

МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЗАДАЧЕ МОНИТОРИНГА ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ КОНВЕКТИВНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

А. В. Назаренко, И. П. Расторгуев, А. Н. Неижмак

*Воронежский государственный университет, Россия
Военный авиационный инженерный университет, Россия*

Поступила 9 февраля 2008 г.

Аннотация: Предложена методика использования информации радиометра AVHRR, установленного на спутниках NOAA, в диагнозе и прогнозе опасных явлений погоды конвективного происхождения.

Ключевые слова: спутниковая информация, мониторинг, методика, конвекция.

Abstract: The research suggests the technique of using the AVHRR radiometer information installed on NOAA satellites for diagnosing and predicting dangerous meteorological convective phenomena.

Key words: satellite information, monitoring, technique, convection.

В настоящее время прогностические методы в метеорологии позволяют с достаточной для практических целей точностью предсказывать дальнейшее развитие синоптических процессов и общий характер погодных условий в глобальном и региональном масштабах. Однако существуют мезомасштабные опасные явления погоды (ОЯП) в виде кратковременного шквалистого усиления скорости ветра, выпадения аномального количества осадков за короткие сроки, очагов интенсивной грозовой деятельности, града. Эти атмосферные образования могут наблюдаться как в зоне атмосферных фронтов, так и внутри господствующей воздушной массы. Они не всегда улавливаются прогностическими моделями, а в некоторых случаях и их диагностирование является затруднительным.

В то же время в метеорологические подразделения, обеспечивающие государственную авиацию, поступает аппаратно-программный комплекс приема и обработки информации с метеорологических искусственных спутников Земли (МИСЗ) «Сюжет-МЦ». Он позволяет помимо аналоговых изображений распределения облачных массивов получать цифровую информацию [1]. Однако в практической деятельности метеоподразделений его возможности используются не в полной мере. Специалисты, как правило, ограничиваются визуальным анализом изображений облачных полей в телевизионном и инфракрасном режимах [2].

© Назаренко А.В., Расторгуев И.П., Неижмак А.Н., 2008

Описание приемного комплекса и получаемой информации

Комплекс принимает сигнал с метеорологических спутников типа NOAA (National Ocean and Atmosphere Administration). Периодичность их вращения позволяет получать информацию о состоянии окружающей среды в регионе с частотой не реже 6-10 раз в сутки. На данный момент аппаратное и программное обеспечение, поставляемое в метеоподразделения, позволяет из всей массы информации, отправляемой космическим аппаратом, извлекать данные только радиометра AVHRR (The Advanced Very High Resolution Radiometer). Радиометр AVHRR регистрирует отраженное солнечное и собственное излучение Земли в пяти спектральных каналах, расположенных в видимом и инфракрасном диапазонах [3].

Указанный аппаратно-программный комплекс дает возможность проводить анализ распределения яркостных характеристик выбранного участка изображения, полученного в каждом из пяти каналов радиометра. Информация представляется, помимо пространственных изображений облачности, гистограммами выделенного поля спутникового снимка (рис. 1). По оси абсцисс отложены яркостные градации (безразмерные величины), а по оси ординат – относительная частота встречаемости градации яркости на выбранном участке изображения. Яркости снимаются со всех единичных элементов изображения (пикселей).

