

Восстановление полей метеорологических элементов по спутниковым изображениям облачности

В.В. Иванов¹, А.В. Черепанов¹, А.И. Сухинин², С.И. Миськив¹, В.Ю. Ромасько¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт по делам ГО и ЧС МЧС России,

²Институт леса СО РАН

660036 Красноярск, Академгородок

E-mail: boss@ksc.krasn.ru

Для прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера существенное значение имеет анализ погодных условий на обозреваемой территории. Погодные условия в виде стихийных и опасных явлений, их воздействие на протекание природных и техногенных ЧС в значительной мере определяют фактический материальный ущерб. В то же время в условиях сильной разреженности сети метеорологических станций, особенно в труднодоступной местности, существенную помощь в анализе и прогнозе метеорологических элементов может оказать и оказывает спутниковая информация. Авторами разработана программа приема изображений облачности с космических аппаратов NOAA в формате АРТ с последующей тематической обработкой их по погодным условиям. В результате создан программный продукт, позволяющий восстанавливать фактические и прогностические значения некоторых метеорологических параметров по радиояркостным характеристикам облачного покрова на основе методик, разработанных Росгидрометом, и произведенный с учетом особенностей Сибирского региона. К этим параметрам относятся температура и высота верхней границы облачности, скорость и направление ветра на разных изобарических высотах, количество осадков, а также вид облачности и возможные метеорологические явления, связанные с этой облачностью с определением их максимальной интенсивности. Все вышеперечисленные данные воспроизводятся на экране компьютера простыми действиями при перемещении курсора на интересующую область. Данная информация может служить существенным дополнением к традиционным синоптическим методам прогноза в целях предупреждения последствий ЧС. Ниже приведены принципы восстановления некоторых метеорологических полей.

Определение высоты верхней границы облачности (ВГО)

Изображения формата АРТ позволяют по характеру рисунка изображения и яркости облачных элементов изучать структуру облачного покрова для классификации типа облачности. Однако для более точного определения характера атмосферных процессов, действующих на исследуемой территории и их активности, в ряде случаев необходима информация о вертикальной протяженности облаков, особенно мощных облаков вертикального развития, с которыми связано большинство опасных метеорологических явлений – гроз, шквалов, града, сильных ливневых осадков и др.

Применение данной методики позволяет по спутниковым АРТ-изображениям в ИК - диапазоне определять высоту ВГО (в километрах) путем подведения курсора в любую точку облачного покрова.

Метод визуализации высоты ВГО основан на зависимости высоты излучающей поверхности от значения радиояростной температуры, получаемого со спутника. В основу расчета такой зависимости легло сравнение температуры излучающей поверхности на снимке с данными аэрологического зондирования атмосферы сетью метеостанций Гидрометслужбы, произведенное сотрудниками Росгидромета. Проводился ряд таких сравнений для разного времени года, широты места, времени суток. В результате выведена эмпирическая зависимость высоты ВГО от значения радиояростной температуры:

$$H_{вго} = -K \cdot T_{ярк}$$

K – эмпирический коэффициент зависимости, меняющийся при использовании модуля в разной местности и в разное время года. Дополнительные исследования, проведенные в Отделе приема и обработки

информации, позволили вывести значение K для Сибирского региона, подобные расчеты можно произвести для любого региона России и зарубежья.

Точность измерения ВГО данным методом имеет погрешность до 1 км, что близко к погрешности измерения при помощи радиолокационной станции. Наиболее достоверно высота ВГО замеряется при наличии плотной перистой облачности, мощных облаков вертикального развития или плотной облачности среднего яруса. В случае полупрозрачной, оптически неплотной облачности интерпретация ВГО затрудняется.

Восстановление поля ветра по изображению облачности вихревой структуры

Основа метода заключается в статистической связи между полями облачности и воздушными течениями при наличии вихревой структуры облачности. Применяется лишь для определения ветра в облачных вихрях.

Облачные вихри имеют самые различные размеры - от 350 до 3500 км в диаметре, причем положение облачных спиралей относительно сторон света самое разнообразное. Для установления статистических связей между направлением облачных полос и ветром вводится локальная система координат, начало которой совпадает с центром облачного вихря, причем при анализе облачных вихрей рассматриваются лишь те, в которых облачные полосы имеют вид гиперболических спиралей, т.к. повторяемость такого рода облачных вихрей оказывается наибольшей.

