

# Оптимизация состава спектральных коэффициентов базиса преобразования Адамара для решения задач установления соответствия изображений

В.А. Гришин

*Институт космических исследований РАН  
117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32  
E-mail: [vgrishin@iki.rssi.ru](mailto:vgrishin@iki.rssi.ru)*

Одним из наиболее критичных вопросов при разработке бортовых систем технического зрения, предназначенных для управления движением летательных аппаратов, являются алгоритмы установления соответствия изображений точек поверхности на различных кадрах. В рамках рассматриваемого спектрального представления образов окрестностей точек изложена методика и приведены результаты оптимизации состава используемых спектральных коэффициентов по критерию надежности установления соответствия.

## Введение

Для решения задач навигации и управления посадкой в беспилотных летательных аппаратах, в частности в рамках проекта “Фобос-грунт”, представляется целесообразным совместное использование радиотехнической системы обеспечения посадки с системой технического зрения (СТЗ), что позволяет существенно повысить устойчивость управления к отказам и точность измерения за счет комплексирования измерительных систем [1]. Одной из важнейших задач, решаемых в рамках подобных проектов, является разработка методов установления соответствия в стереопарах и парах изображений, получаемых в монокулярном режиме. В [2] показана перспективность использования спектрального представления образов окрестностей точек, для которых устанавливается соответствие. Для выбора используемых коэффициентов спектрального представления был использован энергетический критерий и связанный с ним критерий подобия критериальных функций установления соответствия. В данной работе для оптимизации состава используемых спектральных коэффициентов использован критерий вероятности правильного установления соответствия. Отбор производится с учетом вычислительной сложности процесса расчета спектральных коэффициентов.

## Методы уменьшения влияния проективных искажений на ошибки установления соответствия

В процессе установления соответствия изображений одних и тех же точек поверхности на стереопарах или на последовательностях изображений, снятых монокулярным датчиком, неизбежно возникают ошибки. В первом приближении ошибки установления соответствия можно разделить на две группы. Первая группа характеризуется законом распределения, который считается близким к нормальному закону. Вторая группа ошибок – это так называемые аномальные ошибки, которые характеризуются значительной величиной и порождаются ложными экстремумами критериальной функции соответствия.

Наиболее неприятны аномальные ошибки установления, т.к. они порождают значительные по величине ошибки оценивания измеряемых параметров. По этой причине в системах технического зрения используется целый комплекс мер, направленный, во-первых, на уменьшение вероятности возникновения таких ошибок, во-вторых – на селекцию аномальных ошибок и исключение их из процесса обработки. В частности, для уменьшения вероятности возникновения аномальных ошибок осуществляется предварительный отбор таких точек изображения, которые характеризуются

хорошими свойствами привязки. Разрабатываются также специальные методы установления, которые имеют повышенную устойчивость к заданным видам искажений.

В нашем случае наибольший интерес представляет устойчивость методов установления соответствия к проективным искажениям. Главной причиной ухудшения надежности процесса установления соответствия при наличии проективных искажений является нарушение когерентности спектральных компонент эталонного и сравниваемого фрагмента изображений. В большей степени это характерно для среднечастотных и высокочастотных компонентов спектров изображений на периферии сравниваемых фрагментов изображений. В качестве меры борьбы с этим явлением используется, например, адаптивная коррекция размеров сравниваемых фрагментов в зависимости от спектральных характеристик изображения визируемой поверхности. Другим решением является итерационная коррекция проективных искажений с помощью аффинных преобразований [3, 4]. Параметры аффинных преобразований определяются по величине критериальной функции установления соответствия или в более совершенных алгоритмах оцениваются по результатам измерения дальности и ориентации участков визируемой поверхности. Еще одним направлением является предварительная фильтрация сравниваемых фрагментов специальными фильтрами с переменной по площади амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристиками. Все эти методы отличаются значительной сложностью и малоприспособны для реализации на борту летательных аппаратов в реальном времени.

