

КОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ



Н.И. Толмачева,
кандидат географических наук,
доцент кафедры метеорологии
и охраны атмосферы,
Пермский государственный
университет



Н.А. Калинин,
доктор географических наук,
заведующий кафедрой
метеорологии и охраны
атмосферы,
Пермский государственный
университет

Изложено состояние научных исследований метеорологических процессов с рассмотрением физических основ их распознавания по космической информации. Обсуждаются вопросы, требующие дальнейшего исследования. Приводятся результаты оценки метеорологических параметров по снимкам с метеорологических спутников и радиолокационной информации, основанные на комплексном учете значений яркостных и текстурных характеристик облачности по космическим снимкам. Применение данного подхода показало, что результаты диагноза и прогноза облачности, осадков, скорости и направления ветра по информации с метеорологических спутников могут использоваться в прогностических целях. Рассматривается ряд проблемных вопросов по использованию на кафедре метеорологии и охраны атмосферы Пермского госуниверситета виртуальной спутниковой лаборатории для получения и обработки данных от оперативных космических систем наблюдений.

Информационное обеспечение современного общества данными о состоянии и тенденциях изменения характеристик окружающей среды актуально в настоящее время. Традиционным способом решения задачи наблюдения за процессами, протекающими на поверхности и в атмосфере Земли, является организация наземной сети пунктов наблюдения. Однако этот метод сбора информации о состоянии окружающей среды требует больших материальных ресурсов и нахождения людей в труднодоступных районах.

Развитие передовых космических технологий позволяет осуществлять сбор не-

обходимых данных об атмосфере эффективнее и с меньшими затратами, более надежно и регулярно, получать характеристики окружающей среды с большей точностью. Задачи, решаемые космическими системами, можно разделить на две группы: задачи, при решении которых невозможно обойтись без спутниковых данных, и те, где спутниковая информация играет вспомогательную роль.

К первой группе задач относятся глобальный мониторинг поверхности и атмосферы Земли, измерение потоков заряженных частиц и электромагнитных полей в околоземном космическом про-

странстве, дистанционное зондирование труднодоступных районов. Задачи второй группы представлены проблемами регионального масштаба, имеющими значение для конкретных отраслей хозяйственной деятельности, где применение спутниковой информации связано с существенной экономией финансовых и временных ресурсов. Таким образом, развитие исследований в области изучения, мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы, климата, опасных метеорологических явлений, чрезвычайных ситуаций, влияния производственной деятельности на состояние окружающей среды требует использования космических средств наблюдений.

Экономический результат применения космической информации достигается за счет более оперативных хозяйственных решений и проявляется в приросте производства продукции, уменьшении ущерба от различных явлений естественного или антропогенного характера. Управленческие решения в области продовольственной политики, развития инфраструктуры городов, распоряжения водными и лесными ресурсами в значительной мере зависят от результатов мониторинга состояния окружающей среды. Получение глобальных оперативных данных о состоянии экосистемы Земли возможно только с помощью измерительных средств космического базирования, поскольку наземная наблюдательная сеть охватывает не более 30 % территории Земли. По мере развития спутниковых наблюдательных систем становится ясно, что космическая информация и соответствующие технологии играют в XXI веке все более важную роль в экономическом и социальном развитии человечества, включая получение информации об окружающей среде.

Основными направлениями исследований кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского университета, связанными с использованием космической информации, являются: оперативное гидрометеорологическое обеспечение, мониторинг чрезвычайных ситуаций (ЧС) и их последствий, экологический мониторинг, изучение атмосферы и земной поверхно-

сти в хозяйственных целях. Отечественная метеорологическая космическая система входит в глобальную космическую подсистему наблюдений гидрометеорологического назначения на основе национальных космических систем при координирующей роли Всемирной метеорологической организации (ВМО): метеорологические спутники Земли (МСЗ) основных операторов США, Европейского сообщества, Японии, Индии, КНР на геостационарной орбите (GOES, METEOSAT, MSG и др.) и система оперативных американских искусственных спутников Земли (ИСЗ) серии NOAA и европейских – серии EPS на приполярных орбитах. В России запущен МСЗ нового поколения «МЕТЕОР-М» № 1, оснащенный аппаратурой высокой информативности.

Перечислим основные информационные продукты, получаемые по данным МСЗ и используемые для исследований: карты температуры верхней границы облаков и подстилающей поверхности, снежного и ледового покрова, оценки параметров облачности и осадков, данные мониторинга гидрометеорологических явлений, наблюдения антропогенных изменений природной среды, концентрации озона, оценки влагосодержания атмосферы, вертикальные профили температуры и влажности в атмосфере. Метеорологические спутники дают возможность получения глобальной гидрометеорологической информации, в том числе в районах, не охваченных сетью метеостанций. Они обеспечивают регулярное поступление информации, используемой для прогноза погоды и предупреждения опасных явлений. Усвоение спутниковых данных в схемах прогноза погоды позволяет существенно повысить его достоверность.

