

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ГИС ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕРРИТОРИИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПРИРОДНЫХ ЧС*

А. А. ЛАГУТИН, Ал. А. ЛАГУТИН И. А. ШМАКОВ, Ю. А. НИКУЛИН
Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия
e-mail: lagutin@theory.asu.ru

We propose a specialized GIS for the near real-time monitoring of the environment on a territory and prediction of the sources of natural disasters. The structure of the proposed GIS and its subsystems is discussed. The operation of a number of its modules is demonstrated.

Введение

На этапе проектирования информационно-аналитической системы (ИАС) требуется решить проблему ее наполнения. В оперативных ИАС, в функции которых входят проведение оперативного мониторинга окружающей природной среды (ОПС) и подготовка аналитической информации для исследователей и органов управления, эта проблема является центральной. Сложность ее обусловлена тем, что для наполнения ИАС необходимо прежде всего создать и поддерживать оперативные мониторинговые каналы измерений большого числа параметров атмосферы и подстилающей поверхности (ПП) территории с достаточно высоким временным (несколько раз в сутки) и пространственным (порядка 10 км) разрешением. Необходимо также разработать технологии, позволяющие проводить сбор измеренных значений и обработку всех поступающих в режиме реального времени потоков данных, их интеграцию с базами картографической информации, моделями поиска зон чрезвычайных ситуаций (ЧС) и моделирование возможного их развития.

Сегодня ключевое место в интеграции данных и программ занимают геоинформационные системы (ГИС) и ГИС-технологии. Распределенность и междисциплинарность исследований обеспечивается использованием веб-технологий.

*Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Федерального агентства по образованию, программы СО РАН "Информационно-телекоммуникационные ресурсы СО РАН" и междисциплинарной программы СО РАН 4.5.2 "Разработка научных основ распределенной информационно-аналитической системы на основе ГИС и веб-технологий для междисциплинарных исследований".

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2007.

В данной работе основное внимание уделено комплексу проблем, связанных с наполнением ИАС оперативной спутниковой и прогностической информацией. Для решения возникающих здесь задач предложена специализированная ГИС оперативного мониторинга окружающей среды территории и прогнозирования источников природных ЧС. Обсуждаются структура ГИС и ее подсистем, демонстрируется работа ряда модулей.

1. Структура специализированной ГИС оперативного мониторинга окружающей среды

Территориальная ГИС мониторинга окружающей природной среды включает интегрированный комплекс технологий сбора, хранения и обработки данных, а также компьютерных средств реализации алгоритмов и моделей объектов/явлений с широким спектром возможностей при визуализации полученной информации.

Сегодня реализовано большое количество ГИС-проектов, связанных с проблемой мониторинга окружающей среды и климата. Обзор работ этого направления по территории Алтайского края можно найти в монографии [1]. Вместе с тем авторам не известны реализованные проекты, обеспечивающие исследователей и органы управления территориями оперативной и прогностической информацией, основанной на количественных данных о состоянии атмосферы и подстилающей поверхности.

В [2,3] отмечалось, что оперативные данные по территории с необходимым для решения задач мониторинга пространственным разрешением могут быть получены с ис-

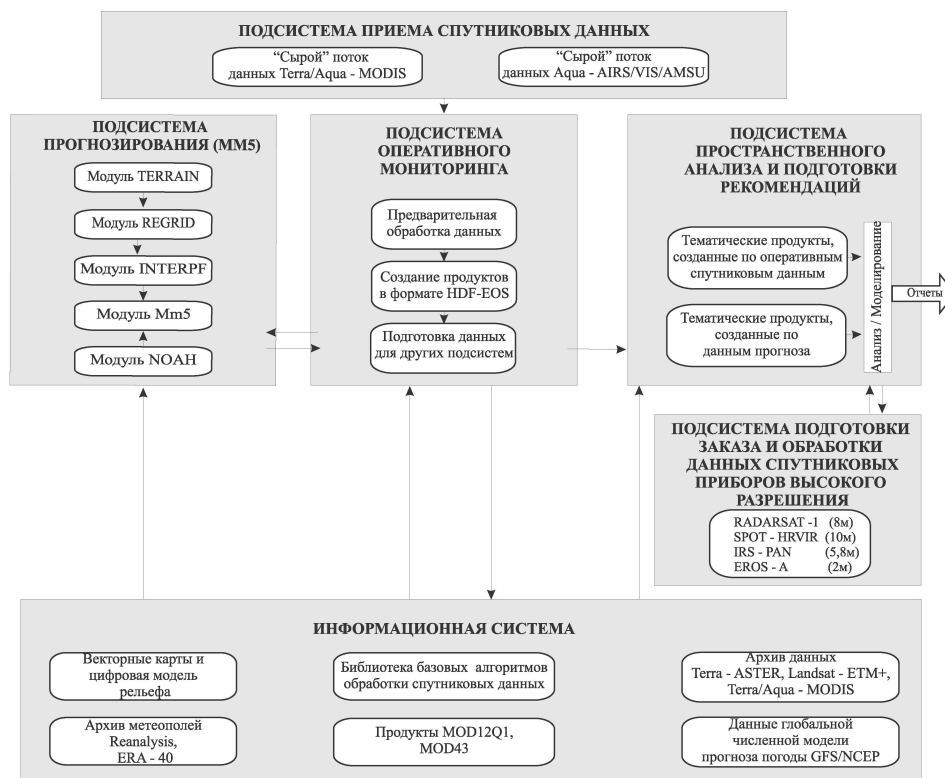


Рис. 1. Структура специализированной ГИС оперативного мониторинга окружающей среды территории и прогнозирования источников природных чрезвычайных ситуаций

