

УДК 551.515.1:551.501.86

ОБЛАЧНЫЕ СИСТЕМЫ АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТОВ – ВЗГЛЯД ИЗ КОСМОСА

И.П. Расторгуев, А.С. Белинский, М.Б. Качмар

Приведены результаты мониторинга облачных систем атмосферных фронтов по данным дистанционного зондирования с метеорологических космических аппаратов.

Ключевые слова: метеорологические космические аппараты, атмосферные фронты, мониторинг облачных систем, методика исследования

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее сложные метеорологические условия и наибольшая повторяемость опасных явлений погоды (НПУ и ОЯП) связаны с атмосферными фронтами (АФ). На протяжении многих десятилетий XX века, со времени создания «фронтологической синоптики» были накоплены разносторонние сведения об пространственных характеристиках облачных систем АФ и об их влиянии на генерацию ОЯП и НПУ.

На границе тысячелетий получили широкое распространение цифровые спутниковые технологии, позволяющие значительно расширить возможности исследования погодообразующих факторов. Ранее были представлены подходы к использованию современных геоинформационных технологий и цифровой спутниковой информации с МИСЗ для исследования параметров облачных систем циклонов.

В продолжение исследований [1-6 и др.] была доработана и применена методика мониторинга пространственного распределения характеристик атмосферных фронтов с использованием цифровой спутниковой информации.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ОБЛАЧНЫХ СИСТЕМ АТМОСФЕРНЫХ ФРОНТОВ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Методика исследования базируется на физико-статистическом, синоптическом, графо-аналитическом, картографическом методах и методе экспертных оценок.

В качестве исходного материала использовались приземные карты, карты абсолютной и относительной барической топографии, цифровые спутниковые снимки с МИСЗ «Метеор-3М» и NOAA, охватывающие временной интервал с 2006 по 2013 годы.

Научная новизна заключается в оригинальной методике применения цифровых спутниковых данных в исследованиях облачных систем и характеристик атмосферных фронтов.

Практическая значимость заключается в возможности использования результатов исследования в оперативной работе подразделений ведомственной метеорологической службы.

Для обработки данных с цифровых спутниковых снимков использовалась программа HRPTreader. С помощью этой программы, исходя из данных температурного радиозондирования снималась информация о максимальной протяженности и бальности полей облачности на стандартных изобарических поверхностях АТ850 (1,5 км), АТ700 (3 км), АТ500 (5,5 км), АТ400 (7 км), АТ300 (9 км), а также минимальная радиояростная температура на верхней границе облачности (рис. 1).

С карт барической топографии снималась температура в зоне атмосферного фронта на всех стандартных уровнях, либо на любом другом интересующем уровне.

По цветовой гамме (в режиме «температура»), определялась точка с наименьшим значением радиояростной температуры T_{min} – она соответствует максимальной высоте верхней границы облачности (ВВГО).

ВВГО (H_{max}) определялась методом интерполяции путем сопоставления измеренных температур и данных радиозондирования.

Для измерения протяженности облачных систем в режиме «измерение расстояний» измерялась максимальная протяженность облачной системы (L_{max})_n, вдоль линии фронта и по направлению его движения.