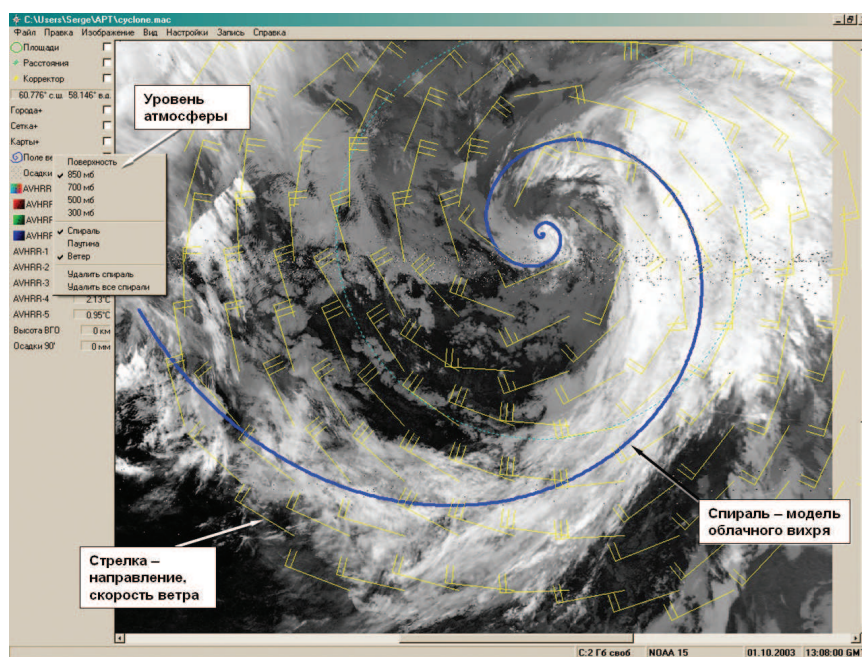


Рис. 1. Восстановление поля ветра по полю облачности вихревой структуры

Принцип определения направления и скорости ветра на стандартных изобарических поверхностях заключается в следующем:

1. На исходном снимке облачности выявляется облачный вихрь с полосами облачности гиперболического вида.
2. Вводится локальная система координат с началом в центре облачного вихря, причем ось абсцисс (x) направляется параллельно асимптоте гиперболической спирали, а ось ординат (y) перпендикулярно к ней таким образом, чтобы получилась «правая система координат»
3. Пространство, занятое вихревой облачностью, делится на восемь секторов с центральным углом в 45 градусов и на пять равных частей вдоль радиуса. За единицу расстояния принято максимальное

расстояние вдоль оси у от центра вихря до пересечения с внешним краем облачной спирали. Таким образом облачный вихрь оказывается разделенным на 40 частей. Для каждой части на пяти стандартных уровнях атмосферы (поверхность земли, 850, 700, 500 и 300 мб) статистическими методами определены наиболее вероятностные значения разности направления:

$$\Delta\varphi = \varphi_{\text{в}} - \varphi_{\text{обл}},$$

где $\varphi_{\text{в}}$ – направление ветра, $\varphi_{\text{обл}}$ – направление облачной полосы,

а также скорости ветра C . Это значения, которые получены на большом статистическом материале.

4. Зная направление расположения облачной полосы в каждой части системы координат, можно определить значения направления и скорости ветра в интересующей части.

Метод позволяет восстановить поле ветра только при наличии облачного изображения вихревой структуры. Для всех участков облачного вихря полученное поле ветра близко к нормальному. Колебания значений среднего квадратического отклонения, рассчитанные в Росгидромете, невелики и находятся в пределах от 20 до 30°, что позволяет применять метод для оценки поля ветра в системе циклонов с развитой спиралевидной облачной системой. К тому же, определение характеристик поля ветра интересно как раз в области циклонов, т.к. с ними связаны наиболее изменчивые скорости и направления воздушных течений.

Диагноз и прогноз конвективных осадков по снимкам облачности

Количество осадков зависит от вида системы облачности. Изображение распределения облаков является показателем состояния тех факторов, которые отвечают за то, какой процент воды, содержащийся в облаках, перейдет в осадки. И поэтому картина Наиболее информативными параметрами, определяющими количество осадков по данным поля облачности с ИСЗ, являются вид облаков, форма, и ширина облачной системы. В соответствии с этими параметрами разработана методика диагноза и прогноза среднего количества осадков по полю облачности.

Диагноз количества осадков

Диагноз среднего количества осадков рассчитывается по полям радиояркостной температуры. Основным критерием является температура на верхней границе облаков, которая может служить признаком не только наличия или отсутствия осадков, но позволяет судить и об их количестве в зонах резко выраженных фронтов с мощными облачными системами, указывающими на наличие интенсивных вертикальных движений.

Использована следующая методика Росгидромета для восстановления данных об осадках для внетропического циклона по ИК-данным метеорологических спутников.