пользованием спутниковых приборов. В силу этого ГИС оперативного мониторинга окружающей среды территории в дополнение к стандартным функциям ГИС должна также обеспечить сбор, усвоение и обработку оперативных данных, получаемых с помощью спутниковых приборов. Это, в свою очередь, означает, что в число устройств сбора информации для специализированной ГИС сегодня следует включать программно-аппаратные комплексы для приема спутниковых данных в режиме реального времени. В ГИС в качестве модулей должны входить вычислительные комплексы обработки. Для установления источников природных ЧС необходимо обеспечить также усвоение прогностических данных региональной численной модели прогноза погоды.

На основе опыта разработки и применения ГИС в различных научных и производственных сферах в работе предлагается специализированная ГИС оперативного мониторинга, включающая шесть подсистем. Структура ГИС и ее подсистем, основные модули подсистем и информационные взаимосвязи между подсистемами показаны на рис. 1. Интеграция оперативных спутниковых и прогностических модельных данных по характеристикам окружающей среды производилась с использованием инструментария свободной ГИС GRASS [4].

2. Подсистема оперативного спутникового мониторинга

Подсистемы приема и оперативного мониторинга созданы на базе вычислительных комплексов, описанных в [2, 3]. Для их интеграции в GRASS требуется обеспечить возможность запуска процесса обработки из среды GRASS и согласование форматов.

Проблема согласования форматов вызвана тем, что данные выходных файлов в формате HDF-EOS, получаемых при работе вычислительных комплексов, заданы на пере-

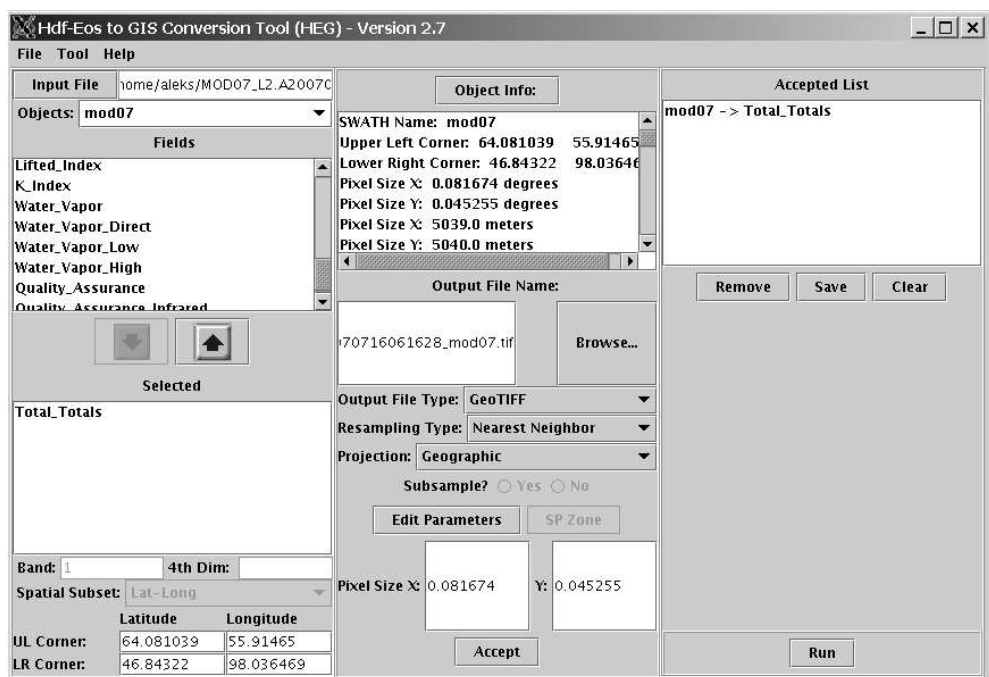


Рис. 2. Графический интерфейс HEG

Т а б л и ц а 1. Перечень некоторых продуктов, создаваемых по данным MODIS и AIRS

