

Методические вопросы верификации результатов автоматизированного распознавания осадков и гроз по информации с геостационарных спутников

М.В. Бухаров, Н.С. Миронова, И.Г. Ущeko

*ГУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»
123242, Москва, Б. Предтеченский пер., 7
E-mail: bukharov@planet.iitp.ru*

Рассмотрено влияние геометрических параметров съемки с геостационарных спутников на соответствие между результатами спутникового распознавания осадков и гроз и фактическими данными об этих явлениях. Количественно подтверждено различие между параметрами облачности, наблюдаемой с разных геостационарных спутников в одно и то же время съемки, указанное на соответствующих снимках. Обоснована необходимость проведения коррекции отклонений в географической привязке облачности разной высоты на спутниковых снимках.

Введение

Правильность распознавания атмосферных явлений и точность оценки значений интересующих параметров являются важными показателями качества методов количественного метеорологического диагноза, проводимого по спутниковой информации. Поэтому разработанные в последние годы новые методы распознавания осадков и гроз, а также оценки их интенсивности по информации с геостационарных ИСЗ [1], также требуют проведения тщательной опытной проверки их соответствия результатам синхронных наблюдений на метеорологических станциях.

Спецификой спутниковых методов является то, что оценка значений метеорологических параметров проводится косвенным образом. При этом учитываются не только значения и пространственное распределение радиационной температуры на верхней границе облачности, измеряемой в ИК-диапазоне, но и синхронные прогностические поля температуры и влажности воздуха в нижнем слое атмосферы [1]. Для построения спутниковых карт метеорологических параметров использован действующий макет автоматизированной информационной системы «Метео-ИСЗ», созданный в ГУ «НИЦ «Планета» с целью тематической обработки информации с геостационарных спутников.

Предварительный анализ показал, что при верификации важно учитывать следующие факторы: фактическое время спутниковой съемки наблюдаемых метеорологических явлений, форму и протяженность элемента пространственного разрешения спутниковой аппаратуры, специфику картографического представления результатов спутникового диагноза, точность географической привязки спутниковых данных и др.

Рассмотрим более детально влияние каждого из таких факторов.

Факторы, влияющие на правильность верификации

Фактическое время спутниковой съемки

Особенностью действующих геостационарных спутников является то, что у разных спутников не одинаковы интервалы времени, в течение которых проводится однократная съемка земной поверхности. Это приводит к тому, что снимки одного и того же района, полученные с разных спутников и имеющие одинаковую легенду время съемки, соответствуют разным моментам времени наблюдения одних и тех же метеорологических явлений. Вследствие этого атмосферные

процессы (особенно в зонах активной конвекции) на таких снимках различаются по активности, размерам и географическому положению. Для оценки временных расхождений рассмотрим более детально специфику съемки с геостационарных спутников серии «Meteosat».

Обзор земной поверхности с геостационарных спутников осуществляется построчно. Получение одной строки обзора (сканирование от восточного края видимого диска Земли к западному) проводится за время не более 32 мс и обеспечивается за счет вращения спутника вокруг своей оси с угловой скоростью 100 оборотов в минуту. Строки сканирования последовательно смещаются в направлении от южного полюса Земли к северному.

Время, в течение которого спутники первого поколения Meteosat-7 и Meteosat-5 формируют изображение, состоящее из 2500 строк сканирования, составляет 25 минут. С учетом времени, необходимого на калибровку спектральных каналов радиометра и возврата его оптической системы в исходное положение, период обзора Земли на указанных спутниках составляет 30 мин.

На спутнике второго поколения Meteosat-8 установлена улучшенная вращающаяся камера видимого и ИК диапазона SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) [2]. Для обзора земной поверхности используются сразу три приемных детектора, которые позволяют за 1250 циклов сканирования получать изображение, состоящее из 3750 строк обзора. При скорости вращения спутника 100 оборотов в минуту, на проведение 1250 циклов сканирования требуется 12,5 мин. Калибровка SEVIRI и возврат ее оптической системы в исходное положение проводятся за время примерно 2,5 мин. Учитывая это, период обзора Земли с Meteosat-8 составляет 15 мин, что в два раза меньше, чем у Meteosat-7 и Meteosat-5.