В последние годы авторами ведутся работы (на оперативной и экспериментальной основе) по ассимиляции различных видов спутниковой информации в региональных схемах прогнозов погоды. В зависимости от степени развития системы ассимиляции усваиваются различные по составу и объему наборы спутниковых данных. Проработаны процедуры усвоения следующих видов спутниковой ин-

формации в схеме прогноза: данные о векторах ветра по информации МСЗ и измерения ИК зондировщиков. В качестве контрольных переменных в прогностической схеме используется геопотенциальная высота 500 гПа, относительная влажность на 850, 500 гПа, вектор ветра на 1000 гПа. Необходимыми условиями проведения исследований являются обеспечение доступа к оперативной спутниковой информации и наличие вычислительных ресурсов. Потребность в вычислительных ресурсах объясняется тем, что возросли объемы спутниковой информации и для усвоения спутниковых данных требуется проведение трудоемкой обработки и анализа спутниковой информации. Важность усвоения и использования указанной информации отмечалась ВМО.

Авторами разработана программа тематической обработки изображений облачности с космических аппаратов NOAA в формате АРТ, позволяющая восстанавливать фактические и прогностические значения 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 в целях предупреждения ЧС. Ниже приведены принципы восстановления некоторых метеорологических полей.

При восстановлении поля ветра у земли и на изобарических поверхностях необходимо помнить о том, что 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 вос-

становления поля ветра по космической информации проводились на основе архивов спутниковых и аэрологических данных для территории России за период с 01.01.2000 г. по 31.12.2006 г. Анализировались сроки 0 и 12 ч Всемирного согласованного времени (ВСВ). Разность по времени между снимком и аэрологическими измерениями не превышала 30 мин. В исследовании проанализировано 12 500 снимков с интересующей информацией при наличии циклонического образования. Для оценки скорости и направления ветра определяется квадрат, измеряется расстояние до точки, в которой производится оценка ветра, затем, используя 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. После определения параметров ветра производится построение высотных ветровых полей. Для этого в программе создается таблица, в которую не только заносятся данные о ветре, но и координаты точки, в которой они получены. Чем больше точек, тем точнее произойдет интерполяция значений. Над территорией изучаемого района вихревые структуры наблюдаются часто, но распределение их по сезонам года неравномерное.

Рассмотрим ситуацию, сложившуюся 4 января 2006 г. У земли циклон, который виден на снимке, находится в стадии максимального развития, его горизонтальные размеры 1500 км. Разобьем облачную спираль на квадраты, определим направление ветра в 10 точках, равномерно распределенных по облачной спирали, вве-

дем поправочный коэффициент. Найдем значение скорости (f , м/с) и направления (d , град.) ветра в каждой точке (табл. 1), и восстановленное поле ветра у земли наложим на космический снимок в два слоя (рис. 1).

деленное по снимку МСЗ, Δ – отклонение вектора ветра («-» – вправо, «+» – влево). Построим поля ветра на основных изобарических поверхностях (рис. 2).