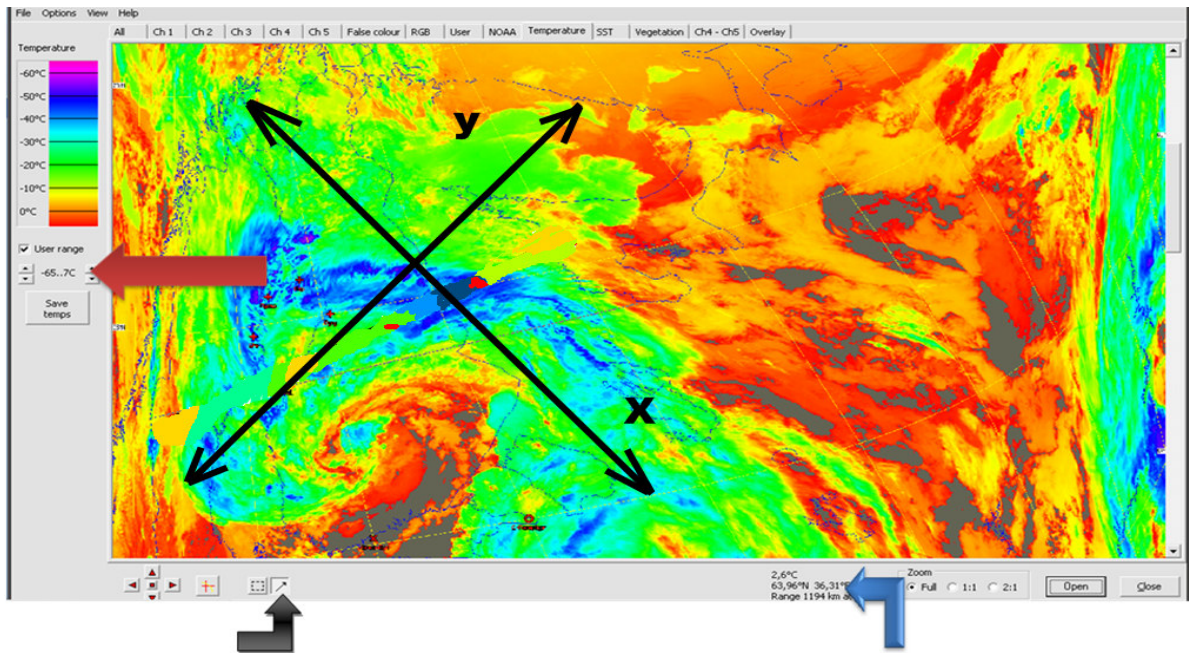


Рис. 1. Цифровой спутниковый снимок в режиме «temperature»

Красная стрелка – «диапазон температур» (устанавливается нижний предел температуры на рассматриваемом уровне поданным радиозондирования атмосферы), синяя стрелка – «радиояростная температура (определяется максимальное значение), серая стрелка – «измерение расстояний» (определяется максимальная протяженность для каждого уровня),

Определение «бальности» осуществляется аналогично определению количества облачности на небосклоне по степени заполнения изображения внутри облачной системы фронта.

Обобщенные результаты измерения параметров облачных систем АФ, проведенного по авторской методике, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры облачных систем АФ

Теплый фронт							
	Лобл ₈₅₀	Лобл ₇₀₀	Лобл ₅₀₀	Лобл ₄₀₀	Лобл ₃₀₀	T _{min} , °C	H _{max} , км
Мин	210	150	70	0	0	23,7	6,2
Среднее	635	550	360	220	70	46,7	9,5
Макс	1500	1090	740	550	320	67,4	13,1
Холодный фронт							
	Лобл ₈₅₀	Лобл ₇₀₀	Лобл ₅₀₀	Лобл ₄₀₀	Лобл ₃₀₀	T _{min} , °C	H _{max} , км
Мин	110	150	30	0	0	25,5	6,8
Среднее	525	545	450	335	225	46,7	10,4
Макс	940	950	900	670	450	68,9	13,9
Фронт окклюзии							
	Лобл ₈₅₀	Лобл ₇₀₀	Лобл ₅₀₀	Лобл ₄₀₀	Лобл ₃₀₀	T _{min} , °C	H _{max} , км
Мин	120	125	90	50	0	32,9	7,2
Среднее	425	495	335	275	215	47,5	10,6
Макс	850	1250	1100	720	520	65,0	12,7

Существенным результатом исследования являются выявленные взаимосвязи параметров облачности, оцениваемых со спутника с характеристиками синоптического положения

(экстремальные значения давления в центре циклона, барических тенденций за и перед АФ, барического и температурного градиента) и распределением метеорологических величин в зоне фронта у поверхности земли и в свободной атмосфере (максимальная протяженности зоны осадков по нормали к линии фронта, максимальный сдвиг ветра при прохождении фронта (схождение потоков), максимальная скорость ветра в зоне фронта, минимальное значение дальности видимости в зоне осадков, наименьшее значение высоты нижней границы облачности).

Высоты геопотенциальных поверхностей 850, 700 и 500 гПа хорошо коррелируют с продольной протяженностью облачности на этих уровнях и с параметрами облачности в средней тропосфере (на уровне 700 гПа). Заполнение циклона ведет к сужению облачных систем на всех уровнях и уменьшению зоны облачности на уровне 700 гПа.

Хорошую корреляцию с минимальным давлением в центре циклона имеют глубина и размеры циклона, протяженность зоны осадков, а так же скорость ветра на уровне 850 гПа. Уменьшение давления в центре циклона у поверхности Земли приводит к увеличению его диаметра. С увеличением скорости ветра увеличивается площадь циклонической циркуляции. С увеличением зоны облачности на уровне 700 гПа (слоисто-дождевая) происходит увеличение зоны осадков.

Увеличение значений хотя бы одной из барических тенденций у поверхности земли сопровождается, как правило, более интенсивным затоком холода на уровне 500 гПа, увеличением минимальной температуры ВГО и протяженности облаков на уровне 300 гПа.

