

Н.И. Толмачева, Л.Н. Ермакова

ВОССТАНОВЛЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПО СПУТНИКОВЫМ И РАДИОЛОКАЦИОННЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ ОБЛАЧНОСТИ

Пермский государственный университет, 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: lnermak@psu.ru

Рассмотрен подход к оценке метеорологических параметров по снимкам с метеорологических спутников и радиолокационной информации. Он основан на комплексном учете значений яркостных и текстурных характеристик в облачности по ИК-снимкам. Применение данного подхода показало, что результаты диагноза и прогноза облачности, осадков, скорости и направления ветра по информации с ИСЗ NOAA могут использоваться в прогностическом процессе региона.

К л ю ч е в ы е с л о в а: метеорологический спутник; восстановление; метеорологические параметры.

Для прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера необходим анализ погодных условий. В условиях сильной разреженности сети метеорологических станций, особенно в труднодоступной местности, существенную помощь в анализе и прогнозе метеорологических параметров оказывает спутниковая информация [1]. Авторами разработана программа тематической обработки изображений облачности с космических аппаратов NOAA в формате АРТ, позволяющая восстанавливать фактические и прогностические значения некоторых метеорологических параметров по яркостным характеристикам облачного покрова на основе методик, разработанных Росгидрометом, с учетом особенностей Пермского края. К этим параметрам относятся: скорость и направление ветра на разных изобарических поверхностях, высота верхней границы облачности, количество осадков, а также вид облачности и метеорологические явления. Данная информация может служить существенным дополнением к традиционным синоптическим методам прогноза и быть востребована в целях предупреждения ЧС. Ниже приведены принципы восстановления некоторых метеорологических полей.

Восстановление поля ветра у земли и на изобарических поверхностях. Облачность находится в тесной связи с процессами, происходящими в атмосфере, поэтому космическое изображение можно использовать для восполнения отсутствующих сведений, соответствующих конкретным облачным структурам, или для качественной интерполяции имеющихся данных приземных измерений.

Разработка и испытание метода восстановления поля ветра по космическим снимкам проводились на основе архивов спутниковых и аэрологических данных для территории России за период с 01.01.2000 по 31.12.2006. Анализировались сроки 00 и 12 ч МСВ (международное согласованное время), разность по времени между снимком и аэрологическими измерениями не превышала 30 мин.

В исследовании проанализировано около 12500 снимков с интересующей информацией, т.е. с наличием циклонического образования гиперболической формы. За основу разрабатываемой методики был взят метод из Руководства [2]. Для оценки скорости и направления ветра определяется квадрант, измеряется расстояние до точки, в которой производится оценка ветра, затем с использованием соотношения определяются параметры. По этой методике проведен анализ имеющихся материалов и на основе сделанных выводов внесены коррективы: пересчитаны таблицы, для определения скорости и направления ветра у земной поверхности; введен поправочный коэффициент, учитывающий тип облачности и эволюцию циклона; при определении параметров ветра на высоте, где отсутствует замкнутая циркуляция, пересчитана формула для определения направления и введен поправочный коэффициент.

Каждая изобарическая поверхность имеет свое назначение, которое необходимо учитывать при восстановлении параметров ветра на этих высотах. Проведение асимптоты к облачной спирали и ее разбитие зависит от многих факторов, например от качества принимаемой информации, поэтому для получения более точных данных поля ветра желательно иметь 3–4 контрольные станции, по которым производить корректировку восстанавливаемых величин. В данной работе в качестве таких станций были выбраны Пермь, Омск, Казань, Новосибирск, Ханты-Мансийск, Сыктывкар. После определения параметров ветра производится построение высотных ветровых полей. Для этого в программе создается таблица, в которую заносятся не только данные о ветре, но и координаты точки, в которой они получены. Над территорией изучаемого района вихревые структуры наблюдаются часто, но распределение их по сезонам года различно.