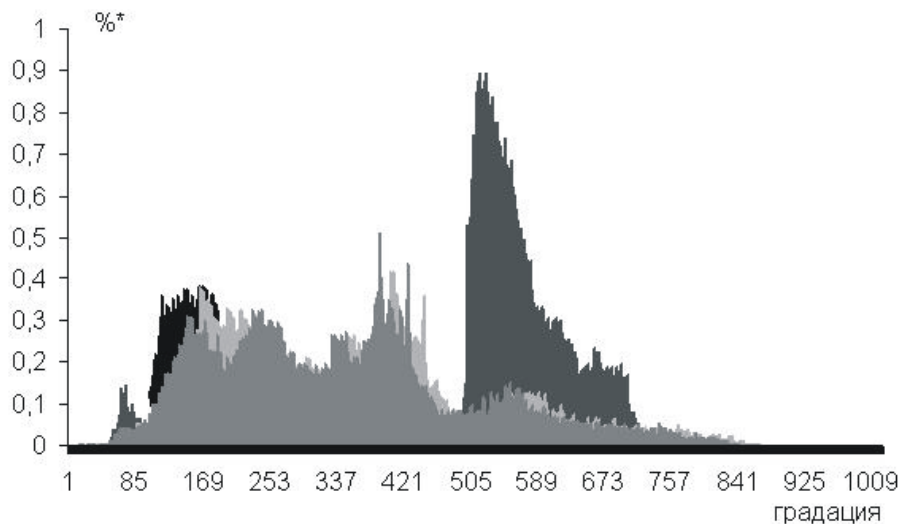


Рис. 1. Гистограммы яркостных характеристик по пяти каналам радиометра AVHRR

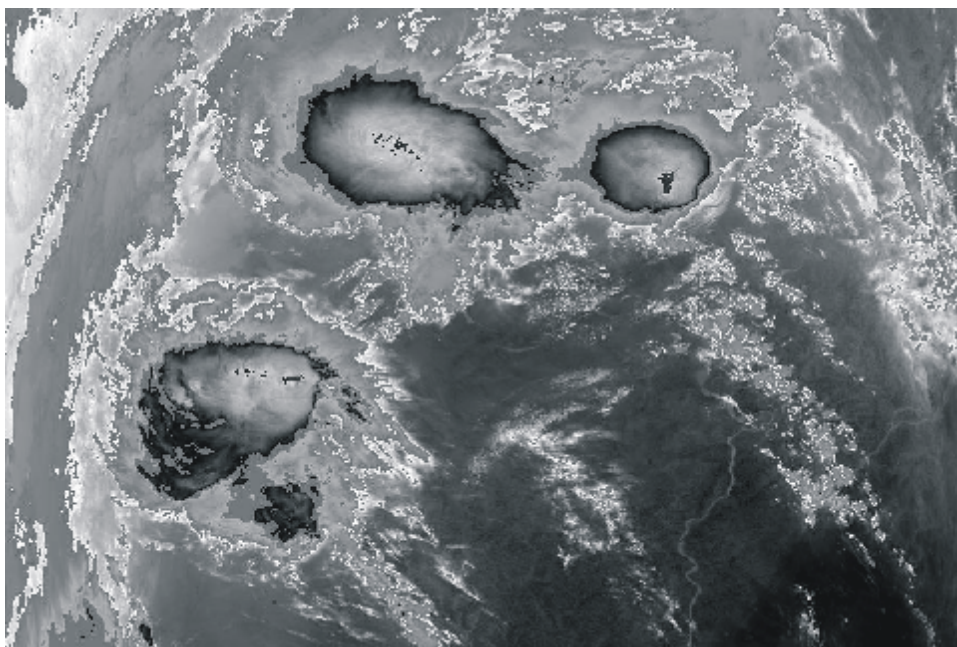


Рис. 2. Анализ структуры вершины грозового облака

Высокое радиометрическое разрешение датчика AVHRR позволяет каждый пиксел получаемого изображения по его яркости отнести к одной из 1023 градаций серого тона, то есть между абсолютно белым цветом и абсолютно черным цветом радиометр может различить 1023 градации серого [3]. Это дает возможность с большой детализацией проводить анализ спутникового снимка и идентификацию интересующих явлений и объектов.

Анализ существующих методик

В настоящее время существуют методики использования цифровых спутниковых данных при определении температуры суши, температуры по-

верхности моря, выявления пожаров, измерения вегетационного индекса, наблюдения облачности, снежного и ледового покровов [4]. Применительно к метеорологии программное обеспечение станции позволяет решать многие задачи: визуальную оценку интенсивности тропических циклонов по разнице температур между теплым «глазом бури» и холодными окружающими облаками, выделение ярусов облачности повышением контрастности между нижним и средним ярусом, просмотр деталей структуры верхней части гроз (рис. 2) и другие.

Однако перечисленные методики разработаны или с привлечением дополнительных данных, помимо измеренных радиометром AVHRR, или для

решения узкоспециализированных задач, и, следовательно, не могут эффективно применяться в оперативной деятельности метеорологических подразделений государственной авиации.

Исходя из необходимости дальнейшего совершенствования подходов к диагнозу и прогнозу ОЯП, в частности для нужд авиации Вооруженных сил (ВС), и отсутствия соответствующих методик, представляется целесообразным применение цифровой информации с МИСЗ о яркости облачных полей в разных диапазонах спектра для идентификации типа облаков, в частности для детектирования кучево-дождевой облачности.

Описание исходных данных и методика их обработки

Для решения поставленной задачи была создана архивная выборка, содержащая спутниковые снимки европейской территории России (ЕТР) за период с ноября 2005 по сентябрь 2007 годов.

Были проанализированы графоаналитическим способом гистограммы для безоблачных участков. Выявлены изменения отражательной и излучательной способностей земной поверхности для различных сезонов года, времени суток, типов подстилающей поверхности. Были определены зависимости между видом гистограмм и освещенностью поверхности и ее отражательной способностью.

