

Методические вопросы распознавания инверсионных следов от пролета самолетов над облачностью по многоспектральным измерениям с ИСЗ NOAA

Е.В. Волкова, М.В. Бухаров

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

В работе рассмотрены методические вопросы автоматизированного распознавания следов от пролета самолетов по информации с ИСЗ NOAA, получаемой в светлое время суток независимо от времени года. Приведены примеры, иллюстрирующие успешность распознавание следов на фоне подстилающей поверхности любого типа и на фоне облаков.

Введение

При автоматическом распознавании типов облачности по многоспектральным спутниковым измерениям наблюдаются ситуации, когда форма облаков и условия их образования имеют явно не естественное происхождение. В ряде случаев такая облачность соответствует следам от пролетающих самолетов. Поскольку спутниковая информация о следах самолетов представляет определенный практический интерес, ниже рассмотрены методические вопросы их автоматизированного распознавания по измерениям с ИСЗ NOAA.

Исходные данные

Для разработки методики распознавания «следов самолета» использовался архив спутниковых (радиометр AVHRR ИСЗ NOAA-16 и NOAA-14) наблюдений для территории 46,7-63,0° с.ш., 26,0-43,7° в.д. для периода с мая 1998 г. по октябрь 2006 г.

Анализируемые спутниковые данные содержат измерения в спектральных каналах 1 ($\lambda_1 = 0,58-0,68$ мкм) и 2 ($\lambda_2 = 0,73-1,1$ мкм) видимого диапазона (альбедо A1 и A2), в канале 3 видимого или ИК-диапазона ($\lambda_3 = 1,6$ мкм – альбедо A3 или $\lambda_3 = 3,55-3,93$ мкм – радиационная температура T3), в каналах 4 ($\lambda_4 = 3,55-11,3$ мкм) и 5 ($\lambda_5 = 11,5-12,5$ мкм) ИК-диапазона (радиационные температуры T4 и T5), а также их линейные разности (A2-A1), (T4-T5), (T3-T4), (A1-A3). Предиоры T3 и A3 не могут быть доступны одновременно, поэтому существуют 2 варианта методики: «альбедный», при котором используются значения A3, и «температурный» - значения T3.

Согласно разработанной методике, перед проведением распознавания «следов самолета» по эмпирически найденным пороговым критериям осуществляется детектирование облачности и определение ее типа. При этом используются следующие предиоры: A1, A2, T4, (T4-T5), (A2-A1) и (T3-T4) или A3, пороговые значения которых являются сложными функциями календарного дня, географической широты и долготы пиксела, высоты солнца (solar), температуры воздуха на уровне 1000 гПа или приземной температуры воздуха (t_a), максимальной температуры воздуха в атмосферном столбе над данной точкой (t_{max}) [1].

При определении типов облачности используются предиоры A1, T3 или A3, T4, (T4-T5), (A2-A1) и (T3-T4) или (A1-A3), пороговые значения которых являются сложными функциями календарного дня, высоты солнца и температуры T4. Дополнительно учитываются сведения о температуре воздуха на уровнях 850, 700, 500 и 400 гПа, t_a , T_{max} и высота верхней границы облачно-

сти (ВГО). Последняя рассчитывается в метрах над уровнем моря, используя барометрическую формулу для политропной атмосферы, уравнение переноса длинноволнового излучения в атмосфере и формулу коррекции значений T_4 , используемых для расчета высоты ВГО: $T_{4n} = f(T_3, A_1, (T_3 - T_4), solar)$ или $T_{4n} = f(T_5, A_1, A_3)$.

Используемая методика позволяет выделять 11 типов облачности, в том числе 3 вида многослойной. Однако для удобства чтения рисунков (см. ниже) классы «As», «Cu», «Ns» и «Cb» были объединены в один класс «Cu»; классы «m+h» (облачность верхнего яруса над средним), «l+h» (облачность верхнего яруса над средним и/или нижним), «Cb cap.» и «Cb inc.» - в класс «lm+h» (перистые над облачным слоем); классы «Ci», «As» и «l+m» (облачность среднего яруса над нижним) сохранены как в исходной методике.

Распознавание «следа самолета»

Спутниковое распознавание следов от пролетающих самолетов основано на том, что в спектральных каналах оптического диапазона отражательные свойства ледяных кристаллов разной формы заметно различаются. Так, высоко-слоистые облака (As) среднего яруса формируются при температуре теплее -23°C и в основном состоят из кристаллов в виде пластин и иголок. В перистообразных облаках (Ci) верхнего яруса, возникающих при температуре воздуха холоднее -13°C , доминируют кристаллы в форме столбиков [2]. Причем, ледяные кристаллы в форме пластинок и игл по сравнению с кристаллами в виде столбиков имеют, в целом, более высокие значения радиационной температуры в спектральном канале 10.8 мкм и более низкие в канале 12 мкм.