Таблица 1

Восстановленные по космическим снимкам данные о скорости (f) и направлении (d) ветра

№	V	Земля		850		700		500		300	
		d	f	d	f	d	f	d	f	d	f
1	152	240	7	275	12	280	14	295	18	330	22
2	154	360	5	5	4	15	12	295	11	295	24
3	154	65	3	180	7	225	13	225	24	245	26
4	156	140	3	225	13	240	15	250	24	265	28
5	156	160	4	260	18	275	24	270	19	270	32
6	152	190	3	210	11	240	13	305	12	305	24
7	156	220	6	260	18	285	21	280	23	300	27
8	152	210	3	250	17	275	20	270	24	290	28
9	154	220	1	260	19	285	22	280	22	300	26
10	153	250	6	270	12	285	14	295	18	320	18

Рассмотрим ситуацию, сложившуюся 4 января 2006 г. У земли циклон, который виден на снимке, находится в стадии максимального развития, горизонтальные размеры его – 1500 км. Разобьем облачную спираль на квадранты, определим направление ветра в 10 точках, равномерно распределенных по облачной спирали, определим поправочный коэффициент. Найдем значение скорости ветра в каждой точке и восстановленное поле ветра у земли наложим на космический снимок в два слоя (рис. 1).

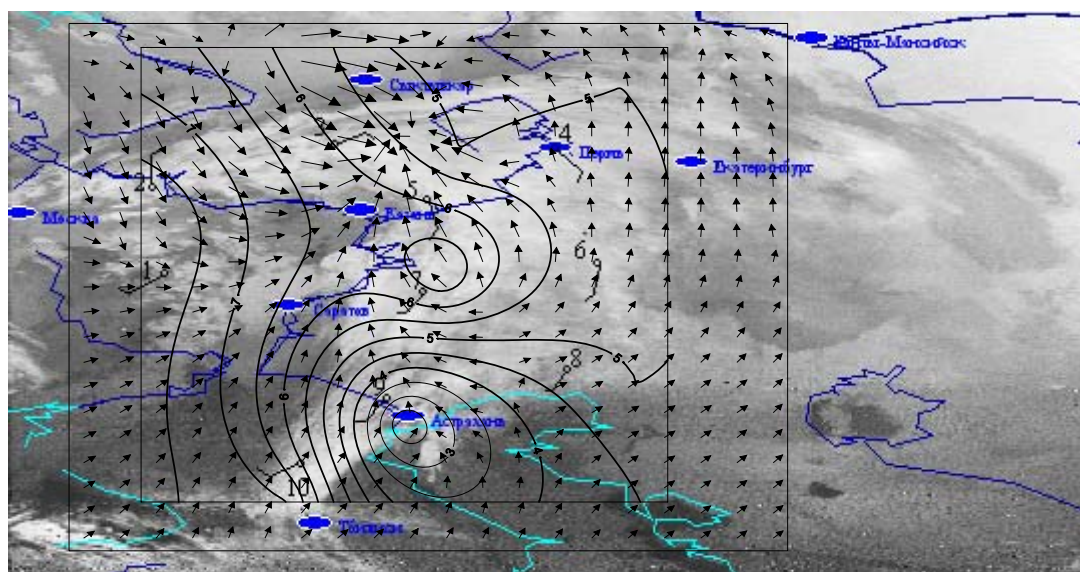


Рис. 1. Восстановленное поле ветра у земли

В предварительных стадиях циклон развился по высоте, стал высоким барическим образованием, и замкнутая циркуляция прослеживается на уровне 700 гПа, поэтому при восстановлении поля ветра на поверхностях 850, 700 гПа воспользуемся таблицами, применяя поправочный коэффициент. При определении параметров ветра на 500 и 300 гПа в точках 1 и 4, 5 значения скорости умножим на 1,3 и 1,5 соответственно, а направление найдем по формуле, приведенной выше. Построим поля ветра на основных изобарических поверхностях (рис. 2).