Из пяти каналов радиометра данные первых двух могут использоваться только днем, ввиду регистрации ими отраженного солнечного излучения. Третий канал также оказался малоинформативным из-за неоднородности данных: спутники NOAA на этом канале работают в разных частотных диапазонах. Наиболее информативными являются 4 и 5 каналы, расположенные в дальней инфракрасной зоне спектра в пределах окна прозрачности атмосферы 8-12 микрометров.

Далее рассматривались случаи с наличием облачного покрова. К анализу привлекались фрагменты изображений облачных полей фронтальных разделов, которые подразделялись на два класса – с наличием кучево-дождевой облачности (как отдельно расположенной, так и замаскированной) и с ее отсутствием. Разделение проводилось на основе данных наземных наблюдений на станциях, находящихся в выделенном участке спутникового снимка. Анализ пространственно-частотных характеристик полей яркости по всем пяти каналам радиометра показал их существенное различие для случаев с наличием и отсутствием кучево-дождевой облачности.

Затем все случаи с кучево-дождевой облачностью были разбиты на два класса: с наличием и отсутствием грозы. Для указанных классов с целью определения возможности их разделения проводился расчет статистических характеристик распределения яркости по трем спектральным каналам используемого радиометра: средние значения (M_x), дисперсии (D_x), стандартные отклонения (σ_x), коэффициенты асимметрии (A_s) и эксцесса (E_x). Были дополнительно введены в качестве переменных: разности между средними значениями ($M_{x(3)}-M_{x(4)}$; $M_{x(3)}-M_{x(5)}$; $M_{x(4)}-M_{x(5)}$) и разности между стандартными отклонениями ($\sigma_{x(3)}-\sigma_{x(4)}$; $\sigma_{x(3)}-\sigma_{x(5)}$; $\sigma_{x(4)}-\sigma_{x(5)}$) по каналам. Рассчитанные значения представлены в таблице.

Наиболее информативными предикторами оказались разность между средними значениями в четвертом и пятом каналах и коэффициент эксцесса в четвертом канале радиометра. С помощью дискриминантного анализа было построено правило для разделения классов с наличием и отсутствием грозы.

Таблица

Статистические оценки параметров распределения яркостных характеристик

Явление	Характеристика распределения по каналам										
	$M_{X(3)}$	$D_{X(3)}$	$\sigma_{X(3)}$	$A_{S(3)}$	$E_{X(3)}$	$M_{X(4)}$	$D_{X(4)}$	$\sigma_{X(4)}$	$A_{S(4)}$	$E_{X(4)}$	
Гроза	24,29	701,96	26,13	1,30	1,30	27,51	730,09	26,71	0,97	0,11	
Без гроз	24,16	707,58	26,18	1,53	2,54	29,30	749,30	27,32	0,87	-0,34	
Явление	$M_{X(5)}$	$D_{X(5)}$	$\sigma_{X(5)}$	$A_{S(5)}$	$E_{X(5)}$	$M_{X(3)}-M_{X(4)}$	$M_{X(3)}-M_{X(5)}$	$M_{X(4)}-M_{X(5)}$	$\sigma_{X(3)}-\sigma_{X(4)}$	$\sigma_{X(3)}-\sigma_{X(5)}$	$\sigma_{X(4)}-\sigma_{X(5)}$
Гроза	29,13	778,56	27,59	0,89	-0,17	-3,22	-4,84	-1,62	-0,59	-1,46	0,87
Без гроз	30,23	783,81	27,89	0,80	-0,41	-5,14	-6,08	-0,93	-1,14	-1,71	0,57

$$Y(1) = -0.54(M_{X(4)} - M_{X(5)}) - 0.1E_{X(4)} - 0.87$$

$$Y(2) = -0.31(M_{X(4)} - M_{X(5)}) - 0.4E_{X(4)} - 1.33$$

Заключение о наличии в анализируемом районе облачности, сопровождаемой грозовой деятельностью делается при $Y(1) > Y(2)$. Общая оправданность полученного правила составила 61%. Что естественно недостаточно для практических целей.

В целях достижения приемлемых результатов исходные данные были ограничены по сезону года, времени суток и территориально. Перешли к рассмотрению только летнего периода, и только дневного времени. В качестве пространственных границ был определен участок снимка с фронтальной облачностью по форме максимально близкий к квадрату площадью около 150x150 км. Центр квадрата совпадает с географическим расположением пункта исследования (Воронеж). Выбор участка такого размера лимитируется во-первых, соизмеримостью с масштабом рассматриваемых явлений, во-вторых, меньший размер не позволяет использовать аппаратура.