Для простейшей оценки величины расхождения во времени между моментами съемки с разных спутников Meteosat одних и тех же районов земного шара, и отклонением этих моментов от времени ближайшего срока наземных метеорологических наблюдений, можно получить следующее соотношение:

$$T_{\text{исз}} \approx - [T_1 + T_2 * (1 + \sin\varphi / \sin\varphi_m) / 2],$$

где $T_{\text{исз}}$ – условное время спутникового наблюдения района съемки, расположенного на географической широте φ ; T_1 – время калибровки измерительной аппаратуры и ее возврата в положение для начала следующего цикла сканирования земной поверхности; T_2 – продолжительность однократного цикла обзора видимой части земной поверхности (от южных до северных широт); φ_m – наибольшая географическая широта края земного шара, видимого с геостационарного спутника.

Графики соотношений между соответствующими значениями $T_{\text{исз}}$ и широтой места съемки, вычисленные для спутников Meteosat-8 и Meteosat-7, представлены на рис.1. При этом расчет проведен для диапазона широт от -75° (ю.ш.) до 75° с.ш., принятого при обработке и представлении результатов.

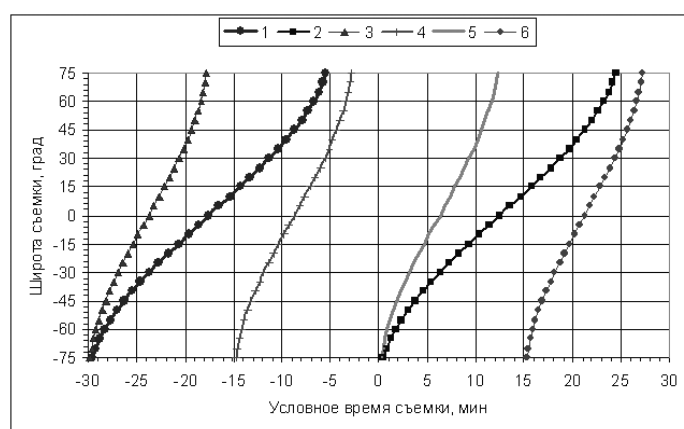


Рис.1. Графики взаимосвязи между географической широтой места и условным временем ее обзора с ИСЗ Meteosat-7 (1, 2) и Meteosat-8 (3-6) в разных сеансах съемки. В легенде времени соответствующих спутниковых снимков минуты записаны в виде условных значений: 00 (1, 5), 15 (6), 30 (2, 3) и 45 (4)

Из графиков, приведенных на рис.1, видно следующее. В течение каждых 60 минут проводятся два цикла съемки со спутника Meteosat-7 (кривые 1 и 2) и четыре цикла съемки со спутника Meteosat-8 (кривые 3-6). Причем, цикл получения снимка Meteosat-7, время легенды которого имеет окончание 00 минут, начинается примерно в -30 мин и заканчивается в -5 мин условного времени (кривая 1). Т.е. время в легенде снимка Meteosat-7 примерно соответствует времени окончания 30-ти минутного цикла обзора земной поверхности, калибровки аппаратуры и подготовки ее к следующему циклу сканирования.

В отличие от этого, снимок Meteosat-8, время легенды которого имеет то же окончание 00 минут, начинается примерно в 00 мин и заканчивается в 12.5 мин условного времени (кривая 5). Это приводит к тому, что при одинаковой легенде времени (00 мин) на снимках Meteosat-7 и Meteosat-8, фактическое время проведения съемки южных и северных широт Земного шара, различается соответственно от 30 до 18 мин (см. рис. 1, кривые 1 и 5). Такое различие в фактическом времени съемки с разных спутников является одной из причин, по которой географическое положение облачности, ее активность и результаты диагноза метеорологических параметров, оцениваемых по этим спутникам в одно и то же время легенды снимков, могут существенно различаться.

Следует отметить, что периодичность съемки с ИСЗ Meteosat-5 аналогична Meteosat-7. Однако моменты съемки одного и того же района этими спутниками совпадают не в любое время суток и могут различаться до ± 1 мин. Это связано с тем, что Meteosat-5 имеет заметный наклон (примерно 7°) плоскости орбиты по отношению к плоскости экватора Земли. В результате Meteosat-5 в течение суток периодически смещается (до $\pm 7^\circ$ широты) от экватора из южного полушария в северное и обратно. При смещении ИСЗ Meteosat-5 в северное полушарие, время съемки территории России с него опережает (примерно до 1 мин) время съемки с Meteosat-7. А при смещении в южное полушарие происходит соответствующая задержка момента спутниковой съемки. Причем, время суток, когда наблюдается максимальное смещение ИСЗ Meteosat-5 от экватора, монотонно меняется в течение года.

