оптика атмосферы и океана». Томск, 1996. С. 62–63.
8. Kaufman Y.J., Justice C. MODIS ATBD: Fire Products (Version 1.2.2 Feb.21 1994)//EOS ID#2741. March 10, 1994. 47 p.
9. Абушенко Н.А., Минько Н.П., Семенов С.М., Таццилин С.А., Татарников А.В. Разработка автоматизированного алгоритма обнаружения очагов пожаров по данным прибора AVHRR/NOAA для территории Восточной Сибири // Сб. трудов Международной школы молодых ученых и специалистов «Физика окружающей среды», Томск, 1999. С. 46–49.
10. ScanViewer (версия 3.40). Описание приложения предварительной обработки изображений для приемных станций ИТЦ «СканЭкс». Приложение А. С. А-13.
11. Белов В.В., Молчунов Н.В., Протасов К.Т. Восстановление космических снимков Земли с использованием картографической информации // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. № 7. С. 800–805.
12. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. М.: Мир, 1969. 369 с.
13. Зуев В.Е., Белов В.В., Веретенников В.В. Теория систем в оптике дисперсных сред. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 402 с.

*V.V. Belov, S.V. Afonin, Yu.V. Gridnev, K.T. Protasov. Thematic Processing and Atmospheric Correction of Space-born Images.*

Some results of researches, carried out in the Institute of Atmospheric Optics on the problems of thematic analysis and atmospheric correction of space-born images of the earth surface, obtained for the visible and IR spectral ranges are briefly reviewed.