1. На исходном снимке облачности выявляются облачные системы циклонов с выраженными фронтальными зонами.

2. Определяется зона с максимальными значениями радиояркостной температуры в зоне фронтальной облачности.

3. Среднее суммарное количество конвективных осадков, которые выпадают за 90 минут из выбранной облачной системы (R_{90}), рассчитывают по эмпирической зависимости:

$$R_{90} = 0,00025(5 - T_p)^{2,61},$$

где T_p – радиационная температура.

4. По значениям радиационной температуры можно рассчитать среднее суммарное количество конвективных осадков в интересующей части облачной системы.

Прогноз максимального количества осадков на текущие сутки

Данный метод применяется в тех случаях, когда ожидается прохождение фронтальной или циклонической облачности через район прогноза. Количество осадков рассчитывают следующим образом:

В ожидаемой облачной системе по изображению ИСЗ определяют характер облачности по таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика облачности	λ
Отдельные кучево-дождевые облака с линейными размерами до 150 км	1
Фронтальная облачность с линейными размерами до 300 км	2
Фронтальная облачность с линейными размерами 300-500 км	3
Фронтальная облачность с линейными размерами 500-800 км	4
Облачность крупномасштабных (до 1000 км) вихревых структур	5

1. Высоту верхней границы облачности определяют по значению радиационной температуры. (Метод приведен выше).
2. Форму облачности – конвективная или слоисто-дождевая – определяют по характерным признакам на изображении облачности.
3. Ожидаемое значение максимального количества осадков рассчитывается по эмпирической формуле:

$$Q_{\text{макс}} = \gamma \lambda N_{\text{в макс}}^2,$$

где λ – коэффициент, зависящий от типа облачной системы, определяемый по таблице, γ – эмпирический коэффициент, зависящий от формы облаков ($\gamma = 0,087$ для конвективных облаков и $\gamma = 0,043$ для слоисто-дождевой облаков), $N_{\text{в макс}}$ – максимальная высота верхней границы облачности (в км).

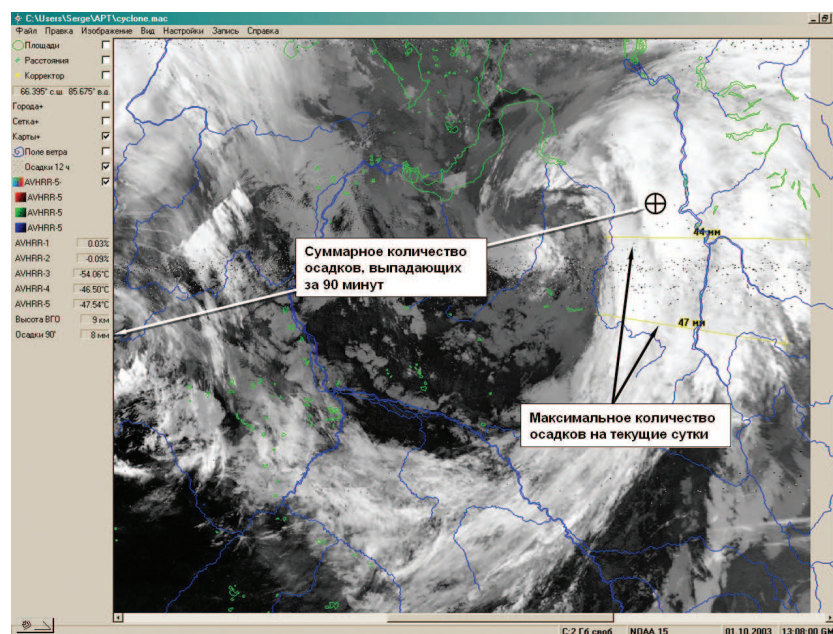


Рис. 2. Прогноз количества осадков

Описанные методы позволяют оценить интенсивность возможных осадков в зоне внетропического циклона только по снимкам облачных систем. Методы полезны для выявления очагов опасных и особо опасных ливней, связанных с мезомасштабными возмущениями (фронтальные зоны, конвективные ячейки и др.), которые часто нельзя обнаружить при помощи традиционных методов наблюдений, поскольку эти наблюдения дискретны.