По сравнению с Meteosat-5, орбиты геостационарных спутников Meteosat-8 и Meteosat-7 существенно меньше отклонены от плоскости экватора Земли. Вследствие этого широтные уходы (в северное и южное полушария) их подспутниковых точек не превышают 1 и 2° соответственно.

Отметим, что информация о взаимосвязи между географической широтой места и условным временем ее обзора с ИСЗ Meteosat-7 и Meteosat-8 в разных сеансах съемки явно не изложена в известных публикациях по этим спутникам и впервые детально рассмотрена авторами в процессе проведенного анализа. Поэтому для проверки правильности полученных соотношений представляется целесообразным рассмотреть конкретный пример различий в параметрах облачности, возникающих при ее наблюдении с разных спутников в одно и то же время легенды снимков.

Проверка различий на снимках с одинаковой легендой времени

Для оценки фактических различий были отобраны серии снимков радиационной температуры облачности, наблюдавшейся в ИК диапазоне по Meteosat-8 и Meteosat-5 22.08.06 с 9 до 13 ч ВСВ. В этот период над территорией восточной Украины (в районе с координатами 37.0° в.д. и 47.5° с.ш.) наблюдалось чрезвычайно быстрое развитие мезо-масштабного конвективного комплекса (МКК) облачности. Причем, облачность этого МКК имела квазикруглую форму с резкими границами, а скорость увеличения его диаметра достигала 0.85 градусов широты в час или примерно 95 км/ч. Все снимки были приведены в одинаковую картографическую проекцию с одинаковым пространственным масштабом. Для сравнения на каждом снимке измерялась широтная протяженность МКК, динамика изменения которой, независимо зарегистрированная по двум спутникам, представлена рис. 2.

Из сравнения графиков, представленных на рис. 2, видно, что значения протяженности МКК, измеренные по снимкам Meteosat-5 и Meteosat-8 с одинаковым временем легенды, существенно различаются по величине. Причем, при времени легенды 9 ч 30 мин (на графике это соответству-

ет 9,5 ч), начало развития МКК облачности уверенно выявлено на снимке Meteosat-8 (размер МКК составил примерно 0.1° широты), а на снимке Meteosat-5 эта облачность еще не появилась. Начало развития кучево-дождевой облачности небольших размеров, соответствующей МКК, выявлено только на последующем снимке Meteosat-5, имевшем легенду времени съемки 10 ч 00 мин. При этом на снимке Meteosat-8, имевшем такую же легенду времени, протяженность МКК оказалась примерно в два раза больше, чем на снимке Meteosat-5. Этот результат свидетельствует о том, что фактическое время съемки Meteosat-8 однозначно больше времени, которое указывается в легенде снимка. Т.е. легенда снимка Meteosat-8 не может соответствовать моменту окончания сеанса съемки Земного шара.

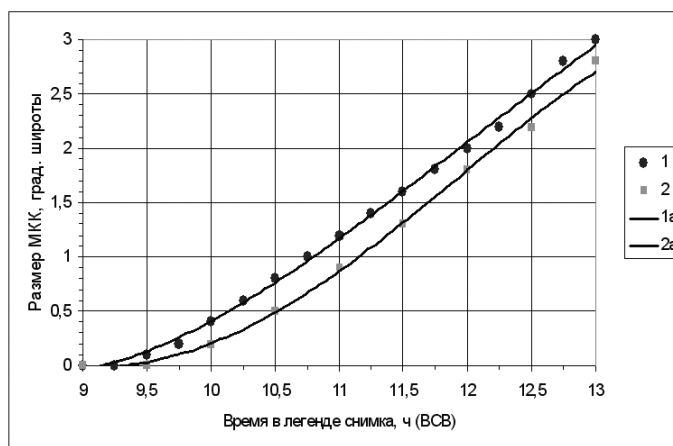


Рис. 2. Графики динамики изменения максимального размера МКК на снимках Meteosat-8 (1) и Meteosat-5 (2) и соответствующие кривые (1а, 2а) их полиномиальной аппроксимации. Съемка проведена 22.08.06 г. Координаты начала развития МКК: 37.0° в.д. и 47.5° с.ш.