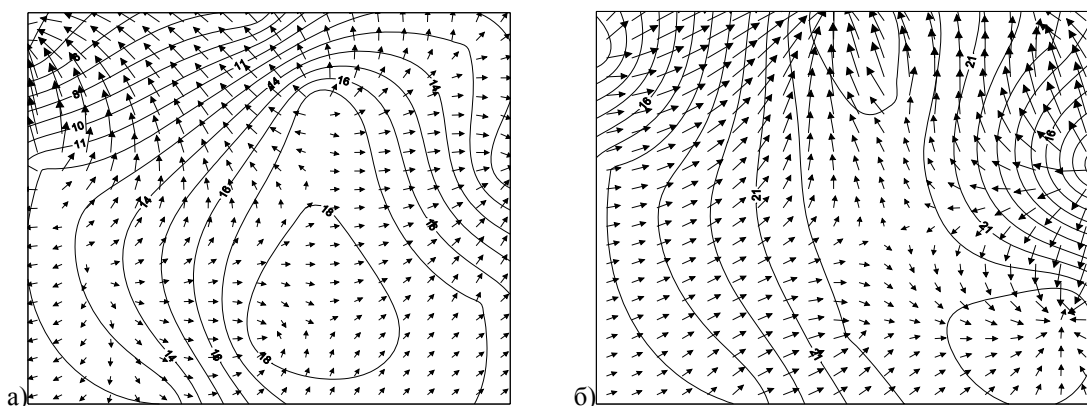


Рис. 2. Восстановленные поля ветра на уровне: а) 850 гПа, б) 500 гПа

На всех высотах (850, 700, 500 и 300 гПа) над рассматриваемым районом расположена крупномасштабная ложбина, ориентированная с северо-востока на юго-запад, максимальные скорости ветра приходятся на южную часть ложбины. Методика восстановления параметров ветра заключается в следующем: выбирается облачная спираль гиперболической формы, разбивается на квадранты; для точек, в которых восстанавливаются значения ветра, определяются яркостные характеристики, вводится поправочный коэффициент на тип облачности и стадию развития циклона, с учетом которого вычисляются значения направления и скорости ветра у земли. При восстановлении параметров поля на высоте определяем, какая наблюдается циркуляция замкнутая или нет; в случае незамкнутой циркуляции вводим поправочный коэффициент, учитывающий, в какой части облачной полосы находится точка, для которой вычисляются значения ветра, в случае замкнутой циркуляции пользуемся таблицами.

Восстанавливать параметры ветра по космическому снимку можно без использования наземных и аэрологических наблюдений, в таком случае погрешности определяемых величин составляют ± 2 м/с, $\pm 20^\circ$ у земли и ± 2 м/с, $\pm 15^\circ$ на высоте. Использование 3–4 контрольных станций уменьшает эти ошибки в два раза. Применение яркостных характеристик облачности облегчает определение формы облачности, высоты верхней границы и смещения облаков. Ошибки в определении параметров поля ветра сводятся к минимуму в случае полного анализа космического снимка, т.е. при извлечении информации о стадии развития циклонов, определения типа облачности и высоты, а также высоты распространения барических образований.

Диагноз и прогноз атмосферных осадков. Космические снимки позволяют выявить по характерным структурным особенностям облачности большое количество атмосферных возмущений различного масштаба и проследить эволюцию зон осадков в различных стадиях циклогенеза. Цель исследования – анализ областей с осадками и прогноз количества и вероятности их выпадения по космическим снимкам. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: анализ зон осадков зимнего и летнего периодов по снимкам облачного покрова; исследование положения зон осадков по отношению к оси струйного течения; составление прогноза атмосферных осадков по космическим снимкам.

Для диагноза зон осадков и прогноза их количества по территории Урала использовались спутниковые снимки с ИСЗ NOAA за период 2000–2006 гг., составлена выборка из 848 серий облачных вихрей (рис. 3). Подбирались снимки за сроки 00, 12 ч МСВ, а также приземные карты и карты барической топографии 700, 500, 300 и 200 гПа. На космических снимках облачные вихри прослеживались в течение 2–5 сут. с момента их возникновения до заполнения. По картам барической топографии в районе облачного вихря выделялись оси струйных течений, строились

схематические карты эволюции облачных вихрей, зон значительных осадков и струй на поверхностях 700, 500, 300 и 200 гПа, создавались в ГИС по слоям: сетка координат, циклон, зона осадков и ось струйного течения.