На всех высотах (850, 700, 500 и 300 гПа) над рассматриваемым районом

Таблица 1

Восстановленные данные о скорости и направлении ветра

№ п/п	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

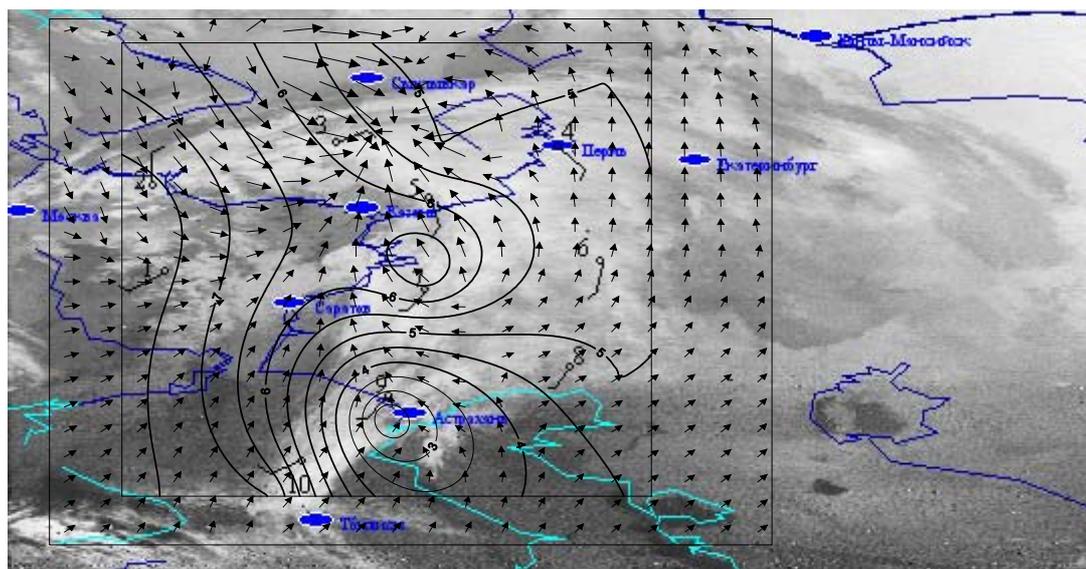


Рис. 1. Восстановленное поле ветра у земли

В предварительных стадиях циклон развился по высоте, стал высоким барическим образованием, и замкнутая циркуляция прослеживается на поверхности 700 гПа, поэтому при восстановлении поля ветра на поверхностях 850 и 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 $\varphi = \varphi_i + \Delta$, где φ_i – направление вектора ветра, опре-

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, разбивается на квадраты; 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 на-

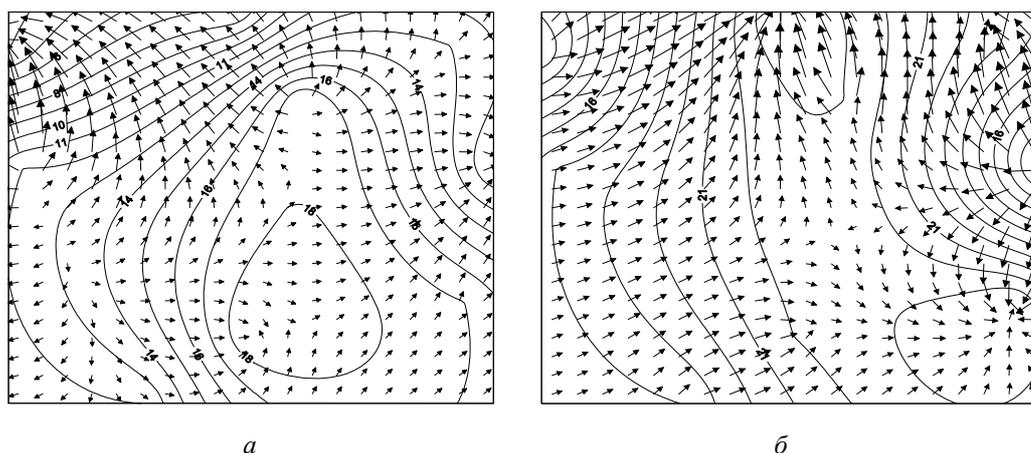


Рис. 2. Восстановленные поля ветра на изобарических поверхностях:
а – 850 гПа, б – 500 гПа

правления и скорости ветра у земли. При восстановлении параметров поля на высоте определяем вид циркуляции. В случае незамкнутой циркуляции вводим поправочный коэффициент, учитывающий, в какой части облачной полосы находится точка, для которой вычисляются значения ветра, в случае замкнутой – 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. Применение 3–4 контрольных станций уменьшает эти ошибки в два раза. Использование 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, а также высоты распространения барических образований.

При диагнозе и прогнозе 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 состоит в анализе областей с осадками и прогнозе ко-

личества и вероятности их выпадения по космическим снимкам. При этом 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 на территории Урала использовались спутниковые снимки с ИСЗ NOAA за период 2000–2006 гг.; составлена выборка из 972 серий облачных вихрей (рис. 3). Подбирались снимки за сроки 0, 12 и 24 ч ВСВ, а также приземные карты и карты барической топографии 700, 500, 300 и 200 гПа. На космических снимках облачные вихри прослеживались в течение 2–5 суток от 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, в географической информационной системе (ГИС) по слоям создавались: сетка координат, расположение циклона, зоны осадков и оси струйного течения.

По спутниковым снимкам и картам барической топографии строились схематические карты эволюции облачных вихрей, зон осадков и струйных течений (рис. 4).