В ходе анализа гистограмм графоаналитическим способом выяснилось, что целесообразно выбирать для исследования участки спутниковых снимков атмосферных фронтов, внутри которых заключена как кучево-дождевая облачность, так и маскирующая ее слоисто-дождевая (первая – объект исследования, вторая – помеха). Это обеспечивает двухмодальный вид гистограмм (рис. 3). Они позволяют объективно определять наличие вершин кучево-дождевой облачности над системой фронтальных слоисто-дождевых облаков. Вторая

мода возникает благодаря возвышению кучево-дождевой облачности с более низкими температурами на верхней границе над массивом фронтальной слоисто-дождевой. Двухмодальность в 4-5 каналах информирует о значительной температурной неоднородности верхней границы поля облачности на рассматриваемом участке изображения.

Исходя из возможностей программного обеспечения, применительно к задачам метеоподразделений авиации ВС, была разработана методика диагноза и прогноза опасных конвективных явлений погоды в массиве фронтальной облачности (рис. 4).

Алгоритм диагноза и прогноза опасных конвективных явлений погоды

На предварительном этапе определяются статистические характеристики конвективной облачности для рассматриваемого географического района и сопредельных территорий. Уточняется, при каких значениях температуры верхней границы облачности (ВГО), высоты ВГО, вертикальной мощности облаков могут наблюдаться связанные с конвективной облачностью ливневые осадки, грозовая, градовая деятельность и другие ОЯП.

В частности для центра ЕТР было установлено, что в 90% случаев грозовые облака имеют на верхней границе температуру ($T_{ВГО}$) ниже -21°C , в 50% достигают $T_{ВГО} \leq -34^{\circ}\text{C}$ [5], а катастрофические последствия наступают, как правило, при $T_{ВГО} \leq -45^{\circ}\text{C}$.

Для классов с наличием и отсутствием грозовой деятельности по их распределениям спек-

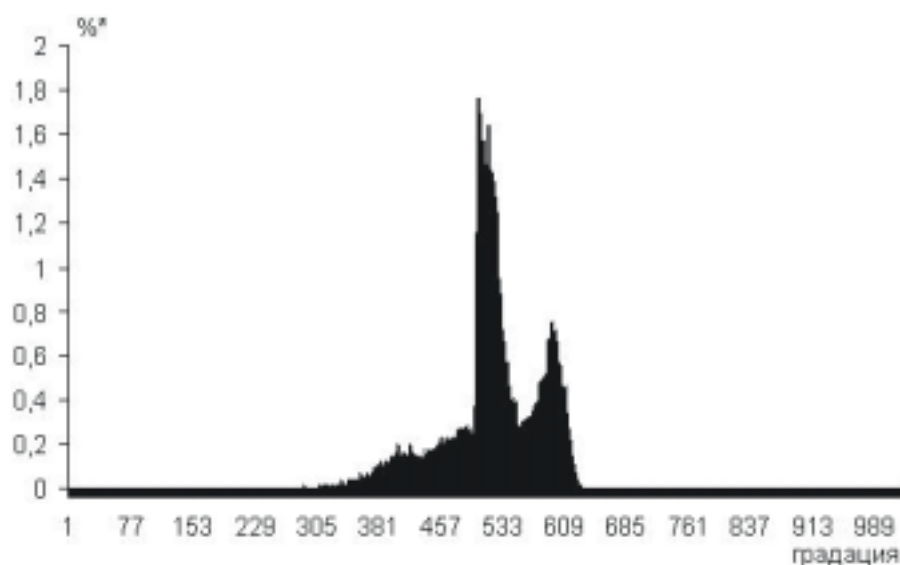


Рис. 3. Двухмодальная гистограмма яркостных характеристик



Рис. 4. Схема методики диагноза и прогноза опасных конвективных явлений погоды

ральных яркостей определяются пороговые значения статистических характеристик (M_x , D_x , σ_x , A_s и E_x) по различным каналам радиометра.

Следующий, диагностический, этап начинается с анализа вертикального профиля температуры по данным радиозондирования атмосферы. Уточняется высота расположения критической температуры ВГО ($H_{\text{ВГОкр}}$). Далее производится установка параметров программного обеспечения рассматриваемой станции путем введения уточненных критических значений температуры ВГО, что позволяет определить на спутниковом снимке зоны с температурой ниже указанной пороговой. То есть выделяются участки снимка, на которых присутствует конвективная облачность, обладающая потенциалом для генерации ОЯП. Параллельно снимок просматривается в режиме других стандартных настроек программного обеспечения, что позволяет отделить плотную перистую облачность с низкой температурой верхней границы от исследуемых конвективных образований.