Согласно рис. 2, линия полиномиальной аппроксимации размеров МКК, замеренных по снимкам Meteosat-5 (кривая 2а) смещена вправо по оси времени примерно на 0.33 ч (или 20 минут) по отношению к положению аналогичной линии аппроксимации, полученной для снимка Meteosat-8. Т.е. время, когда анализируемая облачность МКК наблюдалась с помощью Meteosat-8, оказывается примерно на 20 минут позже, чем время ее наблюдения с Meteosat-5.

Учитывая, что Meteosat-5 и Meteosat-7 являются аналогами по периодичности съемки и представления спутниковой информации, величину расхождения по времени можно независимо оценить и по графикам рис.1. Из них видно, что для северных районов с широтой 47° различие по времени между сеансами съемок с ИСЗ Meteosat-7 (кривая 1) и Meteosat-8 (кривая 5), имеющими одинаковое время легенды (00 мин), составляет около 20 минут. Причем, съемка данного района с Meteosat-8 начинается на 20 минут позже, чем с Meteosat-7. Полученное соответствие свидетельствует о правильности выше приведенных взаимосвязей между географической широтой места и условным временем ее обзора с разных номеров ИСЗ серии Meteosat.

Масштаб представления спутниковых данных

Известно, что протяженность элемента пространственного разрешения одного приемного детектора SEVIRI составляет примерно 4.8 км (в подспутниковой точке на поверхности Земли) [2]. Одновременное использование при сканировании трех приемных детекторов с частичным перекрытием их элементов обзора позволяет получать снимки с пространственной детальностью примерно до 3 км в подспутниковой точке (нормализованное пространственное разрешение).

По мере удаления от подспутниковой точки, расположенной на экваторе, увеличиваются расстояние от спутника до района анализа, угол падения, под которым проводится наблюдение

поверхности, и, как следствие, протяженность и геометрия элемента пространственного разрешения спутниковой аппаратуры. Причем, элемент разрешения на поверхности Земли принимает форму эллипса, малая ось которого перпендикулярна к направлению от подспутниковой точки на район анализа, а ее размер пропорционален произведению расстояния до спутника на угловое разрешение аппаратуры. Большая ось эллипса вытянута вдоль направления от подспутниковой точки на район анализа, а ее размер равен размеру малой оси, деленному на косинус угла падения принимаемого излучения.

Учитывая быстрый рост (до 30 км и более) продольных размеров элемента разрешения при широтах свыше 74° , эта широта принята в качестве предельной для результатов обработки и представления на картах информации с геостационарных спутников.

С целью качественного представления результатов обработки спутниковой информации в любой картографической проекции и наиболее адекватного совмещения ее с прогностическими данными, перед обработкой проводится дополнительное преобразование исходной спутниковой информации к унифицированному элементу разрешения протяженностью 0.1° по широте и долготе. При этом линейная протяженность унифицированного элемента разрешения по широте постоянна и близка к 11.1 км, а по долготе - зависит от широты места, уменьшаясь от 11 км на экваторе до 5.5 км и 3,1 км на широтах 60° и 74° соответственно.

Следует отметить, что до широты 63° унифицированный элемент разрешения оказывается пространственно несколько грубее нормализованной спутниковой информации. Вследствие этого в таких широтах несколько ухудшается качество распознавания локальной кучево-дождевой облачности и сопутствующих ей опасных явлений. В более высоких широтах унифицированный элемент разрешения оказывается пространственно более детальным, чем нормализованная спутниковая информация.

Специфической особенностью очагов ливневых осадков из Сб является то, что их горизонтальная протяженность тем меньше, чем больше интенсивность [3]. При интенсивности дождя примерно 10 мм/ч и более они имеют протяженность соответственно около 2 км и менее. Т.е. протяженность таких осадков оказывается существенно меньше размера унифицированного элемента разрешения, используемого для представления информации с геостационарных спутников.