По результатам составленных схема-

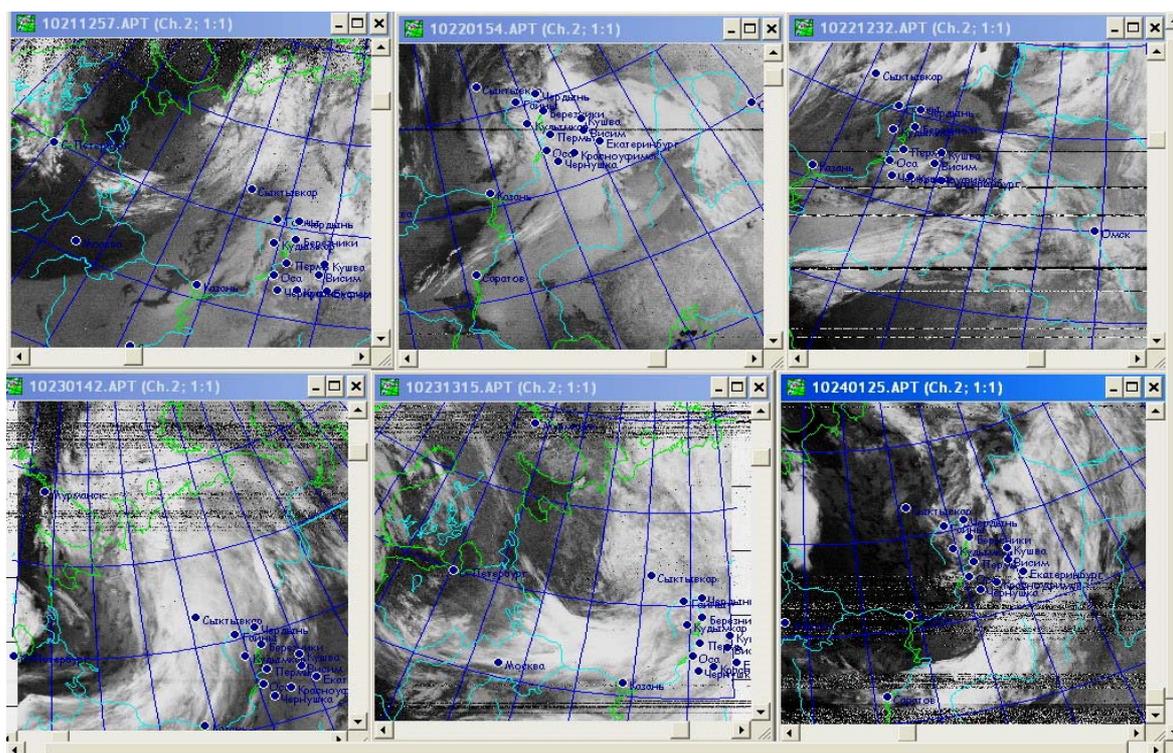


Рис. 3. Обработываемая серия космических снимков облачности

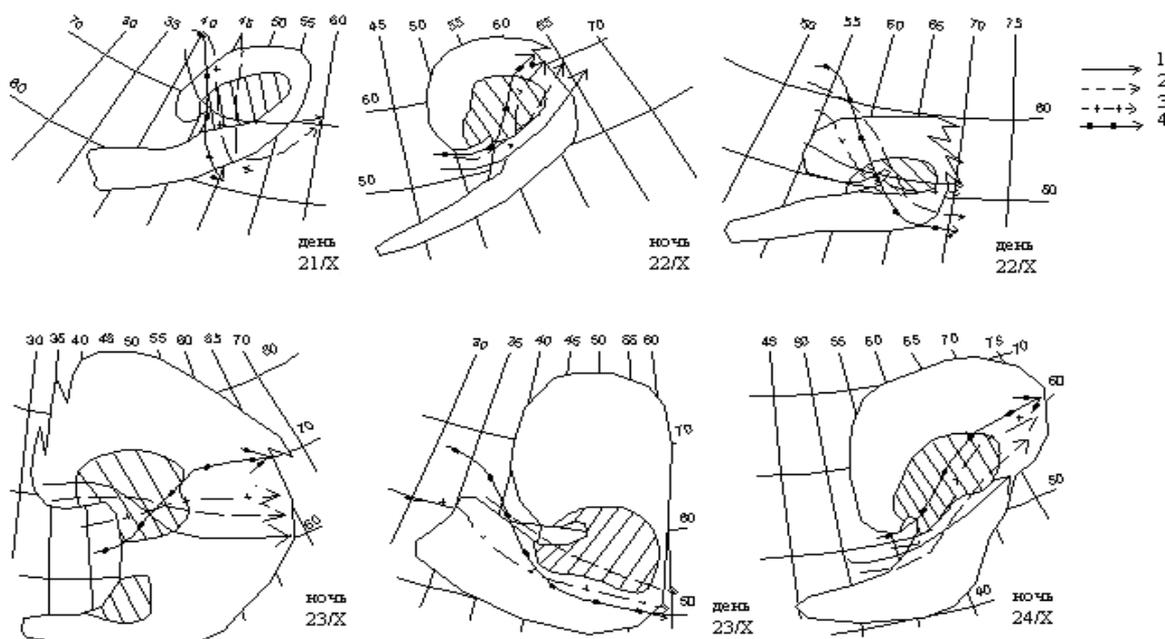


Рис. 4. Эволюция облачного вихря, зоны значительных осадков и осей струйных течений на поверхностях 700, 500, 300 и 200 гПа за период 21–24 октября (1 – 700 гПа, 2 – 500 гПа, 3 – 300 гПа, 4 – 200 гПа; заштрихованная область – зона осадков)

тических 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).