Использование спектрального представления с вложением носителей различных компонент спектра в сочетании с предварительным отбором таких точек изображения, которые характеризуются хорошими свойствами привязки, позволяет получить приемлемые характеристики устойчивости к проективным искажениям при не слишком больших вычислительных затратах [2, 5-7]. На рис. 1 приведено взаимное расположение носителей спектральных компонент. Из рисунка видно, что высокочастотные компоненты спектра определяются по окрестности минимального размера, что уменьшает их чувствительность к проективным искажениям. Среднечастотные компоненты, которые в меньшей степени подвержены влиянию этих искажений, рассчитываются по окрестности большего размера. И, наконец, низкочастотные компоненты, которые в наименьшей степени подвержены влиянию этих искажений, определяются по окрестности максимального размера.

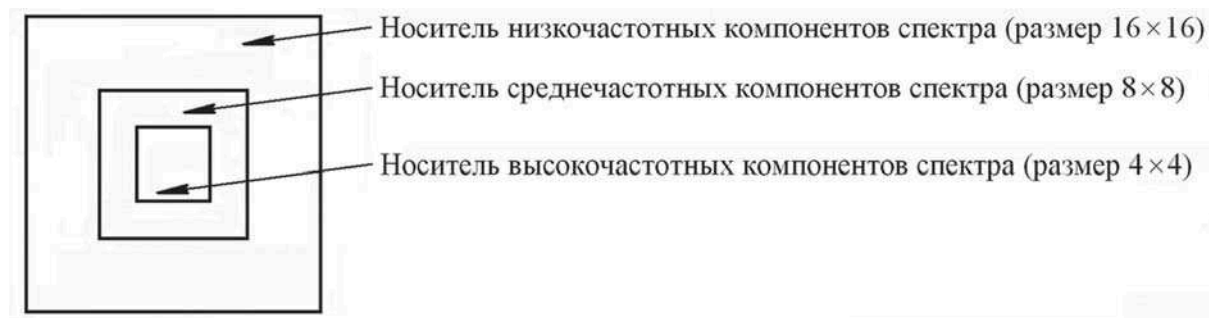


Рис. 1. Вложение носителей пространственных частот

### Методика отбора коэффициентов для представления образов окрестностей

Очевидно, что отбор такого множества коэффициентов, которое позволяет с одной стороны надежно решать задачу установления соответствия, с другой стороны количество этих коэффициентов не должно быть слишком большим, чтобы вычислительные затраты на их определение были бы не слишком велики, является достаточно сложной задачей. Сложность задачи еще более возрастает с учетом значительных вариаций изображений поверхностей, с которыми должна надежно работать система технического зрения. Следует отметить, что для установления соответствия может использоваться значительно меньше коэффициентов, чем необходимо для представления изображения. В

случае установления соответствия фактически стоит задача, весьма близкая к задаче построения пространства признаков минимальной размерности, необходимого для надежного распознавания.

В работе [2] использовано два подхода для выбора множества наиболее информативных спектральных коэффициентов преобразования Адамара (иногда также называемого преобразованием Уолша-Адамара [8-10]). Во-первых, использовался энергетический критерий. Это значит, что отброшенные спектральные коэффициенты должны содержать малую часть энергии изображения фрагментов. Во-вторых, использовался критерий сходства (подобия) критериальной функции установления соответствия фрагментов изображений с критериальной функцией установления соответствия в спектральной области по ограниченному набору коэффициентов. Форма критериальной функции в области экстремума оказывает определяющее влияние на точность установления соответствия, а наличие, расположение и амплитуда локальных экстремумов оказывает определяющее влияние на вероятность появления аномальных ошибок установления соответствия. По результатам экспериментов были выбраны 12 коэффициентов (по 4 коэффициента для каждой окрестности).