Отклонения в географической привязке облачности разной высоты

При сравнении увеличенных фрагментов карт с фактическими данными наземных измерений прослеживается некоторое несоответствие между географическими координатами локальных опасных атмосферных явлений, диагностируемых по спутниковым снимкам, и местом их наземной регистрации. Причем, несоответствие тем заметнее, чем больше высота верхней границы облачности, в пределах которой дешифрируются атмосферные явления.

Основной причиной этого эффекта является то, что географическая широта и долгота любой облачности рассчитывается в зависимости от угла, под которым она видна со спутника на принятой эллипсоидальной поверхности Земного шара. Причем, чем больше углы наблюдения и высота облачности, тем существеннее оказывается различие между фактическими координатами облачности и результатом их географической привязки на исходных спутниковых снимках.

Оценку погрешности географической привязки облачности разной высоты можно провести по следующей формуле:

$$dL = H_{вг} * \operatorname{tg} \Theta ,$$

где dL – смещение (км) географического положения облачности на исходном спутниковом снимке относительно ее истинного географического положения; $H_{вг}$ - высота (км) верхней границы наблюдаемой облачности; Θ – зенитный угол, отсчитываемый между направлением на геостационарный спутник и вертикалью в месте наблюдения облачности.

Для количественного анализа обратимся к графикам на рис. 3, где приведены рассчитанные значения смещений в привязке облачности, которая имеет разную высоту верхней границы расположена в разных географических широтах.

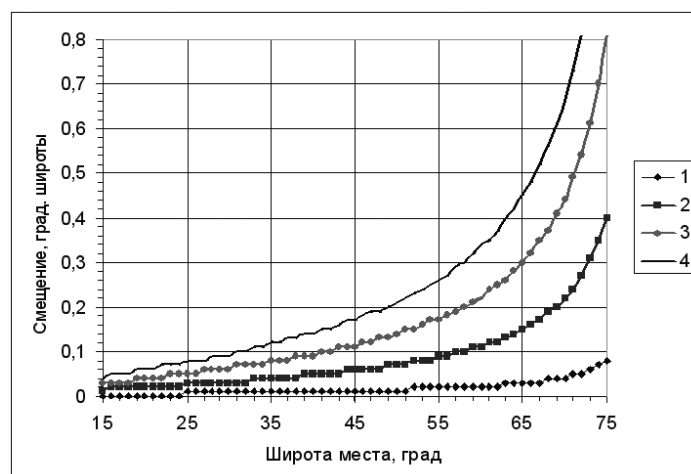


Рис.3. Графики зависимости от широты места для смещения географической привязки облачности при высоте ее верхней границы 1 (1), 5 (2), 10 (3) и 15 км (4) случае, когда долгота места постоянна и проходит через подспутниковую точку

Из графиков, приведенных на рис. 3, видно, что для наблюдаемых с геостационарного спутника широт России (примерно от 45 до 75° с.ш.) неточность географической привязки может достигать 0,5° и более, что значительно превышает пространственное разрешение используемой аппаратуры и принятый при обработке размер усреднения спутниковой информации.

Учитывая это, сравнение результатов спутникового распознавания атмосферных процессов наземными данными можно проводить только после устранения искажений географической привязки, возникающих при спутниковом наблюдении облачности разной высоты. Автоматическая коррекция таких искажений введена на всех картах, выпускаемых с помощью действующего макета АИС «Метео-ИСЗ».

Заключение

Таким образом, в работе рассмотрено влияние геометрических параметров съемки с геостационарных спутников на соответствие между результатами спутникового распознавания осадков и гроз и фактическими данными об этих явлениях. Количественно подтверждено различие между параметрами облачности, наблюдаемой с разных геостационарных спутников в одно и то же время съемки, указанное на соответствующих снимках. Обоснована необходимость проведения коррекции отклонений в географической привязке облачности разной высоты на спутниковых снимках.

Литература

1. Алексеева А.А., Бухаров М.В., Лосев В.М., Соловьев В.И. Диагноз осадков и гроз по измерениям уходящего теплового излучения облачности с геостационарных спутников // Метеорология и гидрология, 2006. № 8. С. 33-42.
2. MSG. Meteosat Second Generation. In Orbit-in Use. Programme MSG. 02. Eumetsat. 2005. 121 p.
3. Алибегова Ж.Д. Пространственно-временная структура полей жидких осадков // Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 229 с.