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 определена повторяемость положения зоны осадков по отношению к оси струйного течения различной кривизны. В тех случаях, когда зона осадков ле-

Таблица 2

Положение зоны осадков	Изобарическая поверхность			
	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)

жит 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, определялись ошибка и оправдываемость прогноза количества осадков по фактической сумме.

При моделировании полей облачности по спутниковой информации необходимо помнить, что если по длительности спутниковые 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 дают ценную информацию.

Цель исследования состояла в 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). Син-

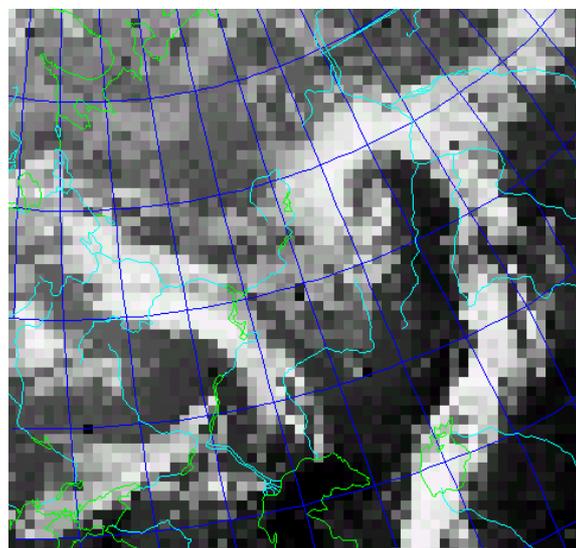


Рис. 5. Космический снимок облачного покрова 07.04.2008 г., 01 ч 33 мин с фрагментами для подсчета количества облачности и осадков

хронный 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 (авиаметеостанция Пермь, авиаметеоцентр Екатеринбург).

Для каждого заданного порогового значения яркости и фрагмента космического снимка производился подсчет числа облачных пикселей и степени покры-

тия небосвода облачностью (%). 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).

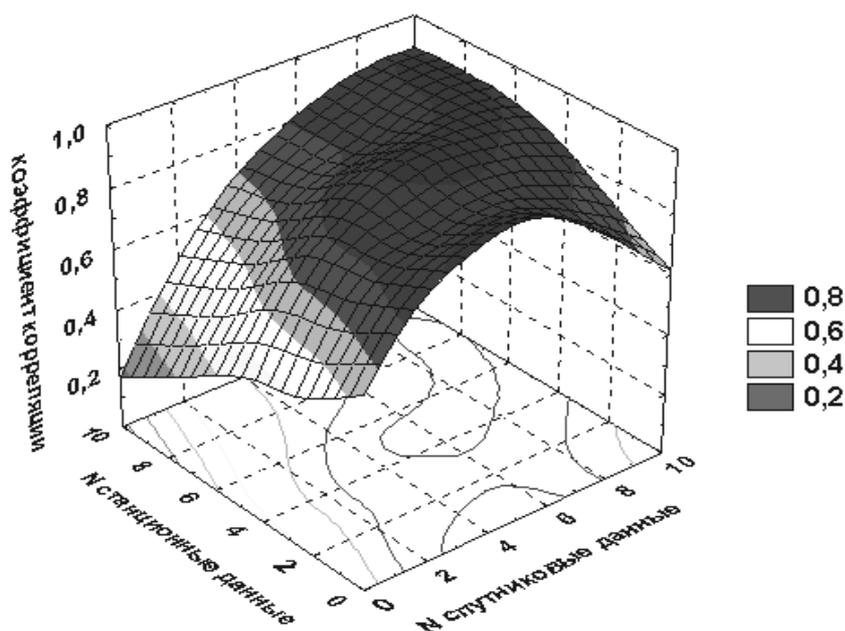
Поиск пороговых значений показал, что практически все рассматриваемые значения попадают на некоторый интервал, то есть число случаев, когда различия между оценками количества облачности по спутниковым и наземным данным не превышают 3 баллов, в сущности одинаково. Для каждой из 11 или 9 цифр кода (0–10 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 от общего числа 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 повышается 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.