Затем, если в рассматриваемом районе на верхней границе фронтальной облачности температуры равны или ниже критических, проводится сравнение формы и статистических характеристик гистограмм относительной частоты встречаемости градаций яркости для исследуемого участка снимка с формой и пороговыми значениями статистических характеристик гистограмм, рассчитанных для различных классов. По результатам сравнения делается вывод о наличии или отсутствии опасных явлений погоды конвективного происхождения в рассматриваемом районе.

На прогностическом этапе первоначально определяется участок атмосферного фронта, смещающийся в данный географический район. Эта процедура реализуется методом обратных траекторий при наличии карт барической топографии или методом нелинейной экстраполяции с использованием нескольких последовательных спутниковых снимков. С помощью описанного при рассмотрении диагностического этапа способа делается вывод о наличии кучево-дождевой облачности на участке атмосферного фронта, выход которого ожидается в интересующий район. Имея в распоряжении несколько последовательных спутниковых снимков исследуемого участка территории, на основе изменения температуры ВГО делаются заключения об эволюционных изменениях конвективной облачности и связанных с ней ОЯП. На основании результатов, полученных при реализации

приведенного алгоритма, разрабатывается прогностическое заключение о возможности выхода в данный географический район конвективной облачности и связанных с ней опасных явлений погоды.

Таким образом, в ходе исследования были проанализированы применяемые специалистами гидрометеорологической службы методы диагноза и прогноза опасных явлений погоды, связанных с активным развитием конвекции. Построено дискриминантное правило для разделения классов с наличием грозы и с ее отсутствием на основе информации о яркостных характеристиках полей облачности в разных спектральных каналах радиометра AVHRR. Определены статистические характеристики конвективной облачности для района исследования. Предложена методика диагноза и прогноза опасных конвективных явлений в массиве фронтальной облачности с использованием цифровой спутниковой информации применительно к возможностям и задачам ведомственных метеоподразделений.

Полученные результаты открывают дальнейшее направление работы в расширении границ района исследования и рассмотрении возможности детализации анализа структуры изображения облачных полей с целью выделения из общего массива ОЯП случаев с возникновением катастрофических последствий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расторгуев И. П. Перспективы применения пункта приема и обработки информации от МИСЗ «Сюжет-МЦ» для мониторинга опасных гидрометеорологических явлений / И. П. Расторгуев, А. Н. Неижмак // Сборник науч.-метод. материалов. – Воронеж, 2006. – Вып. 29, ч. 1. – С. 83-91.
2. Руководящий документ РД 52.27.339-93. Руководство по диагнозу и прогнозу опасных и особо опасных осадков, града и шквалов по данным метеорологических радиолокаторов и искусственных спутников Земли / Н. И. Глушкова, В. Ф. Лапчева. – М. : Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1996. – 181 с.
3. NOAA KLM User's Guide. – <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/>.
4. Вопросы обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли / под ред. В. В. Асмуса // Труды НИЦ космической гидрометеорологии «Планета». – 2005. – Вып. 1(46). – 261 с.
5. Облака и облачная атмосфера : справ. / под ред. И. М. Мазина, А. Х. Хргиана. – Л. : Гидрометеоиздат, 1989. – 648 с.

Назаренко Александр Васильевич

кандидат географических наук, доцент кафедры геоэкологии и мониторинга окружающей среды Воронежского государственного университета, г. Воронеж, т. (4732) 21-77-98, E-mail: alnazarenko@mail.ru

Расторгuyeв Игорь Поликарпович

кандидат географических наук, преподаватель кафедры теоретической гидрометеорологии Военного авиационного инженерного университета, г. Воронеж, т. (4732) 78-25-54

Неижмак Андрей Николаевич

адъюнкт кафедры теоретической гидрометеорологии Военного авиационного инженерного университета, г. Воронеж, т. 8-950-760-12-19, E-mail: kubanec@inbox.ru

Nazarenko Aleksandr Vasilyevich

Candidate of Geography, associate professor of geocology and environment monitoring chair of Voronezh State University, Voronezh, tel. (4732) 21-77-98, E-mail: alnazarenko@mail.ru

Rastorguyev Igor Polikarpovich

Candidate of Geography, lecturer of theoretical hydrometeorology chair of Military Aviation Engineering University, Voronezh, tel. (4732) 78-25-54

Neizhmak Andrey Nikolayevich

Post-graduate student of theoretical hydrometeorology chair of Military Aviation Engineering University, Voronezh, tel. 8-950-760-12-19, E-mail: kubanec@inbox.ru