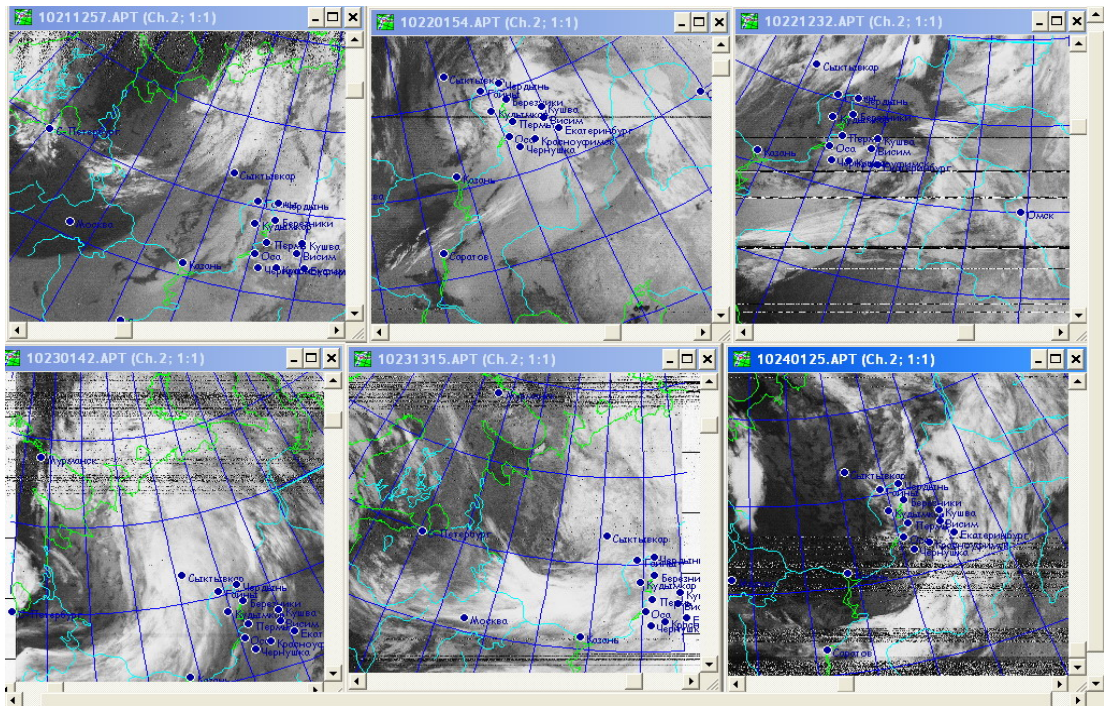


Рис. 3. Обрабатываемая серия космических снимков облачности

По спутниковым снимкам и картам барической топографии строились схематические карты эволюции облачных вихрей, зон осадков и струйных течений.

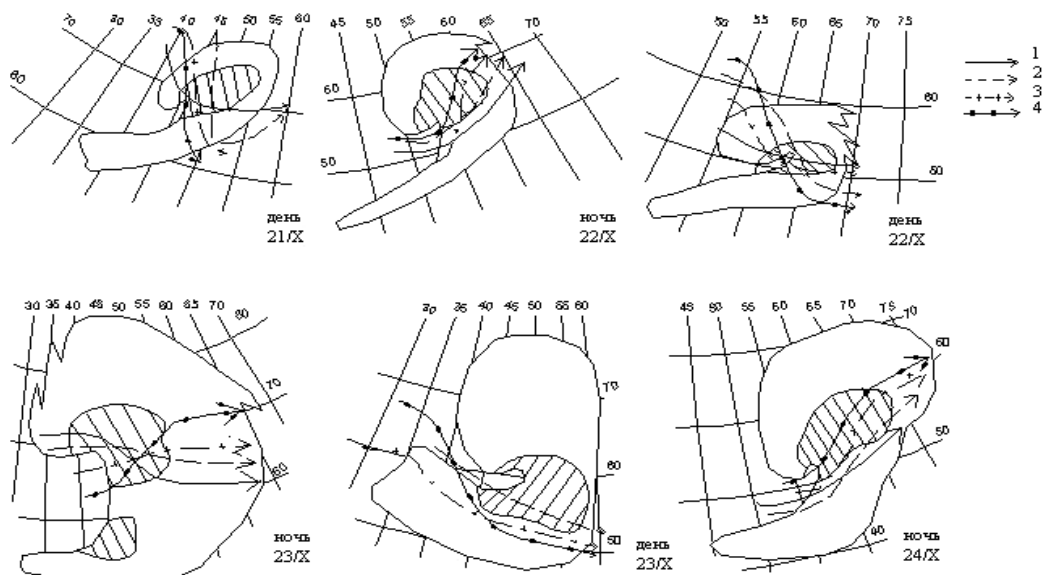


Рис. 4. Эволюция облачного вихря, зоны значительных осадков и осей струйных течений на поверхностях 700, 500, 300 и 200 гПа за период 21–24 октября: 1 – 700 гПа; 2 – 500 гПа; 3 – 300 гПа; 4 – 200 гПа; заштрихованная область – зона осадков

По результатам составленных схематических карт эволюции облачного вихря, зоны осадков и осей струйных течений и их анализа были получены данные о тесной связи зон осадков со струйными течениями на различных уровнях (табл. 2).