Оба указанных подхода представляются вполне разумными, однако наибольший интерес представляет все-таки конечный показатель, а именно вероятность аномальных ошибок установления соответствия. Для определения этой вероятности было разработано специальное программное обеспечение, структура которого представлена на рис. 2.



Рис. 2. Структура программного обеспечения, предназначенного для определения статистических характеристик процесса установления соответствия

Программа осуществляет ввод двух изображений, выполняет на одном из них поиск особенностей (точек привязки), затем осуществляет установление соответствие с точками другого изображения и формирует таблицу соответствия. Полученная таблица подвергается верификации, алгоритм которой основан на "обратном поиске". Соответствие считается неправильным, если разница между прямым и обратным поиском превышает 2 пикселя по любой координате или 1 пиксель по обеим координатам с учетом ошибок процесса верификации. Результаты подвергаются статистической обработке.

### Результаты экспериментов

В качестве наиболее сложного случая рассмотрен процесс установления соответствия для монокулярного режима. В этом режиме не используются эпиполярные ограничения (характерные для стереоскопического режима), поэтому область поиска в процессе установления соответствия существенно расширяется, что влечет за собой существенное повышение вероятности ошибок установления соответствия.

Для экспериментов использованы два последних изображения для монокулярного режима, снятые с минимального расстояния (рис. 3) на натурном стенде ИКИ. Для этой последовательной пары искажения из-за масштабирования достигают максимальной величины. Максимальны также и проективные искажения.

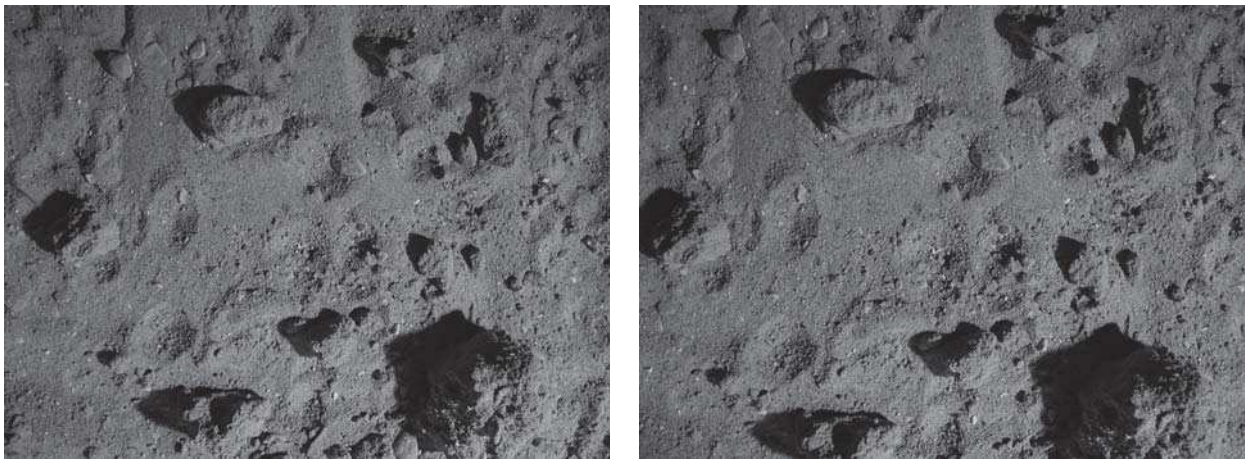


Рис. 3. Изображения двух последовательных кадров (35-0 – слева, 30-0 – справа)