№ п/п	Характеристика продукта	Разрешение в надире, км
MODIS		
1	Калиброванные интенсивности	0.25; 0.5; 1
2	Маска облачности	0.25; 1
3	Характеристики атмосферы (профили температуры и влажности, общее количество водяного пара и озона, температура подстилающей поверхности, вертикальный профиль озона)	5
4	Параметры облаков	1
5	Маска снежного покрова	0.5
6	Характеристики тропосферного аэрозоля над поверхностью суши	10
7	Коэффициент спектральной яркости подстилающей поверхности, вегетационные индексы NDVI и EVI	0.25; 0.5; 1; 5
8	Термальные аномалии, пожары	1
9	Температура подстилающей поверхности	1
10	Двухнаправленный коэффициент спектральной яркости, плоское и сферическое альbedo, коэффициент спектральной яркости, приведенный к надирной геометрии	1; 5
AIRS		
11	Температура скин-слоя ПП	40.5
12	Температура воздуха на уровне ПП	
13	Температура воздуха на 28 уровнях атмосферы	
14	Отношение смеси H ₂ O	
15	Общее влагосодержание атмосферы	
16	Вертикальный профиль озона	
17	Общее содержание озона	
18	Коэффициенты излучения ПП в ИК-диапазоне	
19	Коэффициенты спектральной яркости ПП в ИК-диапазоне	
20	Яркостная температура ПП в СВЧ-диапазоне	
21	Коэффициенты излучения ПП в СВЧ-диапазоне	
22	Водозапас облаков	
23	Температура облака на верхней границе	
24	Давление на верхней границе облака	
25	Доля пикселя AMSU, закрытая облаками	
26	Высота тропопаузы	
27	Геопотенциальная высота 28 стандартных уровней	
28	Геопотенциальная высота ПП	
29	Поток уходящей длинноволновой радиации в диапазоне 2...2800 см ⁻¹ в области, свободной от облачности	
30	Водозапас облака в слое	
31	Фазовое строение облака в слое (вода/лед)	
32	Количество CO в слое	
33	Объемное отношение смеси CO в слое 300...600 мбар	
34	Объемное отношение смеси CO ₂	

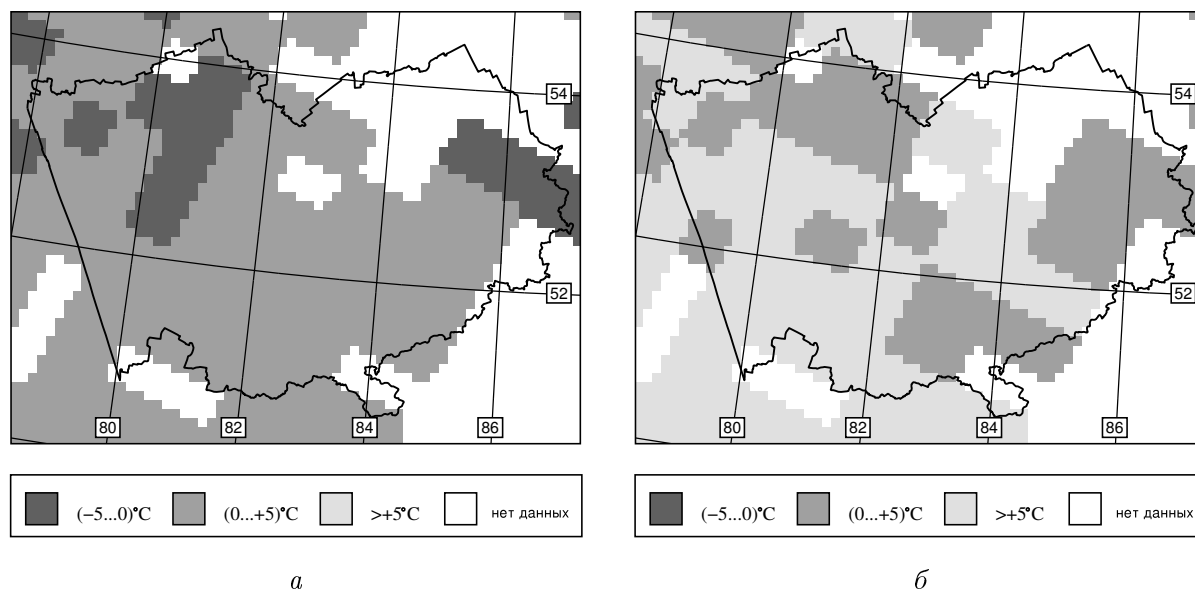


Рис. 3. Распределение температуры подстилающей поверхности (а) и температуры воздуха на уровне ПП (б), по данным зондирующего комплекса AIRS для 31 мая 2007 г. (21:30 UTC)

гулярной сетке, не соответствующей никакой из поддерживаемых GRASS проекций. Как следствие, GRASS не способен непосредственно их усвоить.

На этапе создания тематических продуктов преобразование данных выполняется средствами swtif пакета HEG [5]. На рис. 2 показан графический интерфейс HEG. Кроме того, swtif выполняет также переход от нерегулярной сетки (swath) к регулярной.

Таким образом, из среды GRASS на вход системы обработки передаются лишь команда запуска, целевая проекция и целевой ограничивающий прямоугольник. Стоит отметить, что выбор целевых проекций у HEG более ограничен, нежели чем у GRASS, поэтому запуск обработки разрешен только из локации, проекция которой поддерживается HEG.

Для усвоения данных в GRASS средствами HEG создается промежуточный файл формата GeoTIFF. После преобразования данных из формата HDF-EOS в GeoTIFF с использованием пакета HEG работа с данными проводилась средствами GRASS. Пример продуктов, полученных по данным AIRS, показан на рис. 3. Перечень некоторых продуктов, создаваемых авторами по данным 36-канального спектро радиометра MODIS и зондирующего комплекса AIRS, приведен в табл. 1. Детальное обсуждение технологий оперативного спутникового мониторинга можно найти в работах [2, 3].