Размеры облачных систем на уровнях 850, 700 и 500 гПа хорошо коррелируют со значениями геопотенциальной высоты изобарических поверхностей на этих уровнях и со скоростью ветра на уровне 850 гПа. Зона облачности на указанных уровнях увеличивается при понижении геопотенциальной высоты изобарических поверхностей, что соответствует развитию циклона. А усиление ветра на уровне 1,5 км приводит к усилению упорядоченных вертикальных потоков, что приводит к более активному образованию облачности. Закономерности параметров облачности на уровне 300 гПа стоит обособленно по сравнению с облачными системами ниже лежащих уровней. Выше 9 км в своем развитии, как правило, достигают только облака конвективного происхождения. Рассматриваемые ранее статистические характеристики облачных систем показывают, что облачность выше уровня 300 гПа представлена только 50% от всех случаев. На срезках эти облака имеют вид ярких пятен с четким контуром. При анализе корреляционных зависимостей видно, что развитию таких мощных конвективных облаков способствует увеличение значения падения давления в циклоне. Увеличение горизонтальных размеров зоны облачности выше уровня 300 гПа сопровождается повышением максимального значения верхней границы облачности и понижением минимальной температуры вершины облака. Росту высоты верхней границы облаков способствует увеличение скорости ветра на уровне 300 гПа.

Максимальный диаметр циклона у поверхности Земли зависит от интенсивности циркуляции на уровне 300 гПа. Со скоростью ветра на этом уровне так же имеют взаимосвязь температуры в центре циклона на уровнях 850, 700, 500 и 300 гПа. Увеличение скорости ветра на данном уровне приводит к увеличению приземного диаметра циклона и указанных температур. Это косно свидетельствует о том, что циклон является температурно-несимметричным, а значит не перешел еще в стадию заполнения и продолжает развиваться.

О развитии циклона можно судить и по росту температуры в центре циклона в средней тропосфере (АТ-700). Эта температура коррелирует с минимальной температурой в приземном центре циклона, со значениями геопотенциальных высот стандартных изобарических поверхностей и с максимальной протяженностью зоны осадков.

После проведения анализа корреляционной матрицы были получены уравнения для восстановления значений параметров облачной системы по данным термобарического поля.

Рассмотрим уравнения для определения зоны облачности на уровне 1500 м и протяженности зоны осадков.

$$L_{oc} = 34,606f_{500} + 26,212\Delta P_{zn} \quad (1)$$

$$L_{850} = 389,144 - 42,535H_{700} - 0,383D_x + 55,307f_{850} + 23,305H_{OT} \quad (2)$$

где f_{500} – скорость ветра на уровне 500 гПа, м/с; ΔP_{zn} – глубина циклона, гПа; H_{700} – геопотенциальная высота изобарической поверхности 700 гПа, дм; D_{700} – диаметр циклона по направлению его перемещения, км; f_{850} – скорость ветра на уровне 850 гПа, м/с; H_{OT} – высота относительного геопотенциала 500/1000, дм.

Углубление циклона приводит к усилению циркуляции, увеличению скорости ветра, в том числе и на уровне 850 гПа. Соответственно происходит увеличение зоны облачности, а вместе с ней и протяженности зоны осадков. Это подтверждается составляющими уравнения (1).

Проведем анализ уравнения (2). Уменьшение диаметра циклона и увеличение скорости ветра на уровне 850 гПа характеризует увеличение кинетической энергии в центре циклона и косвенно свидетельствует об увеличении скорости восходящих движения в циклоне. Соответственно, создаются условия, благоприятные для развития облачности, в том числе расширению ее пространственной протяженности. Понижение геопотенциальной высоты уровня 700 гПа и увеличение высоты относительного геопотенциала указывают на развитие циклона – облачность, соответственно, получает тенденцию для дальнейшего развития.

Оба приведенные выше уравнения имеют ошибку в пределах 22 – 23% от абсолютного значения самой величины и учитывают 84 и 64% факторов, влияющих на данные величины. Проверка данных уравнений на независимом материале (70 случаев) дает аналогичные погрешности 23 и 24% и показывает учет 79 и 60% факторов соответственно. Исходя из приведенных критериев успешности, данные зависимости можно рекомендовать для использования в практической деятельности при отсутствии более качественных способов оценки пространственных размеров облачности и протяженности зоны осадков.

Уравнения для восстановления максимальной высоты облаков в центре циклона и на атмосферных фронтах имеют следующий вид:

$$H_{maxZn} = 31716,48 - 149,54T_{min} + 33,92f_{300} - 55,61H_{500} \quad (3)$$

$$H_{maxAf} = 17085,42 - 136,89T_{min}^* + 27,68f_{300} - 49,45H_{500} + 22,26H_{от} \quad (4)$$

где, T_{min} и T_{min}^* – минимальная температура верхней границы облаков в центре циклона и на атмосферном фронте соответственно, °С; f_{300} – скорость ветра на уровне 300 гПа, м/с; H_{500} – геопотенциальная высота изобарической поверхности 500 гПа, дм.