Таблица 2

Положение зоны осадков по отношению к оси струйного течения на АТ700, АТ500, АТ300 и АТ200 (цифры в скобках – повторяемость, %)

Положение зоны осадков	700 гПа	500 гПа	300 гПа	200 гПа
Слева	231(58)	296(75)	299(76)	252(64)
Центр	54(13)	24(6)	53(13)	36(9)
Справа	12(4)	24(6)	11(3)	30(7)
Струя отсутствовала	99(25)	52(13)	33(8)	78(20)
Общее число случаев	396(100)	396(100)	396(100)	396(100)

Таким образом, в подавляющем большинстве случаев зона осадков сопровождалась струей, которая захватывала всю тропосферу. Зоны осадков преимущественно находились слева от оси струйного течения, а справа располагалось небольшое число зон осадков. По схематическим картам была определена повторяемость положения зоны осадков по отношению к оси струйного течения различной кривизны. В тех случаях, когда зона осадков лежит слева от оси струйного течения, последняя, как правило, имеет циклоническую кривизну или квазипрямолинейна. При центральном положении зоны осадков ось струйного течения имела циклоническую кривизну или была квазипрямолинейна. Если зона осадков лежит справа от оси струи, то струя чаще бывает квазипрямолинейной и реже имеет циклоническую или антициклональную кривизну. Составлялись прогнозы осадков по территории Пермского края и Свердловской области по космическим снимкам: определялись направление смещения облачного образования и стадия развития циклона, яркость изображения, форма облаков, количество, район облачной системы. Далее рассчитывалось среднее количество осадков в пикселе, вероятность факта осадков, вероятность их количества более 3 мм и вероятность погоды без осадков. Расчетные данные сравнивались с фактическими, определялась ошибка и оправдываемость прогноза количества осадков по фактической сумме. При составлении прогноза с использованием уточненного метода ошибка составила 0,1 мм, а оправдываемость в среднем – 85% по станциям Пермского края и Свердловской области.

Моделирование полей облачности. Если по длительности спутниковые и радиолокационные измерения существенно уступают наземным, то по объему и пространственному охвату они многократно превосходят последние. Интерес представляет исследование взаимозаменяемости радиолокационных и спутниковых данных на основе моделирования временной изменчивости облачных полей. При наличии длинных рядов спутниковых наблюдений такие исследования могут дать ценную информацию. Цель состояла в статистическом анализе и моделировании полей облачности по спутниковым и радиолокационным (МРЛ-5) наблюдениям на Урале. Разработка и испытание метода оценки количества облачности проводились для фрагментов снимков с центром в точке, соответствующей положению синоптической станции и квадратам МРЛ (рис. 5). Синхронный архив спутниковых, наземных и радиолокационных данных формировался для территории 45–65° с.ш., 45–65° в.д. Разность во времени между спутниковыми и радиолокационными измерениями не превышала 30 мин. Данные радиолокатора представлены информацией, полученной с помощью автоматизированного метеорологического радиолокационного комплекса «Метеоячейка», действующего на базе МРЛ-5 (АМСГ Пермь и Екатеринбург).

Для каждого заданного порогового значения яркости и фрагмента снимка производился подсчет числа облачных пикселей и степени покрытия небосвода облачностью (в процентах). Далее рассчитанные значения переводились в баллы и сравнивались с соответствующими результатами наземных наблюдений. Для контроля привлекались близкие по времени наблюдения метеорологических радиолокаторов. Оптимальным считалось пороговое значение,

обеспечивающее точность классификации (число случаев, когда различия спутниковых и наземных оценок количества облачности не превышают 3 баллов). Поиск пороговых значений показал, что практически все рассматриваемые значения попадают на некоторый интервал, т.е. число случаев, когда различия

между оценками количества облачности по спутниковым и наземным данным не превышают 3 баллов, практически одинаково.