Облака типа «след самолета» возникают в зоне остывающих выхлопных газов самолетов, т.е. при более высоких температурах, чем окружающий воздух. Поэтому даже на больших высотах (при температуре холоднее -23°C) кристаллы в них имеют форму преимущественно в виде пластин и игл, а излучательные свойства оказываются подобны облачности типа As, а не Ci.

Выше перечисленные свойства использованы в разработанной методике автоматизированного распознавания инверсионных следов от пролетающих самолетов. В качестве иллюстраций (см. рис. 1-4) приводятся примеры проведенного распознавания таких ситуаций по измерениям в видимом (0.6 мкм) и ИК (10.8 и 12 мкм) спектральных каналах радиометра AVHRR ИСЗ NOAA.

«След самолета» хорошо виден (по характерной форме в виде линии его легко отличить от As) не только на фоне подстилающей поверхности, но и других облаков (кроме As и невысоких Ci) (см. рис. 1, 3 (нижний) и 4 (нижний)). На фоне последних «след самолета» тоже можно разглядеть по изменению типа облачности – по появлению облаков характерной формы в виде достаточно ровной линии над облаками другого типа, например, «l+m» на фоне «Cu»; «lm+h» на фоне «Ci»; «lm+h» на фоне «Cu» и «l+m» (см. рис. 2), «As» на фоне «Cu» (см. рис. 3 (верхний) и 4 (верхний)).

Учитывая это, для надежного детектирования «следа самолета» необходимо использовать 2 вида информации: изображение облаков типа As (см. рис. 1, 3 (нижний) и 4 (нижний)) и изображение классификации облачности по типам (см. рис. 2, 3 (верхний) и 4 (верхний)). Так, на рис. 2 не видны «следы самолета» на фоне «lm+h» (правая нижняя четверть изображения) и на фоне «Ci» и «As» над Онежским озером, но зато они хорошо различимы на рис. 1. Точно также «следы самолета», не видные на фоне «lm+h» (см. рис. 4 (верхний)), четко распознаются на рис. 4 (нижний). Зато на последнем хуже распознаются «следы самолета» на фоне «Cu» (сравни с рис. 4 (верхний)).

При анализе рис. 3 (верхний и нижний) также видно, что они взаимодополняют друг друга в ситуации распознавания «следов самолета» на фоне «Cu» и «As».

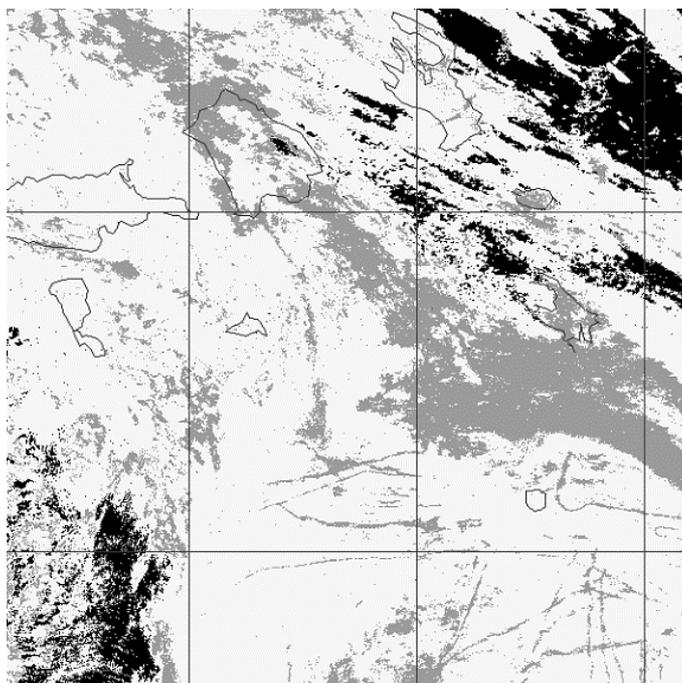


Рис. 1. Результаты детектирования облаков типа As и «следов самолета» на фоне облачности. Съемка проведена 28 апреля 2003 г. в 11 ч 20 мин (BCB) с ИСЗ NOAA-16. Облака типа As и «следы самолета», имеющие вид тонких линий, выделены серым цветом; все остальные облака – белым цветом; безоблачная ситуация – черным