Из уравнений 3 и 4 видно, что максимальная высота верхней границы облаков повышается при увеличении скорости ветра на высоте 9 км и понижении геопотенциальной высоты изобарической поверхности 500 гПа. Эти переменные указывают на то, что циклон продолжает развитие, соответственно существуют условия для дальнейшего увеличения облачности. Увеличение высоты верхней границы облаков сопровождается понижением температуры на ней. Увеличение значения высоты относительного геопотенциала 500/1000 позволяет судить о том, что над центром циклона находится гребень тепла, и циклон не перешел еще в стадию заполнения.

Представленные уравнения имеют ошибку 2-5% от значения самой величины и рассматривают соответственно 90 и 92% факторов, влияющих на искомую величину. При проверке полученных зависимостей на независимом материале были получены ошибки в пределах 3-7% и учет 80-82% влияющих факторов. Эти уравнения можно применять в оперативной работе ведомственных метеоподразделений с достаточной для практических целей точностью.

Уравнения для восстановления пространственных размеров облачности на уровнях 700, 500 и 300 гПа имеют погрешности 40 – 50%, либо рассматривают менее 50% влияющих факторов. Эти уравнения не пригодны для практического использования и в работе не приводятся.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, выявленные закономерности пространственно-временного распределения характеристик облачных систем атмосферных фронтов существенно отличаются от значений полученных в середине прошлого века по данным наземных наблюдений, аэрологическим данным и аналоговым спутниковым изображениям.

Дальнейшее развитие исследований в данной области может быть направлено на расширение учитываемых параметров барических образований и на детализацию характеристик облачного покрова по частям циклона и участкам, связанных с ним атмосферных фронтов.

Практический интерес представляет, также, разработка прогностических зависимостей.

В случаи отсутствия комплекса «Сюжет-МЦ» могут быть использованы разработанные зависимости для восстановления параметров облачности по данным термобарического поля.

Данные зависимости получены для Европейской территории России, но методику после уточнения на местном архивном материале можно применять и в других районах.

Таким образом, в работе были исследованы зависимости характеристик поля облачности и осадков на различных уровнях тропосферы от термобарических характеристик циклонов и получены диагностические уравнения для оценки исследуемых величин. Результаты исследования проверены на независимом материале и могут быть использованы в практической работе метеоподразделений авиации Вооруженных Сил.

THE CLOUD OF THE ATMOSPHERIC FRONTS - A VIEW FROM SPACE

I. P. Rastorguev, A. S. Belinsky, M. B. Kachmar

The results of monitoring cloud atmospheric fronts on remote sensing data with meteorological spacecraft.

Keywords: meteorological spacecraft, atmospheric fronts, monitoring of cloud systems, methods of investigation

ЛИТЕРАТУРА

1. Расторгуев И.П., Неижмак А.Н. Мониторинг опасных явлений погоды с использованием цифровой информации спутников Земли: сб. тр. XX межд. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях». Ярославль: ЯГТУ, 2007. Т. 6. С. 188-190.
2. Назаренко А.В., Расторгуев И.П., Неижмак А.Н. Методика использования цифровой спутниковой информации в задаче мониторинга опасных метеорологических явлений конвективного происхождения. Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология, 2008. №2. С. 71–77.
3. Неижмак А.Н., Звягинцева А.В., Расторгуев И.П. Распознавание опасных метеорологических явлений конвективного происхождения в интересах управления авиацией. Вестник ВГТУ, 2008. Т. 4, № 10. С. 135–139.
4. Неижмак А.Н., Расторгуев И.П., Земерев Ю.В. ГИС-технологии обработки данных метеорологических космических аппаратов: информатика. Проблемы, методология, технологии: мат. IX межд. науч.-метод. конф. Воронеж: ВГУ, 2009. Т.2. С. 101-105.
5. Неижмак А.Н., Расторгуев И.П. Способ определения конвективных опасных метеорологических явлений для европейской территории России. Патент РФ № 2467361, МКП: G01W1/02, G01W1/08, опубл. 20.11.2012.
6. Звягинцева А.В., Расторгуев И.П., Неижмак А.Н. Мониторинг стихийных бедствий конвективного происхождения по данным дистанционного зондирования с метеорологических космических аппаратов. Монография. Воронеж: ГОУ ВПО ВГТУ, 2013. 166с.