3. Подсистема прогнозирования

Основу подсистемы прогнозирования составляет региональная численная модель прогноза погоды MM5, созданная в Национальном центре атмосферных исследований (США) в кооперации с университетом штата Пенсильвания [6]. Выбор этой модели обусловлен ее широким применением в оперативной работе во многих метеорологических и климатических центрах мира, наличием данных о погрешностях прогноза приземной температуры воздуха, скорости и направления ветра, осадков в различные сезоны года для разных климатических зон, открытого кода и детального описания

баз данных, функций подсистем и форматов данных (см., например, публикации, выставленные на сайте [7]).

Основные модули этой информационно-моделирующей системы — TERRAIN, REGRID, INTERPF, MM5, NOAH. Структура подсистемы показана на рис. 1.

В настоящей работе моделирование прогнозных полей метеорологических параметров проводилось с использованием MM5 версии 3.7. Расчет полей на сроки 12–72 ч с временным шагом анализа 3 и 6 ч выполнен для нескольких периодов на сетках с горизонтальным разрешением 21 и 12 км. Координаты центральной точки региональной сетки 51° с. ш., 84° в. д. В большинстве тестовых расчетов шестичасовые прогнозы GFS/NCEP [8] на 18:00 UTC и 00:00 UTC использовались для формирования начальных и граничных условий.

4. Тестирование подсистем ГИС

Для тестирования разработанных технологий прогнозирования выбраны периоды 24–27 января и 1–4 июня 2007 г., для которых ГУ “Алтайский ЦГМС” составлялись штормовые предупреждения. Для первого периода прогнозировались мокрый снег, метели, гололедные явления, порывы ветра до 26 м/с. Для второго периода — заморозки до -3°C (1–2 июня), а также (2–4 июня) дожди, грозы, град, шквалистое усиление ветра до 28 м/с. В табл. 2 и на рис. 4 представлены некоторые данные, характеризующие обстановку на территории края и в регионе в эти периоды.

Прогнозирование максимальной скорости ветра при порывах. Для оценки максимальной скорости ветра V_{\max} (м/с) при порывах применялся принятый в синоптической метеорологии метод, основанный на использовании данных по полю ветра на изобарической поверхности 850 ГПа [9]. Прогноз давался с использованием эмпирической функции $V_{\max}(V_{850})$ Н.А. Лебедевой [9]. Для автоматизации процесса анализа метеорологической обстановки и поиска зон возможных ЧС из-за сильного ветра данные [9] аппроксимированы функцией вида

$$V_{\max} = [769(V_{850} - 13.1)]^{1/3}.$$

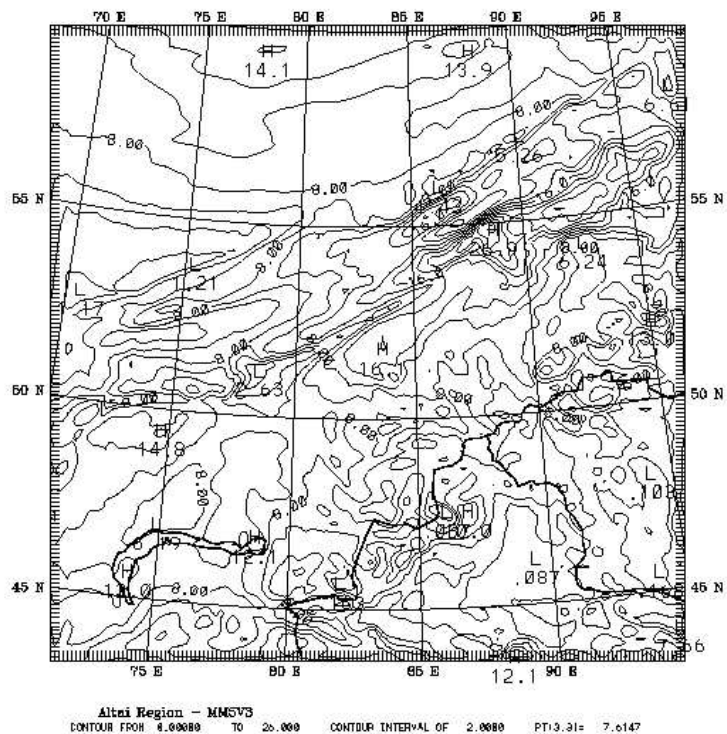
Примеры распределения скорости ветра на уровне 850 ГПа 26 января 2007 г. для двух сроков (06:00 и 12:00) UTC показаны на рис. 5, а и б. Анализ этих данных показывает, что в зонах, в которых V_{850} достигает 33,7 м/с, скорость ветра при порывах может достигнуть 25 м/с — значения, позволяющего относить метеорологическое явление к ЧС. Распределение максимальной скорости ветра при порывах показано на рис. 5, в.