Изучено качество применяемых мето-

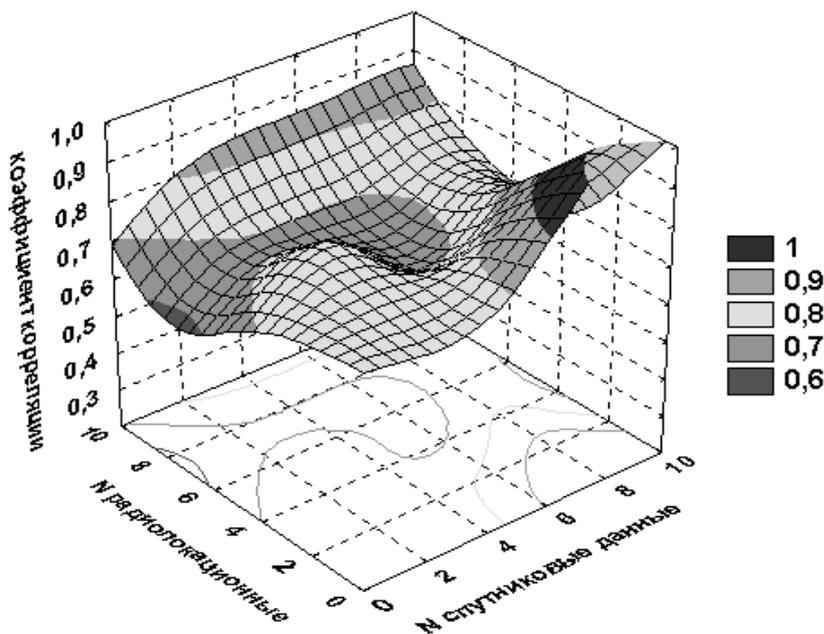
дов совмещения данных различного пространственного разрешения, то есть характер и величина искажений, вносимых в исходные данные при совмещении. В исследовании за критерий качества совмещения принята корреляция отдельно исходных и преобразованных данных. В первом случае это оправдано тождественностью 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.

Пространственное совмещение 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 облачности в баллах. Для исследования временной изменчивости проводился корреляционный анализ совмещенных изображений, полученных в разное время. На рис. 6 приводятся характерные графики коэффициентов корреляции совмещенных данных за теплый и холодный периоды. Во всех случаях коэффициент корреляции снижается с уменьшением балла облачности. Относительное изменение рассчитанной величины коэффициента в зависимости от примененных методов может быть довольно значительным. Этот факт показывает важность обоснованного метода совмещения при комплексном анализе данных.

Полученные результаты свидетельствуют о значительных потенциальных возможностях использования спутниковых измерений для оценки количества облачности. Применение разработанной



а



б

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

процедуры анализа позволяет определить количество облачности по космической информации с погрешностями, не превышающими 2 балла в 80 % всех случаев, и предложить ее в качестве инструмента для осуществления мониторинга облачного покрова и решения задач региональной климатологии. Все перечисленные методики, имея удовлетворительную точность, могут применяться для анализа и

прогноза погодных условий, существенно дополняя наземную метеорологическую информацию.

В Пермском университете на кафедре метеорологии и охраны атмосферы разработан проект, включающий дисциплины «Космические методы исследований в метеорологии», «Космические методы экологического мониторинга», «Дистанционные методы исследования мезомете-

орологических процессов» и обеспечивающий использование виртуальной лаборатории Института повышения квалификации (ИПК) Росгидромета (г. Железнодорожный Московской области), который основан:

– на интеграции данных в области исследования Земли из космоса и космического экологического мониторинга. Например, архивы спутниковых данных о параметрах тайфунов и лесных пожаров, разливах рек и температуре поверхности океана, скорости воздушных течений, а также об экологии урбанизированных территорий;

граммы, научно-методические материалы и презентации вариантов учебных заданий, отражающих применение космических снимков. Отметим среди ресурсов, прежде всего, материалы, обеспечивающие возможность свободного доступа к спутниковым снимкам.

В виртуальной спутниковой лаборатории ИПК Росгидромета представлены также учебные материалы, иллюстрирующие применение спутниковых данных в метеорологии и экологии, разработанные автором (рис. 7). Методика интернет-семинаров обеспечивает последовательное усложнение курса: от простой визуальной