Определение типов облачности и зон опасных явлений погоды по АРТ изображению

АРТ-изображение на контрольных дисплеях содержит 256 серых оттенков. Так как температуры метеорологического интервала редко превышают 40С или оказываются ниже -80С, многие из 256 величин яркости в самой теплой и самой холодной области не используются. Поэтому величина яркости нуля (черного) приписана ко всем величинам температуры больше чем 40С, а величина яркости 255 (белый) ко всей температуре, меньшей чем -80С. Таким образом, амплитуда температур между -80С и 40С представлена 256 величинами яркости и увеличилась контрастность изображения в диапазоне температуры. Это дает возможность более детальной визуализации структуры верхней границы облаков, по цветовым оттенкам выделять наиболее холодные части облаков и выявлять зоны с сильными осадками и грозами, а также классифицировать облака нижнего, среднего и верхнего ярусов. Легко определяется уровень замерзания, что может быть полезно для авиации при анализе зон обледенения воздушных судов.

Методика создана на основе применения разработанных специалистами NOAA кривых линий усиления контрастности АРТ-изображений, которые отображают статистические зависимости характеристик облачности от температуры и градиентов температуры на ее верхней границе. Используются следующие кривые:

МВ - кривая для отображения структуры вершин холодных облаков, определяет уровни серого для яркостных температур ниже -35°С. С помощью кривой МВ легко просматриваются детали структуры верхней части грозовых облаков, достигшей этих температур. Максимальные значения показывают, где в грозовых облаках наиболее сильные ливневые осадки.

МД - модификация линии МВ. Наиболее популярная, общего использования схема усиления контрастности, предназначена для теплого сезона, и обеспечивает улучшенное контрастирование верхних слоев конвективных облаков. Еще одно усовершенствование заключается в лучшем очерчивании теплых низких облаков (30°С—7°С). Диапазон средних облаков несколько шире, чем у кривой МВ, и контрастирование деталей минимизировано.

ВД - кривая усиления контрастирования в центре урагана. Применяется для оценки силы тропического циклона. Температура в "глазе бури" и на границе (стенке) глаза штормовой системы, являются касательными факторами интенсивности урагана. Чем больше эта разница между этими температурами, тем больше сила циклона. Кривая ВД облегчает эту оценку, выделяя визуально эту разницу.

НЕ - линия, обеспечивающая хорошее контрастирование широкого многообразия типов облаков. Данная кривая выделяет облака нижнего и среднего уровней в двух разных серых оттенках. Легко определяется уровень замерзания, что может быть полезно для авиации. Отображаются очень низкие температуры, связанные с грозами и фронтальными системами, с интервалом в 5°С до -60°С.

НФ - кривая, которая хорошо контрастирует нижний и средний ярус облачности.

ЖФ - кривая, используемая, чтобы выделить температуры поверхности моря и холодные верхние части облака, связанные с грозами и другими явлениями погоды. Максимальный контраст обеспечивается в теплой области от 25° до 10°С для отображения температуры поверхности моря и теплой нижней облачности в тропической и субтропической областях.

ЖЖ - кривая используется, чтобы выделить и морские поверхностные температуры, и холодные верхние части облака, связанные с грозами и другими явлениями погоды. Максимальный контраст обеспечивается в теплой области от 23° до 0°С для отображения температуры поверхности моря и теплой нижней облачности. Обеспечивает значительную подробность строения холодных верхних частей облаков, например, внутри гроз. Определяет уровень замерзания, необходимый для выявления зон обледенения.

Методика удобна в применении. Для определения типов облачности, выявления зон грозовой деятельности зон и интенсивности осадков достаточно выбрать нужную линию контрастирования, и установить курсор в интересующей точке или перемещать его в интересующем районе. В строке состояния просмотрщика или во всплывающей подсказке появится информация о характеристике облачности или о ее отсутствии.