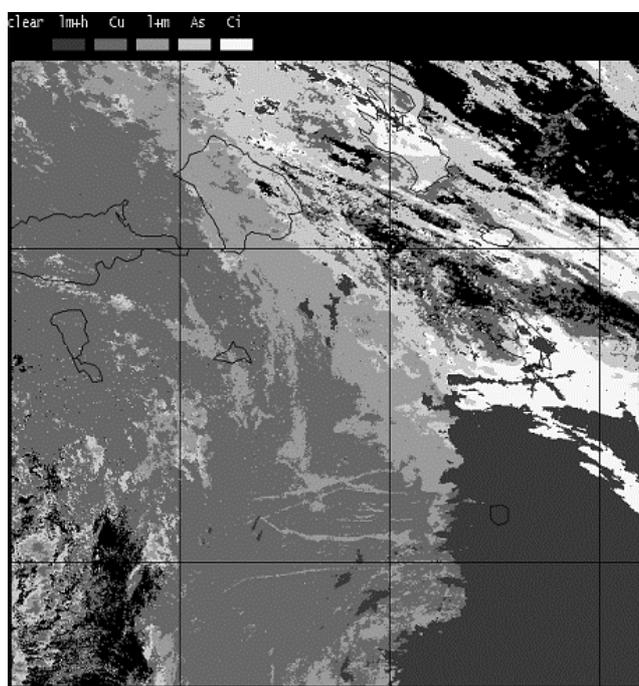


Рис. 2. Результаты детектирования разных типов облачности. Съемка проведена 28 апреля 2003 г. в 11 ч 20 мин (BCB) с ИСЗ NOAA-16. Вверху представлена цветовая палитра для обозначения разных типов облачности, в том числе их комбинаций: clear – безоблачно; lt+h - облака верхнего яруса над средним и нижним; Cu – кучевообразная облачность (в т.ч. As, Cu, Cb); l+m - облачность среднего яруса над нижним; As – высокая слоистообразная облачность (в т.ч. “следы самолета”); Ci – перистообразная облачность

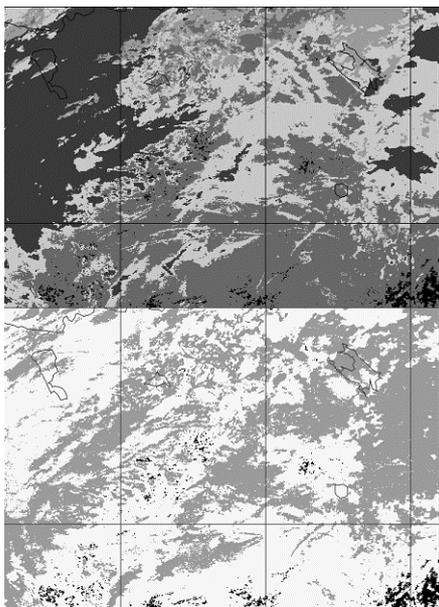


Рис. 3. Результаты детектирование облачности по типам (вверху) (см. примечания к рис. 2) и облаков типа As и «следов самолета» на фоне остальной облачности (внизу) (см. примечания к рис. 1). Съемка проведена 8 апреля 2005 г. в 12 ч 19 мин ВСВ

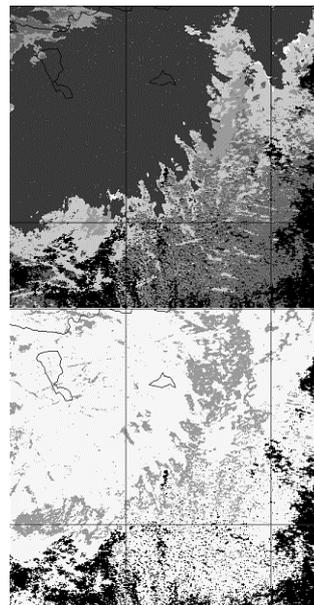


Рис. 4. Детектирование облачности по типам (вверху) (см. примечания к рис. 2) и облаков типа As и «следов самолета» на фоне остальной облачности (внизу) (см. примечания к рис. 1). Съемка проведена 30 мая 2003 г. в 12 ч 04 мин ВСВ

Заключение

Таким образом, в работе рассмотрены методические вопросы автоматизированного распознавания следов от пролета самолетов по информации с ИСЗ NOAA, получаемой в светлое время суток независимо от времени года. Приведены примеры, иллюстрирующие успешность распознавание следов на фоне подстилающей поверхности любого типа и на фоне облаков.

Литература

1. Волкова Е.В., Успенский А.Б. Оценки параметров облачного покрова по данным радиометра AVHRR ИСЗ NOAA регионального покрытия в светлое время суток в автоматическом режиме. // Четвертая всероссийская открытая конференция. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Москва, 13-17 ноября 2006 г. Сборник тезисов конференции, с. (http://www.iki.rssi.ru/d33_conf.htm).
2. Облака и облачная атмосфера. Справочник. / Под ред. И.П.Мазина и А.Х. Хргиана. // Л.: Гидрометеиздат, 1989. 647 с.