В процессе эксперимента на предшествующем изображении (левом) выделялось множество точек, имеющих хорошие свойства привязки (для данной пары – 256 точек). Затем производился поиск соответствия на правом изображении по окрестности, состоящей из 28900 точек. После этого производилась верификация установленного соответствия, и определялось количество точек, для которых соответствие установлено неправильно. Затем определялись оценки вероятности неправильного установления соответствия и оценки вероятности неправильного установления соответствия на одно испытание. Первая серия экспериментов была проведена с целью определить, какие коэффициенты преобразования Адамара наиболее существенны для решения задачи установления соответствия. Было проведено большое количество расчетов для различных наборов коэффициентов преобразования. При этом последовательно исключались коэффициенты, начиная с самых высокочастотных по трем окрестностям 16 16, 8 8, 4 4 пикселей. Ошибки установления соответствия отсутствовали, даже когда из каждой окрестности использовалось только по 3 3=9 коэффициентов. Для сравнения был сделан расчет для 4 используемых коэффициентов для каждой окрестности, как это было получено в [2]. В этом случае ошибки установления соответствия имели место – см. табл. 1.

В таблице на рисунках серым цветом выделены ячейки, соответствующие тем коэффициентам, которые используются. Залитые белым цветом ячейки соответствуют тем коэффициентам, которые отбрасываются. Ячейки, находящиеся в левом нижнем углу, соответствуют коэффициенту с индексом (0,0), т.е. постоянной составляющей яркости. Базисные функции преобразования Адамара упорядочены по секвенте. Таким образом, оптимальный набор коэффициентов следует искать между этими двумя случаями.

Таблица 1.

Число ошибок	Доля ошибочно установленных соответствий	Вероятность ошибочного установления соответствия на одно испытание	Число ошибок	Доля ошибочно установленных соответствий	Вероятность ошибочного установления соответствия на одно испытание
0	.0000	.000E+00	19	.0742	.257E-05

Следует пояснить содержание понятия вероятности ошибочного установления соответствия на одно испытание. Дело в том, что вероятность ошибочного установления соответствия существенно зависит от

размеров области, в которой производился поиск соответствия. Для получения показателя, который должен характеризовать качество представления образа окрестности точки, производится нормировка количества ошибок на число относительных сдвигов изображений, использованных при поиске соответствия.

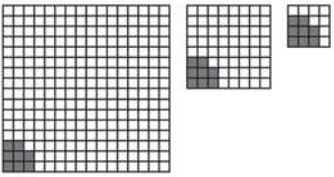
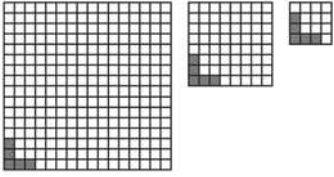
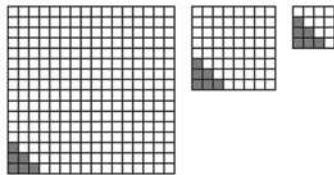
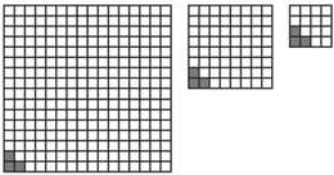
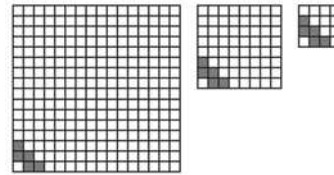
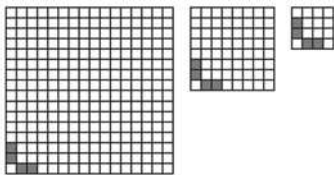
Сравнительно успешное установление соответствия при малом количестве используемых коэффициентов обусловлено тем, что выбор точек для поиска и установления соответствия осуществляется таким образом, чтобы обеспечить наилучшие условия для установления соответствия.

Вторая серия экспериментов была направлена на определение, какие коэффициенты внутри окрестностей  $3 \times 3$  оказывает наиболее существенное влияние на надежность установления соответствия. Результаты этих экспериментов представлены в табл. 2. Из анализа таблицы следует, что минимальный набор включает в себя по шесть коэффициентов - (0,0), (0,1), (0,2), (1,0), (1,1), (2,0) для каждой окрестности. Данный набор отличается от набора, предложенного в [2] наличием двух дополнительных коэффициентов для каждой окрестности, а именно, коэффициентами (0,0) и (1,1).