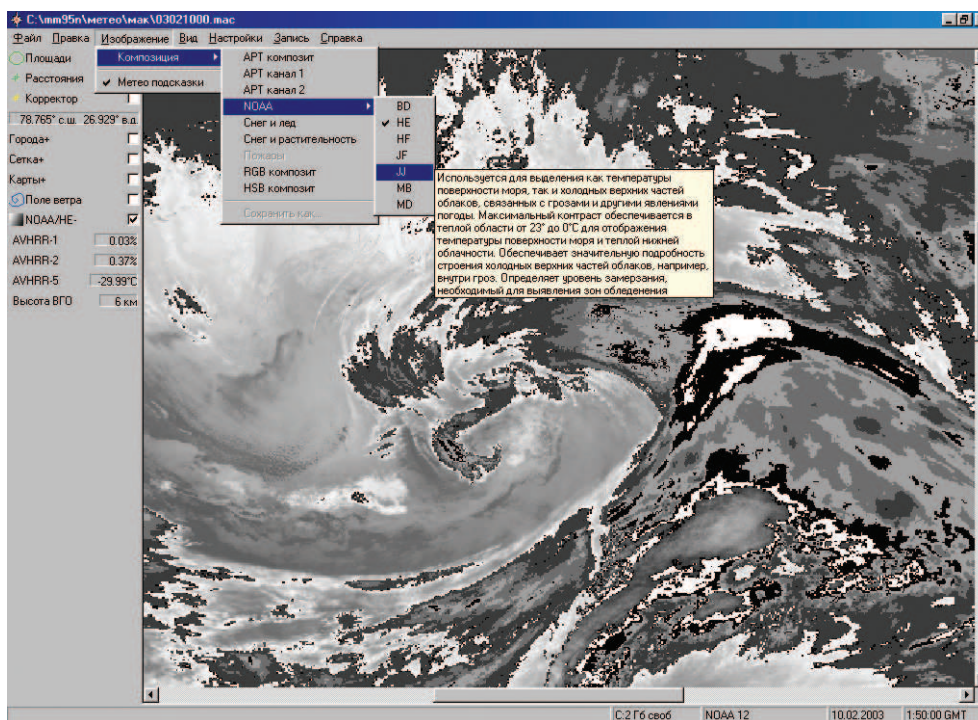


Рис. 3. Выбор линии контрастирования изображения облачности

Методика удобна в применении. Для определения типов облачности, выявления зон грозовой деятельности зон и интенсивности осадков достаточно выбрать нужную линию контрастирования, и установить курсор в интересующей точке или перемещать его в интересующем районе. В строке состояния просмотрщика или во всплывающей подсказке появится информация о характеристике облачности или о ее отсутствии.

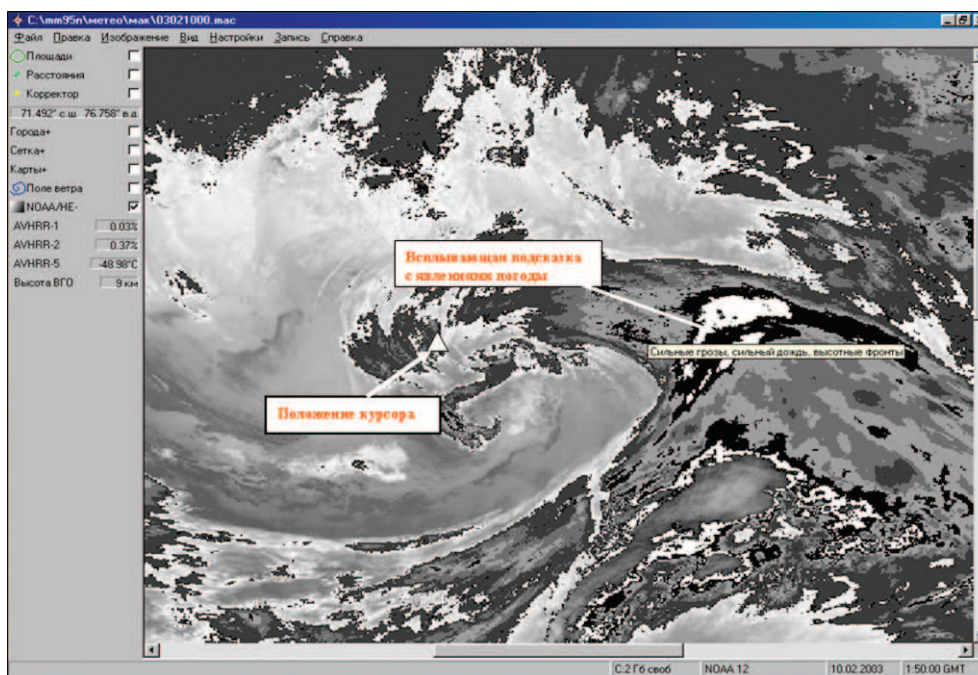


Рис. 4. Восстановление характера облачности и явлений погоды на контрастированном изображении

Все вышеперечисленные методики, имея удовлетворительную точность, могут применяться специалистами метеослужбы для облегчения анализа и прогноза погодных условий, существенно дополняя стандартную метеорологическую информацию, в авиации при оценке условий полетов летательных аппаратов на различных эшелонах, а также пользователями, интересующимися характеристиками полей облачности и явлений погоды, связанными с облаками.

Литература

1. Руководство к прогнозу опасных осадков, града и шквалов по данным метеорологических радиолокаторов и искусственных спутников Земли // СПб: Гидрометеиздат, 1996.
2. *Болдырев. Г.А. и др.* Некоторые результаты определения верхней границы облаков по спутниковым измерениям инфракрасной радиации // Тр. ГМЦ СССР, 1971. Вып. 1973.
3. *Герман М.А.* Космические методы исследования в метеорологии // Л.: Гидрометеиздат, 1985.