Заморозки. Выше отмечалось, что ГУ “Алтайский ЦГМС” на период (1–2 июня) 2007 г. прогнозировались заморозки до -3°C . С целью верификации данных региональной численной модели прогноза MM5 проведена серия расчетов температуры воздуха на высоте 2 м и подстилающей поверхности для периода 31 мая — 2 июня. Модельные прогнозы MM5 построены с интервалами выдачи информации 30 мин, 1 и 6 ч. На рис. 6 показаны прогностические данные по распределению температуры подстилающей поверхности на территории юга Западной Сибири для сроков 21:30 и 22:00 UTC 31 мая 2007 г. На этих рисунках хорошо видна изолиния нулевой температуры.

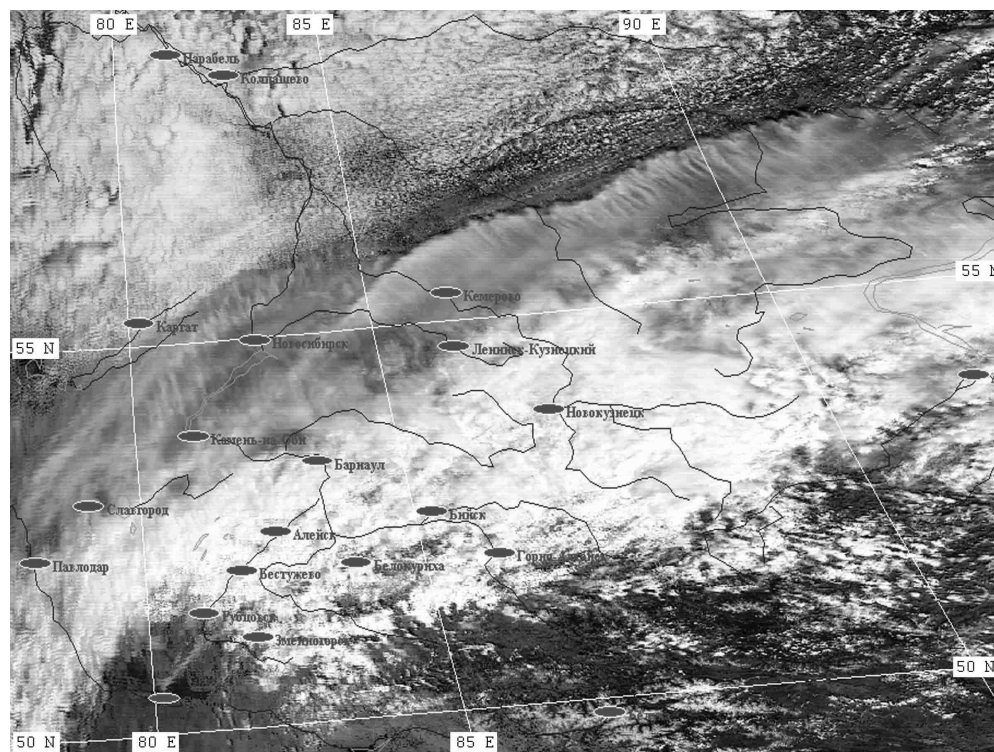
Т а б л и ц а 2. Сопоставление прогнозов модели ММ5 по температуре воздуха на высоте 2 м (Т2) и средней скорости ветра на высоте 10 м (V10) с результатами наблюдений (ГМ) на метеостанциях Алтайского края. Прогноз от 24 января 2007 г. (00:00 UTC) на сроки 12–72 ч

Пункт	Источник	12		24		30		54		60		66		72	
		T2	V10	T2	V10	T2	V10	T2	V10	T2	V10	T2	V10	T2	V10
Алейск	ММ5	-1.0	10	-1.3	8	-1.7	10	0.4	14	0.5	15	0.5	15	1.5	14
	ГМ	-3.5	7	-3.5	7	-2.3	3	-1.4	10	0	15	0.4	15	1.0	15
Баево	ММ5	-1.6	10	-2.1	8	-4.7	9	0.4	11	0.7	11	0.7	11	0.8	10
	ГМ	-1.8	9	-3.0	5	-6.7	5	0.1	12	-0.1	15	-0.2	13	2.2	9
Барнаул	ММ5	-0.9	8	-2.9	6	-1.8	10	0.5	10	0.6	11	0.7	12	0.7	13
	ГМ	-4.6	4	-3.2	4	-2.7	3	-3.2	6	-0.4	8	0.2	9	-0.4	10
Бийск-Зон.	ММ5	-1.2	8	-1.0	9	-0.8	8	0.3	14	0.3	15	0.3	17	1.3	13
	ГМ	-1.2	7	-2.0	7	-2.0	6	-4.3	2	2.9	7	4.7	10	2.5	12
Волчиха	ММ5	-2.4	8	-1.7	8	-2.8	8	0.3	13	0.6	10	1.1	8	1.1	8
	ГМ	-1.8	5	-2.1	4	-5.3	8	0.6	8	0	9	-1.2	9	1.8	6
Змеиногорск	ММ5	-1.9	7	-2.4	9	-2.7	9	0	14	0	13	0.7	13	-0.8	15
	ГМ	-5.0	6	-4.9	6	-1.6	8	-2.4	12	-1.0	9	0	8	1.0	6
Камень-на-Оби	ММ5	-2.1	9	-2.0	7	-4.3	8	0.3	7	0.7	8	0.7	9	0.7	10
	ГМ	-2.6	6	-4.4	7	-5.5	5	-0.5	8	0	12	-0.2	8	1.1	8
Ключи	ММ5	-0.7	9	-1.7	7	-3.5	8	0.7	12	1.1	9	1.4	8	1.3	8
	ГМ	0.5	5	-1.1	3	-4.9	5	2.5	4	3.1	7	3.1	7	3.8	6
Родино	ММ5	-1.2	10	-2.0	8	-3.3	9	0.4	13	0.8	11	1.2	9	1.2	9
	ГМ	-1.5	8	-2.6	5	-6.2	7	0.4	12	1.3	13	0.9	13	1.8	8
Рубцовск	ММ5	-1.5	8	-0.7	8	-1.4	9	0.4	13	0.7	10	1.4	9	1.6	10
	ГМ	-3.6	10	-3.2	9	-3.3	7	-2.7	10	-2.4	11	-2.6	14	-0.8	15
Славгород	ММ5	-0.6	9	-1.6	8	-5.6	8	0.6	11	1.0	10	1.2	8	1.4	8
	ГМ	-0.6	6	-5.0	3	-5.2	5	1.1	9	1.7	7	0.7	7	2.0	7