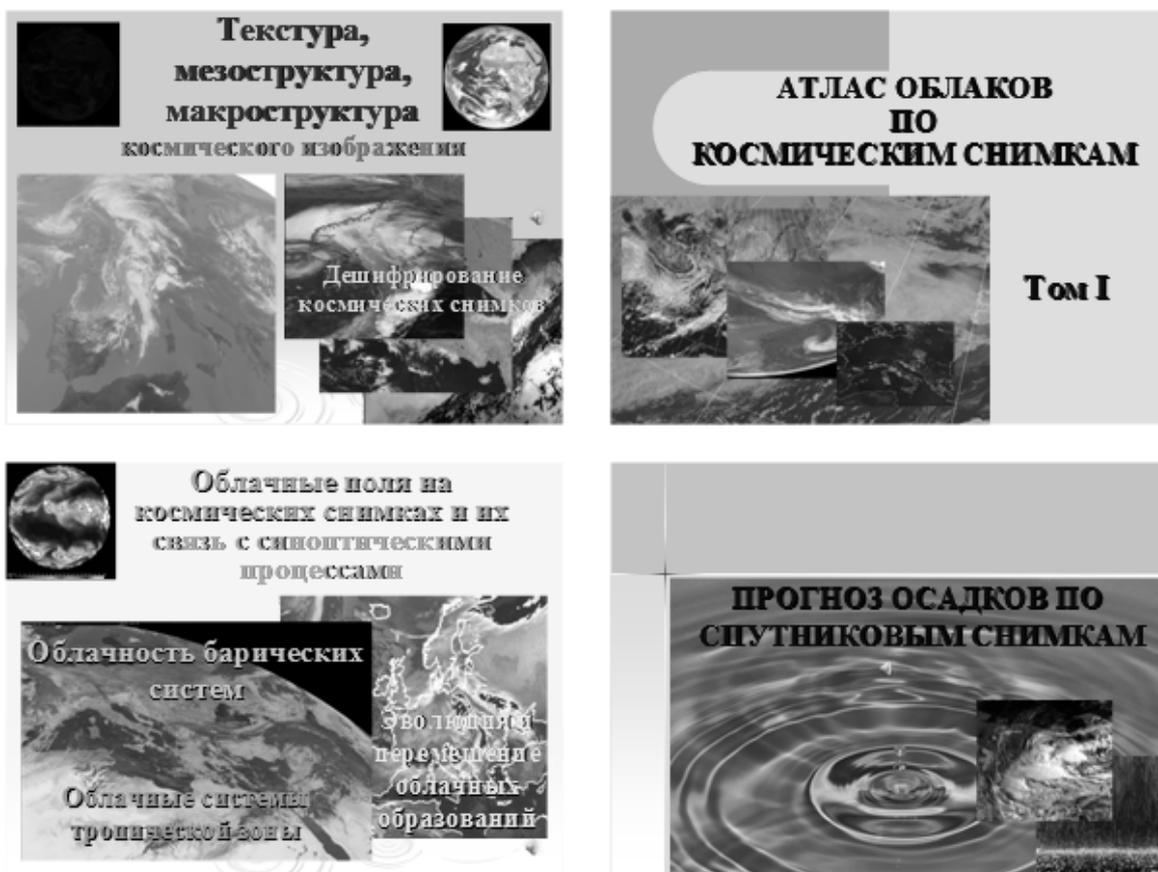


Рис. 7. Пример разработанных модулей в виртуальной спутниковой лаборатории

– на информационной поддержке дистанционного космического образования.

Создана система, объединяющая информационные ресурсы спутниковой метеорологии: мультимедийные занятия и электронные коллекции спутниковой информации, зарегистрированные в каталогах. Учебные материалы в рамках дистанционного обучения доступны на Web-сервере ИПК Росгидромета: учебные про-

интерпретации и демонстрации спутниковых данных до классификации и анализа космических снимков различных географических регионов. На данном этапе возрастает роль виртуальной спутниковой лаборатории не только как дополнительного средства получения информации, но и как способа улучшения качества отбора материала, а также более продуктивного использования учебного времени и времени на самообразование. Например,

компьютерный тренинг дает возможность выбрать уровень сложности задания, что позволяет студенту освоить тему или курс поэтапно. Такая индивидуализация образовательного процесса помогает выбрать свою траекторию освоения материала.

Перспективным в данном направлении является создание в виртуальной спутниковой лаборатории электронного банка спутниковых данных, что позволяет студентам использовать его для проведения исследований и формирования собственных идей. Теоретические и практические занятия со студентами разного уровня подготовленности с использованием виртуальной спутниковой лаборатории дают прекрасные результаты развития коммуникативной компетентности, способствует формированию опыта научного и делового сотрудничества. Развитие космического образования на кафедре метеорологии Пермского университета предусматривает взаимодействие в разработке программ и исследований с Гидрометцентром России, ИПК Росгидромета, Уральским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Пермским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, другими вузами (Московский им. М.В. Ломоносова, Казанский и Саратовский университеты) в области спутникового мониторинга, интернет-технологий и методов обработки данных.