Рассмотрим более детально влияние этих коэффициентов на большем количестве пар изображений (на 7 парах кадров). На рис. 4 приведены еще два изображения из этой последовательности. В табл. 3 приведены результаты расчетов.

Из таблицы следует, что на расширенном наборе изображений появились ошибки установления соответствия и для набора коэффициентов (0,0), (0,1), (0,2), (1,0), (1,1), (2,0) (пары изображений 50-0 - 45-0, 45-0 - 40-0 и 40-0 - 35-0). На величину ошибок существенно большее влияние оказывает использование коэффициента (0,0), нежели чем коэффициента (1,1). Исходя из условия ограниченности вычислительной мощности бортового процессора, целесообразно выбрать указанный набор коэффициентов (0,0), (0,1), (0,2), (1,0), (1,1), (2,0) с учетом того, что вероятность ошибочного установления соответствия невелика (менее 0.014) и в алгоритмах предусматриваются специальные меры по селекции аномальных измерений.

Таблица 2.

<i>Число ошибок</i>	<i>Доля ошибочно установленных соответствий</i>	<i>Вероятность ошибочного установления соответствия на одно испытание</i>	<i>Число ошибок</i>	<i>Доля ошибочно установленных соответствий</i>	<i>Вероятность ошибочного установления соответствия на одно испытание</i>
0	.0000	.000E+00	6	.0234	.811E-06
					
0	.0000	.000E+00	40	.1563	.541E-05
					
2	.0078	.270E-06	19	.0742	.257E-05
					

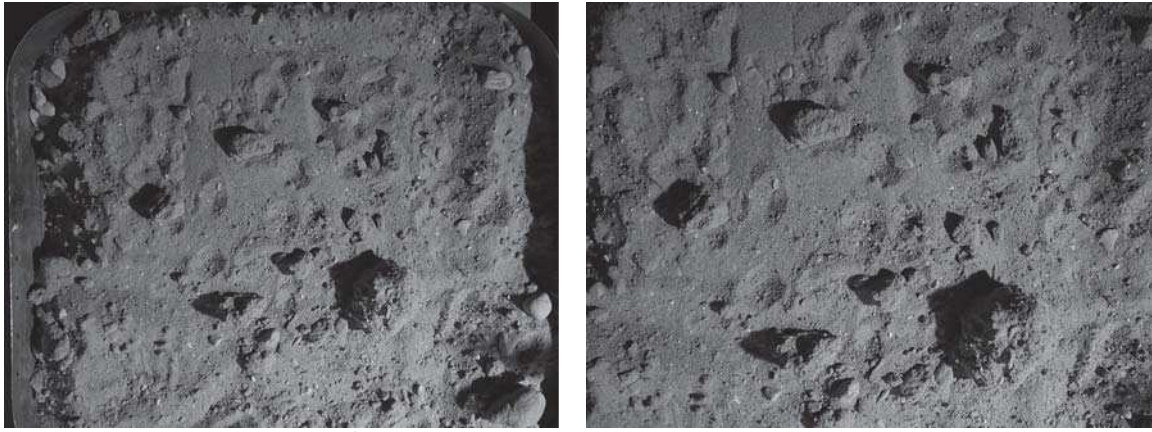


Рис. 4. Изображения двух кадров (65-0 – слева, 45-0 – справа)

Таблица 3.