SIGH4 =0.825 WIND UV 1m/s 2007-06-03_06:00:00 = 2007-06-01_00 + 54.00H SHOOOTH= 0



a



б

Рис. 4. Прогноз ММ5 распределения скорости ветра на уровне 850 ГПа 3 июня 2007 г. (06:00 UTC) (*a*) и изображение MODIS территории юга Западной Сибири 3 июня 2007 г. (04:51 UTC) (*б*)

Отрицательные температуры показаны штриховыми линиями. Анализ данных ММ5 показал, что лишь в утренние часы 1 июня 2007 г. (04:30–05:00 по местному времени) возможны заморозки на почве в восточных районах и на северо-западе края.

Для проверки прогнозов ММ5 проведены измерения температуры воздуха в приземном слое атмосферы и температуры ПП с использованием данных зондирующего комплекса AIRS/Aqua для ночных витков 31 мая—2 июня. Спутниковые данные для 31 мая (время витка — 21:30 UTC), представленные на рис. 3, подтверждают прогнозные оценки ММ5 о заморозках на почве в этих зонах края.

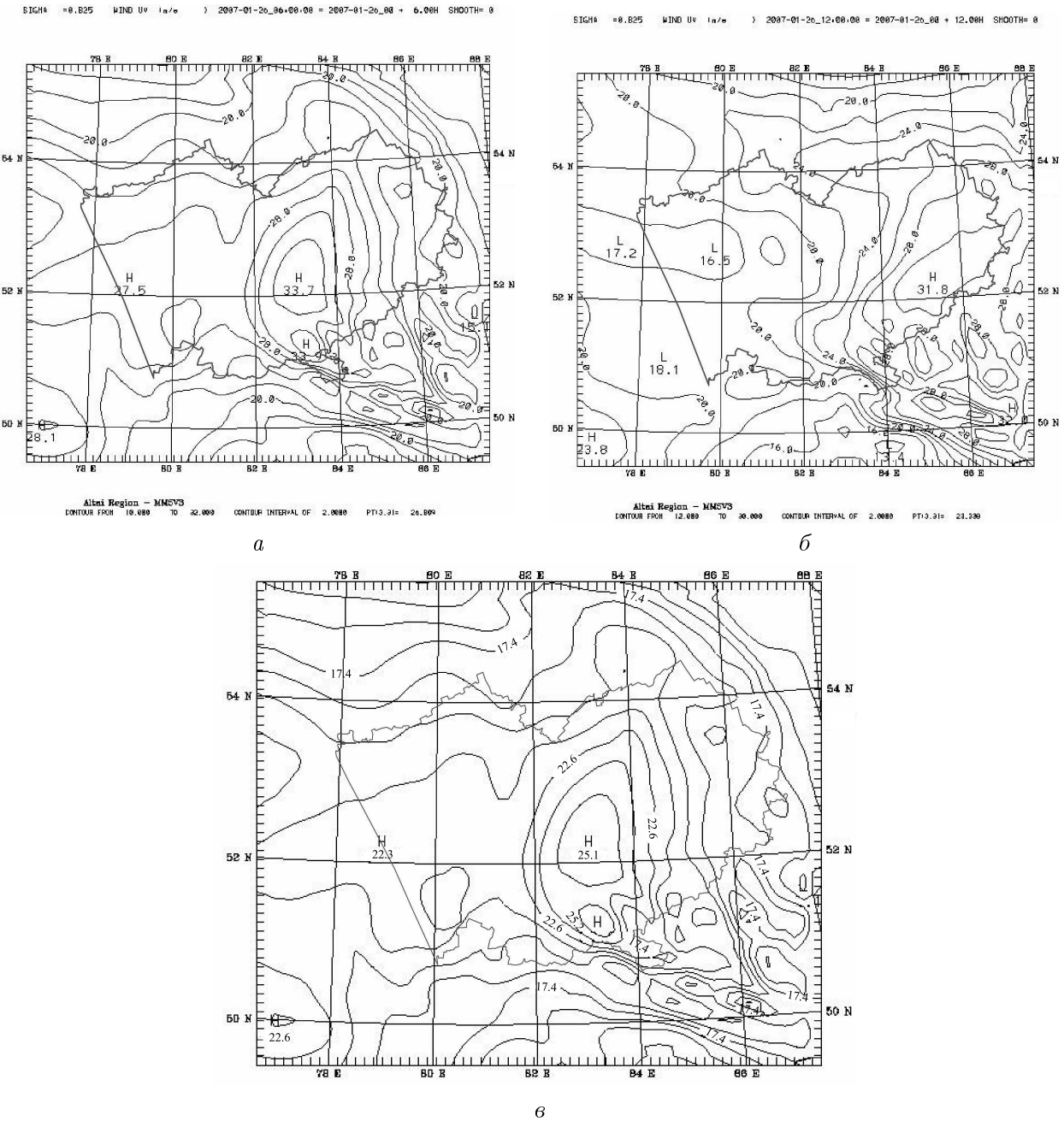


Рис. 5. Прогноз ММ5 распределения скорости ветра на уровне 850 ГПа 26 января 2007 г. на 06:00 UTC (а) и 12:00 UTC (б); распределение максимальной скорости ветра при порывах 26 января 2007 г. в 06:00 UTC на уровне ПП (в)

Краткосрочный прогноз зон нестабильности атмосферы и гроз. Для краткосрочного прогноза зон нестабильности атмосферы и гроз принято использовать индекс TT (Total-Totals) [10] и индекс Уайтинга [9]:

$$TT = T_{850} + T_{d850} - 2T_{500}; \quad (1)$$

$$KK = T_{850} - T_{d850} - T_{500} - (T_{700} - T_{d700}). \quad (2)$$

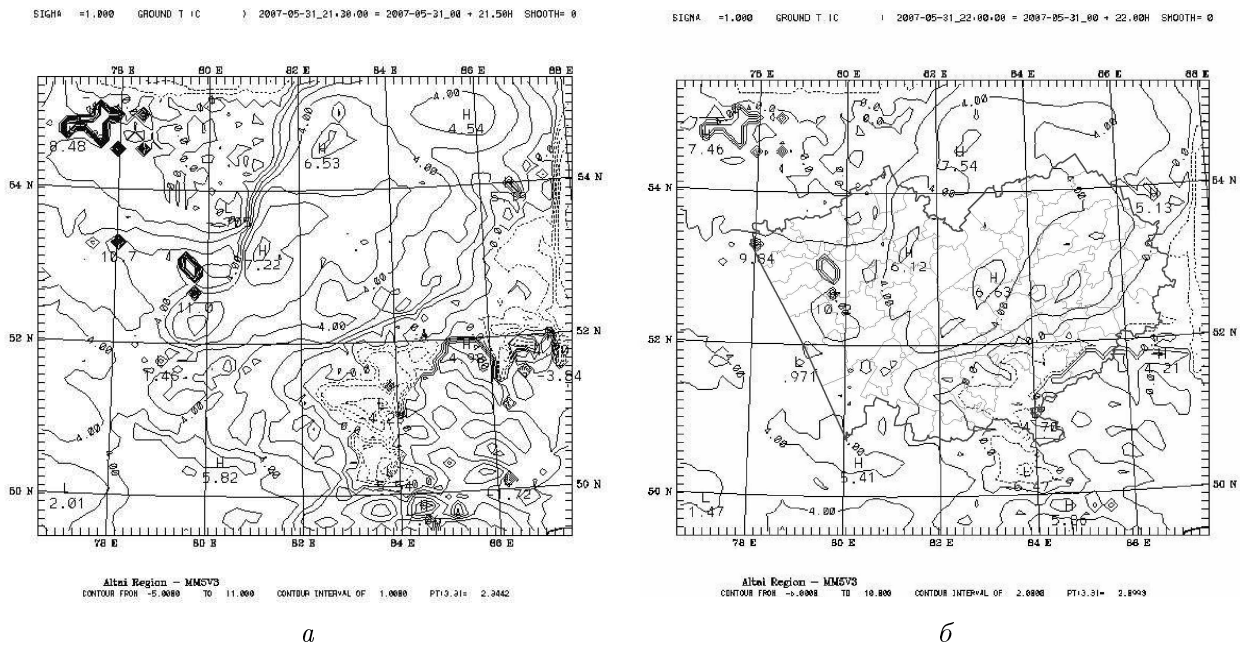


Рис. 6. Распределение температуры подстилающей поверхности 31 мая в 21:30 UTC (а) и в 22:00 UTC (б), по данным ММ5