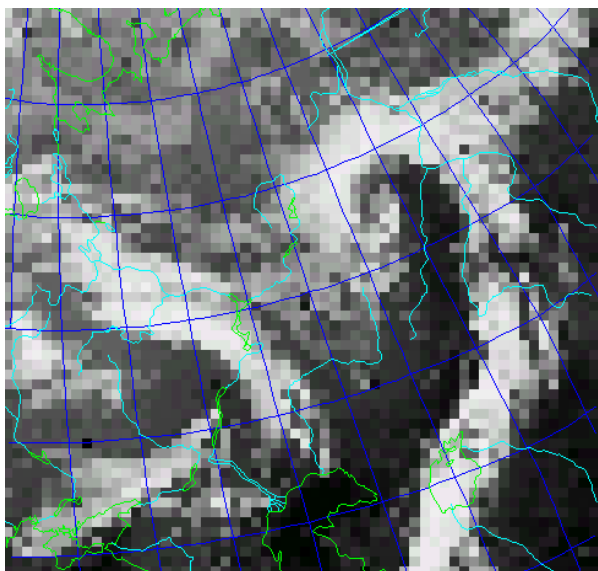


Рис. 5. Космический снимок облачного покрова 07.04.2008, 01 ч. 33 мин. с фрагментами для подсчета количества облачности и осадков

Для каждой из 11 или 9 цифр кода (0–10 баллов, 0–8 октантов) рассчитывалось среднее количество облачности, среднее отклонение и среднее квадратическое отклонение спутниковых оценок количества облачности от наземных данных. Дополнительно рассчитывалось количество случаев (в процентах к общему числу рассматриваемых случаев), когда абсолютные ошибки составляли более одного, двух, трех и четырех баллов. Оптимальными признавались те значения, для которых рассчитанные по данным МСЗ значения для всех градаций количества облачности были достаточно близкими к наблюдаемым с поверхности земли, а ошибки — минимальными. Отмечается некоторое увеличение ошибок определения количества облачности для выборки 1985–1997 гг. по сравнению с выборкой за 1998–2006 гг. Это связано с увеличением интервала времени между спутниковыми и наземными измерениями, так как увеличивается вероятность смещения облачных массивов в зоне видимости метеорологической станции. Средняя ошибка оценок количества облачности с точностью ± 1 балл составляет 30 %, с точностью ± 2 балла — 15 %. Принимая данные наземных наблюдений за истинные, следует считать идеальным совпадение в пределах двух баллов.

Проблемы, возникающие при совместном анализе данных, полученных различными приборами, можно разделить на две типа. К первому относятся проблемы пространственно-временного совмещения информации. Второй тип проблем совместного анализа данных связан с построением модели, описывающей взаимосвязь этих данных. Этапами построения такой модели может стать выделение информации о параметрах совмещенных данных, имеющих высокую пространственную корреляцию.

Качество применяемых методов совмещения данных различного пространственного разрешения, т.е. характер и величина искажений, вносимых в исходные данные при совмещении, изучено недостаточно. В исследовании за критерий качества совмещения принята корреляция отдельно исходных и отдельно преобразованных данных. В первом случае это оправдано тождественностью исследуемых объектов, во втором — наличием известной (полученной эмпирически) аналитической связью между различными типами совмещаемых данных. В работе

опробованы четыре метода пространственного совмещения данных с приведением их к единому пространственному разрешению. Реализован алгоритм интерполяции данных на географическую сетку. С использованием описанных выше методов выполнено совмещение данных МСЗ, метеостанций и радиолокаторов над различными районами Урала. Для проверки качества совмещения исходных данных проведен корреляционный анализ совмещенных данных.