<i>Использованные коэффициенты</i>	<i>Пары изображений</i>	<i>Число ошибок</i>	<i>Доля ошибочно установленных соответствий</i>	<i>Вероятность ошибочного установления соответствия на одно испытание</i>
	65-0 - 60-0	0	0	0
	60-0 - 55-0	0	0	0
	55-0 - 50-0	0	0	0
	50-0 - 45-0	4	.0138	.961E-06
	45-0 - 40-0	1	.0035	.205E-06
	40-0 - 35-0	1	.0039	.174E-06
	35-0 - 30-0	0	.0000	0
	65-0 - 60-0	1	.0031	.381E-06
	60-0 - 55-0	3	.0104	.104E-05
	55-0 - 50-0	1	.0035	.286E-06
	50-0 - 45-0	6	.0208	.144E-05
	45-0 - 40-0	8	.0277	.164E-05
	40-0 - 35-0	9	.0352	.156E-05
	35-0 - 30-0	2	.0078	.270E-06
	65-0 - 60-0	1	.0031	.381E-06
	60-0 - 55-0	0	0	.000E+00
	55-0 - 50-0	0	0	.000E+00
	50-0 - 45-0	14	.0484	.336E-05
	45-0 - 40-0	4	.0138	.819E-06
	40-0 - 35-0	8	.0313	.139E-05
	35-0 - 30-0	6	.0234	.811E-06
	65-0 - 60-0	6	.0185	.229E-05
	60-0 - 55-0	6	.0208	.208E-05
	55-0 - 50-0	7	.0242	.200E-05
	50-0 - 45-0	23	.0796	.553E-05
	45-0 - 40-0	16	.0554	.328E-05
	40-0 - 35-0	24	.0938	.417E-05
	35-0 - 30-0	19	.0742	.257E-05

Все дальнейшие эксперименты проводились для этого набора коэффициентов. Для оценки степени влияния каждой из вложенных окрестностей была проведена серия экспериментов с использованием семи пар изображений. Анализ результатов показал, что наибольший вклад в надежность установления соответствия вносят окрестности 16 16 и 8 8. Окрестность 4 4 влияет в значительно меньшей степени, однако отказ от её использования увеличивает количество ошибок

примерно в 3 раза. Влияние этой окрестности должно увеличиваться при росте искажений масштаба и при обработке изображений с малым уровнем низких частот.

Для более точной оценки степени влияния спектральных коэффициентов, рассчитанных по окрестностям разного размера, была проведена серия экспериментов, в которой были введены весовые множители для спектральных коэффициентов, которые учитываются в целевой функции соответствия ( $W_1$  для окрестности 16x16,  $W_2$  для окрестности 8x8 и  $W_3$  для окрестности 4x4). Три весовых коэффициента принимали значения из множества {1.0, 2.0, 4.0}. Иными словами, были опробованы различные виды низкочастотной, высокочастотной и полосовой фильтрации изображений. Эксперименты показали, что минимальное количество ошибок дают два набора коэффициентов, а именно  $W_1=1.0, W_2=1.0, W_3=1.0$  и  $W_1=2.0, W_2=2.0, W_3=1.0$ . Так как при поиске максимума умножение на константу не изменит результата, то второй набор можно записать как:  $W_1=1.0, W_2=1.0, W_3=0.5$ . Таким образом, и здесь выявлена меньшая роль верхних частот в процессах установления соответствия.

Сравнивались две функции соответствия: модуль разности коэффициентов и квадрат разности коэффициентов. Функция соответствия модуль разности показала себя несколько лучше в случае различий изображений по яркости или контрастности, квадрат разности показал себя несколько лучше в случае проективных искажений. Было принято решение оставить модуль разности коэффициентов как более робастную функцию соответствия.

### Выводы

На использованном наборе изображений вполне приемлемые характеристики показал набор коэффициентов (0,0), (0,1), (0,2), (1,0), (1,1), (2,0) по каждой из окрестностей. Указанный набор является компромиссом между качеством работы алгоритмов установления соответствия и их вычислительной сложностью.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 06-08-01497-а.