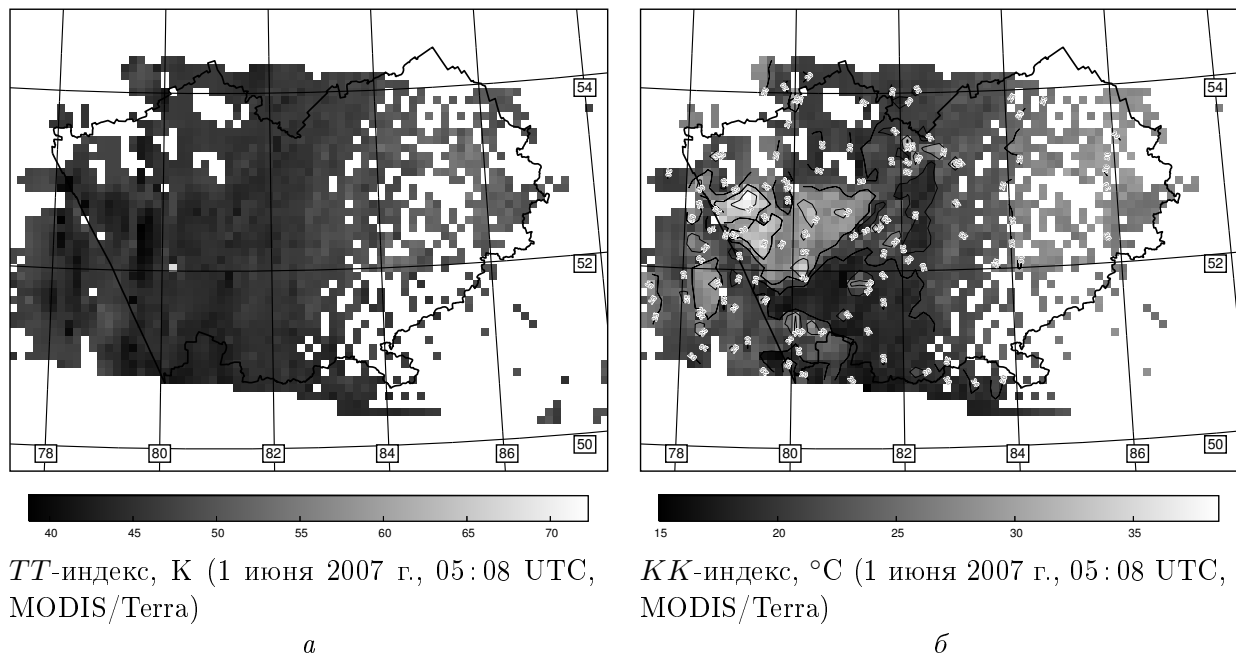


Рис. 7. Примеры тематических продуктов: а — TT -индекс; б — KK -индекс

Считается, что при $TT \gtrsim (50-60)$ К возможны конвективные явления, приводящие к усилению ветра в приземном слое [10]. Превышение KK -индексом значения 30 °С указывает на возможность гроз в этой зоне [9]. Распределения TT - и KK -индексов на территории Алтайского края 1 июня 2007 г. (05:08 UTC), полученные по данным MODIS/Terra, показаны на рис. 7. Создание тематического продукта “ TT -индекс” не представляет сложности, поскольку он входит в число характеристик, восстанавливаемых с использованием пакета PGE03 [2]. KK -индекс находился с использованием так называемой технологии “алгебры карт” ГИС GRASS, т.е. сложения и вычитания созданных по данным спутникового прибора слоев температуры воздуха и температуры точки росы на уровнях 850, 750 и 500 ГПа. Нетрудно видеть, что оба индекса указывают на грозовые явления в западных районах края.

Список литературы

- [1] ШИРОКОВА С.Л. Основы построения ГИС управления природопользованием. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2003. 188 с.
- [2] ЛАГУТИН А.А., НИКУЛИН Ю.А., ЖУКОВ А.П. и др. Математические технологии оперативного регионального спутникового мониторинга характеристик атмосферы и подстилающей поверхности. Ч. 1. MODIS // Вычисл. технологии. 2007. Т. 12, № 2. С. 67–89.
- [3] ЛАГУТИН А.А., НИКУЛИН Ю.А., ЛАГУТИН А.А. и др. Математические технологии оперативного регионального спутникового мониторинга характеристик атмосферы и подстилающей поверхности. Ч. 2. AIRS // Вычисл. технологии. 2007. Т. 12, № 5. С. 78–102.
- [4] NETELER M., MITASOVA H. Open source GIS: A GRASS GIS approach. Boston: Springer, 2004. 424 p.
- [5] KLEIN L., MILBURN R., PRADERAS C., ТААХЕРИ А. A tool for conversion of Earth Observing System data products to GIS compatible formats and for the provision of post-processing functionality // Earth Science Satellite Remote Sensing. Vol. 2: Data, Computational Processing and Tools. Beijing: Tsinghua Univ. Press; Berlin, Heidelberg: Springer-Verl.-GmbH, 2006. P. 178–189.
- [6] GRELL G., DUDHIA J., STAUFFER D. A description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). Technical Report: NCAR Tech. Note, TN-398+STR, 1994. <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html>
- [7] <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/Publications/workshop-preprints.html>
- [8] <http://nomads6.ncdc.noaa.gov/>
- [9] ВОРОВЬЕВ В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 616 с.
- [10] SMITH W.L., ZHOU F.X. Rapid extraction of layer relative humidity, geopotential thickness, and atmospheric stability from satellite sounding radiometer data // Appl. Opt. 1982. Vol. 21. P. 924–928.

Поступила в редакцию 4 декабря 2007 г.