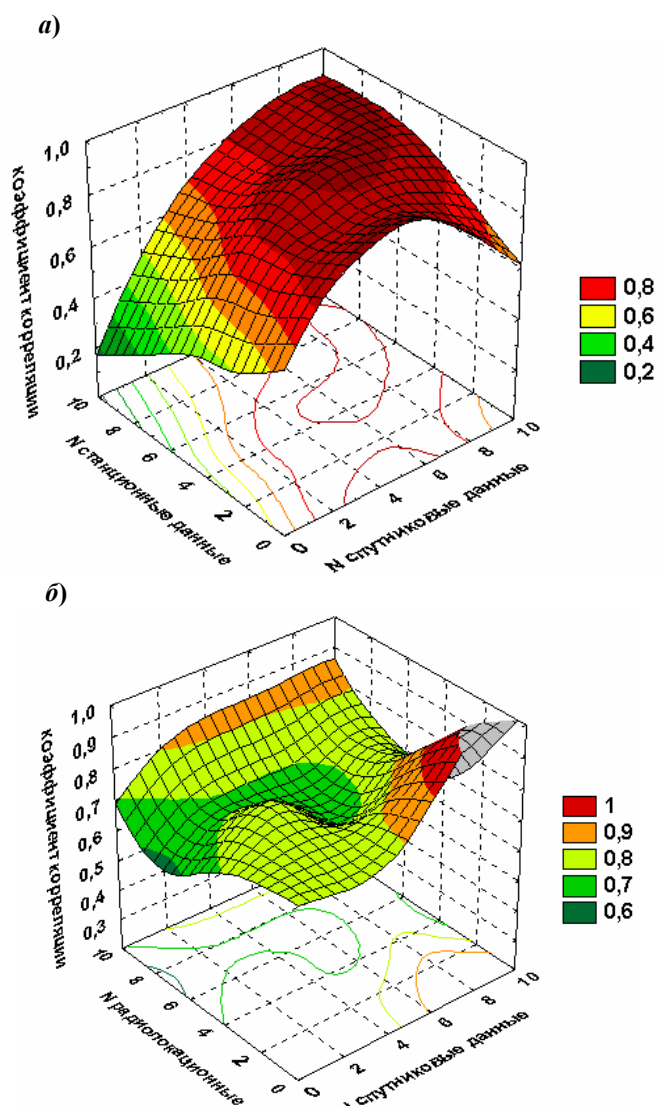


Рис. 6. Характерные функции коэффициента корреляции совмещенных данных за теплый (а) и холодный (б) периоды

Качество пространственного совмещения данных определялось по положению и величине максимума функции взаимной корреляции изображений. На рис. 6,а показан характерный вид функции по данным МСЗ и метеостанций, по горизонтальным осям – взаимное совмещение в баллах облачности. Для исследования временной изменчивости характеристик наблюдаемых объектов проводился корреляционный анализ совмещенных изображений, полученных в разное время. На рис. 6, б приводятся характерные графики коэффициентов корреляции совмещенных данных за теплый и холодный периоды. Во всех случаях коэффициент корреляции падает с уменьшением балла облачности. Относительное изменение рассчитанной величины k в зависимости от примененных методов может быть довольно значительным. Этот факт указывает на важность обоснованного метода совмещения при комплексном анализе данных.

Таким образом, исследованы некоторые аспекты пространственно-временного совмещения спутниковых и наземных данных. Полученные результаты свидетельствуют о значительных потенциальных возможностях использования спутниковых измерений для оценки количества облачности. Применение разработанной процедуры анализа снимков позволяет определить количество облачности с погрешностями, не превышающими 2 баллов в 80% всех случаев

сопоставления спутниковых и наземных наблюдений. Эффективность разработанной процедуры оценки количества облачности позволяет предложить ее в качестве инструмента для осуществления мониторинга облачного покрова и решения задач региональной климатологии.

Все перечисленные методики, при их удовлетворительной точности, могут применяться в анализе и прогнозе погодных условий, существенно дополняя стандартную метеорологическую информацию.

Библиографический список

1. *Герман М.А.* Космические методы исследования в метеорологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1985.
2. *Руководство* к прогнозу опасных осадков, града и шквалов по данным метеорологических радиолокаторов и искусственных спутников Земли. СПб: Гидрометеоиздат, 1996.

N.I. Tolmacheva, L.N. Ermakova RESTORATION OF METEOROLOGICAL FIELDS UNDER SATELLITE AND RADAR IMAGES OF OVERCAST

The research that was carried out and supported with the earlier numerical analysis' structures, according to the data of meteorological radio-locators and meteorological Earth satellites allows to make the conclusion about the determination of atmosphere processes of average scale. The developed methodology of complex data analysis and reveal the average-structural features of cloudiness give the opportunity to combine the existing methods of renewal and employ it in order to reach the short-term forecast weather tasks.

K e y w o r d s: the meteorological satellite, restoration, meteorological parametres