### Литература

1. Гришин В.А. Системы технического зрения в решении задач навигации и терминального управления // Космическое приборостроение. Сборник докладов выездного семинара. Россия. Таруса. 7-9 июня 2006 г. Москва. Институт космических исследований. Российская академия наук. 2007. С. 96-113.
2. Гришин В.А., Книжный И.М., Хрекин К.Е. Алгоритмы установления соответствия при обработке изображений для решения задач управления посадкой летательных аппаратов // Сборник научных статей "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". М: ООО «Азбука-2000», 2007. Выпуск 4. Т. 1. С. 25-32.
3. Daniel Scharstein, Richard Szeliski. A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms // International Journal of Computer Vision, 2002, vol. 47, No. 1/2/3, P. 7-42.
4. Myron Z. Brown, Darius Burschka, Gregory D. Hager. Advances in Computational Stereo // IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, vol. 25, No. 8, P. 993-1008.
5. Bhattacharya P. Automatic Target Recognition, Wavelet Transforms and Stereo Matching // BDMO Grant F49620-98-1-0413. Technical report number: AFRL-SR-BL-TR-02-0097. Nebraska Univ.-Lincoln. Dept. of Computer Science and Engineering, 2001.
6. Блаттер К. Вейвлет-анализ. Основы теории. М.: Техносфера, 2004. 280 с.
7. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
8. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений. Под ред. Зубарева Ю. Б. и Дворковича В. П. М.: Международный Центр научной и технической информации, 1997. 212 с.
9. Залманзон Л.А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1989. 496 с.
10. Трахтман А.М. Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов. М.: Советское радио, 1972. 352 с.

# Корреляция динамики снеготаяния и содержания пылевых веществ в снегу вокруг г. Омска

А.В. Дмитриев, В.В. Дмитриев

*Омский государственный педагогический университет*

*644099, Омск, Тухачевского, 14*

*E-mail: [vdmitriev@omgpu.edu](mailto:vdmitriev@omgpu.edu), [ftsoft@yandex.ru](mailto:ftsoft@yandex.ru)*

Работа посвящена исследованию влияния пылевых и сажевых загрязнений на процесс снеготаяния. Была исследована корреляция динамики снеготаяния и содержания пылевых веществ в снегу вокруг г. Омска по материалам зимне-весеннего сезона 2007 года. Динамика таяния снега характеризовалась следующими параметрами: датой начала, скоростью таяния и пороговыми значениями альbedo снежного покрова. Заметна количественная связь между интенсивностью снеготаяния и содержанием примесей в снегу.

## Введение

Динамика снеготаяния является индикатором, как климатических процессов, так и зон промышленного загрязнения пылевыми и сажевыми выбросами. В предыдущих работах [1-3] была отмечена зависимость характеристик снеготаяния от наличия заметного загрязнения, накопленного за зимний период. Кроме того, была прослежена (на качественном уровне) зависимость динамики снеготаяния от метеорологических условий.

В данной работе ставилась задача связать параметры процесса снеготаяния с численными значениями аэрозольного загрязнения на местности. В качестве параметра, определяющего степень загрязнённости, была выбрана массовая доля примесей в снегу к моменту, предшествующему снеготаянию. Для определения массовой доли примесей было произведено взятие проб снега на местности в окрестностях г. Омск. Кроме того, ставилась задача найти критерии, максимально устраняющие субъективность при определении параметров снеготаяния и поддающиеся алгоритмизации. Последнее весьма существенно, если учесть, что конечной целью является разработка автоматизированных процедур для определения уровня загрязнений.

В работе использованы данные ДЗЗ, полученные радиометром MODIS спутников TERRA и Aqua и радиометром AVHRR со спутников NOAA за весенний сезон 2007 г. Материалы радиометра MODIS были представлены поднебными продуктами MOD09.

Выделение снежного покрова на спутниковых изображениях производилось по данным 1 и 7 каналов радиометра MODIS и 1 и 3 канала радиометра AVHRR. Для данных AVHRR использовался нормированный дифференциальный снежный индекс (NDSI), составленный на основе 1 и 3 каналов [2]. Проверка правильности выделения контролировалась по наземным данным.