Обеспечение регионального мониторинга атмосферы новыми техническими средствами и методиками измерений решает только одну сторону проблемы. Другой, не менее важной, стороной является геоинформационное обеспечение, под которым понимается не только сбор, хранение и обработка результатов оперативных наблюдений, но и накопление необходимых знаний о состоянии атмосферы и атмосферных процессах, а также организация системного анализа, моделирования и обобщения всего информационного материала в доступной форме. Ниже дается краткое описание основных геоинформационных задач и особенностей их решения при региональном мониторинге

атмосферы, а также описание методологии решения этих задач на кафедре метеорологии и охраны атмосферы Пермского университета. Основное внимание уделяется тем задачам, которые связаны с климатоэкологическим мониторингом, представляющим собой актуальное направление атмосферных исследований.

Известно, что наибольшей информативностью для регионального мониторинга обладают спутниковые измерения по сравнению с данными традиционных наземных наблюдений. Однако из-за искажающего влияния атмосферы требуется коррекция данных, без этого не могут быть с достаточной точностью восстановлены количественные связи между регистрируемым излучением и характеристиками состояния зондируемого объекта. Разработка методических средств является важной геоинформационной составляющей регионального спутникового мониторинга.

Большой интерес представляют задачи оценки и картирования риска возникновения смога в промышленных центрах и загрязнения почв атмосферными осадками, возникновения зон экологической опасности на территории региона из-за атмосферных загрязнений. Эти и подобные задачи решаются в настоящее время с использованием космического мониторинга атмосферы и средств геоинформационных технологий. Особенности задач требуют разработки нового методологического подхода, предназначенного для интеграции разнородной климатоэкологической информации, которая может накапливаться и храниться в ГИС в виде моделей и баз данных. Опыт создания и использования таких систем в решении региональных задач показывает, что эти системы могут рассматриваться как перспективный инструмент для решения проблем наблюдений.

В настоящее время работы в области геоинформационного обеспечения регионального мониторинга атмосферы и окружающей среды проводятся по трем основным направлениям:

– создание баз данных для обеспечения информационно-справочного режима;

– обработка космических изображений с целью получения картографической и экологической информации для ГИС;

– использование геоинформационных приложений для анализа и прогноза состояния атмосферы и природных ресурсов.

Большинство из опубликованных авторами материалов относится к первому и третьему направлениям, которые характеризуются применением технологий, основанных на использовании программного обеспечения широко распространенных в мире векторных ГИС (ArcInfo, ArcView, ArcCad, MapInfo, WinGIS и др.). В них предусматривается накопление и использование метеорологических и климатоэкологических характеристик.

В заключение отметим, что локальные, региональные и глобальные изменения окружающей среды в последние десятилетия усиливаются. Их контроль, прогноз и регулирование становятся не-

обходимостью, признанной международным сообществом. Для совершенствования прогноза погоды, теории климата и контроля загрязнений атмосферы широко используются космические методы и средства. Развитие измерений с метеорологических спутников повысило уровень наших знаний о мезомасштабных процессах в атмосфере, поскольку эти системы наблюдений обладают большой разрешающей способностью во времени и пространстве. Интерес к мезомасштабным возмущениям обусловлен тем, что с ними связаны опасные явления погоды, причиняющие значительный экономический ущерб (сильные шквалистые ветры, интенсивные осадки, вызывающие паводки). Проведенный анализ показывает целесообразность разработки новых методов исследования параметров атмосферы с учетом развития метеорологических космических систем.

Библиографический список

1. Калинин Н.А., Смирнова А.А., Ветров А.Л. Географические информационные системы в метеорологии. – Перм. ун-т. Пермь, 2007. – 368 с.
2. Калинин Н.А., Толмачева Н.И. Комплексное использование дистанционных средств наземного и космического базирования для анализа условий погоды. – Перм. ун-т. Пермь, 2003. – 260 с.
3. Калинин Н.А., Толмачева Н.И. Космические методы исследований в метеорологии. – Перм. ун-т. Пермь, 2005. – 348 с.
4. Справочник потребителя спутниковой информации / под ред. В.В. Асмуса и О.Е. Милехина. – СПб.: Гидрометеоздат, 2005. – 114 с.
5. Толмачева Н.И. Восстановление параметров поля ветра у Земли и на изобарических поверхностях // Сб. науч. тр. междунар. конф. по авиационной и спутниковой метеорологии – СПб.: изд-во РГГМУ, 2008. – С. 90–92.
6. Толмачева Н.И. Дистанционные методы исследования мезометеорологических процессов. – Перм. ун-т. Пермь, 2010. – 200 с.
7. Толмачева Н.И., Булгакова О.Ю. Метеорологические радиолокаторы и радионавигационные системы управления воздушным движением. – Перм. ун-т. Пермь, 2007. – 154 с.
8. Толмачева Н.И., Ермакова Л.Н. Основы метеорологических наблюдений. – Перм. ун-т. Пермь, 2005. – 260 с.
9. Толмачева Н.И., Шкляева Л.С. Космические методы экологического мониторинга. – Перм. ун-т. Пермь, 2006. – 296 с.