Для получения объективных численных характеристик процесса снеготаяния было решено проследить динамику яркостных характеристик снега от времени, усреднённую по участкам. Были выбраны 13 участков на различных расстояниях от центра г. Омска. Данные участки были выбраны таким образом, чтобы отразить влияние загрязнения на процесс снеготаяния. Для этого, первые 9 участков были выбраны на примерно равном расстоянии на разных направлениях от города, один участок был расположен в направлении преобладающих зимних ветров от города, два участка были выбраны в парковых зонах города, и один участок был взят на большем удалении от города в качестве слабозагрязнённого. Кроме того, для окрестностей г Омска прослеживался также изменения контура вытаявания в период схода снежного покрова.

Алгоритм выполнения работы состоял из следующих шагов:

- 1) Выбор зон для анализа яркости снежного покрова. Зоны подбирались из следующих сооб-



ражений: они должны быть равнинными, практически безлесными и не включать промышленные, жилые и транспортные зоны.

2) Взятие проб снега в различных точках г. Омска и его окрестностях и определение массовой доли примесей в снегу. По полученным данным построено распределение содержания примесей в снегу для изучаемых зон.

3) Используя данные исследований предыдущих годов, был проведён подбор спектрального канала или индекса, наиболее адекватно отражающего процесс снеготаяния [4-6]. В качестве наблюдаемого признака использовалась яркость в 1 канале данных MODIS, соответствующая показателю отражения в диапазоне длин волн 620 – 670 нм.

4) Построение ожидаемого контура вытаявания на весну 2007 г по розе ветров за зимний период. Далее этот предсказанный контур вытаявания сравнивался с реальным, получаемым по спутниковым данным.

5) Построение контуров вытаявания, соответствующих последовательным дням и определение альбедо снега на различные даты периода снеготаяния.

6) Построение карт распределения температуры с использованием архива погодных данных по Омской области на рассматриваемый промежуток времени, для учёта возможных различий метеословий между зонами.

7) Исключение непригодных для работы данных оказалось относительно легко автоматизируемым, и было совмещено с операцией подсчёта статистики по зонам в служебную утилиту. При этом, на подневных данных MODIS непригодными для работы считались участки, обеспеченные точками менее, чем на 75%.

8) Построение временной зависимости значений яркостных характеристик и соотнесение с погодными параметрами для учёта влияния метеословий на ход снеготаяния.

9) Подбор аппроксимирующей кривой для наилучшего отражения временного хода яркости, поиск корреляции между содержанием примесей в снегу и параметрами снеготаяния.

Так как построенные карты распределения температур не показали значительных различий между выбранными зонами в период снеготаяния (не более 0,5°C), то было решено рассматривать метеословия во всех зонах как одинаковые. В таком случае становилось возможным предположить, что все различия между динамикой снеготаяния на различных участках обусловлены влиянием пылевого загрязнения снега.

Приняв данные допущения, стало возможным по результатам исследования сделать следующие выводы.

**Первое**, в рассмотренный промежуток времени отмечалась корреляция даты наиболее интенсивного снеготаяния с содержанием пылевых примесей в снегу. В наблюдаемый период процесс снеготаяния более загрязнённых участков начинался раньше. Для наибольшей объективности исследования, в качестве временного критерия оценки использовалась дата среза аппроксимирующей кривой на основе фильтра Баттерворта [7].

$$Y(t) = A + \frac{B}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{C}\right)^{2 \cdot D}}}$$

Здесь X – дата (номер дня в году), Y – коэффициент отражения в 1 канале MODIS умноженный на 10000, A – минимальное значение коэффициента отражения, B – перепад между минимальным и максимальным значениями коэффициента отражения, C – аналог частоты среза фильтра, в данном случае – дата наиболее интенсивного снеготаяния, D – порядок фильтра, в данном случае этот показатель отражает среднюю интенсивность снеготаяния.

Использование данного выражения иллюстрирует рис.1, на котором приведены точки, соответствующие коэффициенту отражения снега на первом исследованном участке за разные дни.