

УДК 551.578.46

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФРОНТАЛЬНЫХ ЦИКЛОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ С МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.В. Андронников, П.Д. Савченко

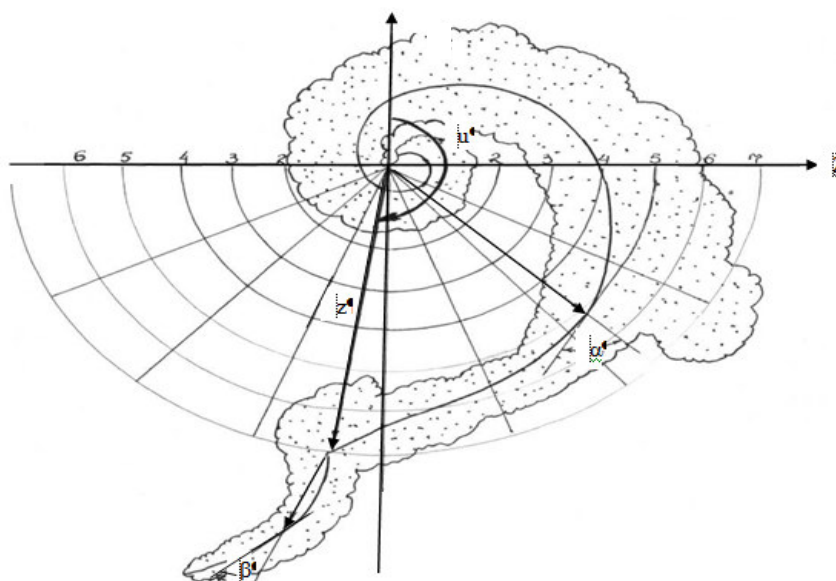
В статье рассматривается методика обработки спутниковых снимков облачности с целью прогнозирования образования и эволюции фронтальных циклонов.

Ключевые слова: циклон, облачность, вихрь, атмосферный фронт, возмущение, волна, фокус

Данные, получаемые в настоящее время с метеорологических космических аппаратов (МКА), позволяют более глубоко уяснить особенности атмосферных процессов. Использование метеорологами этих, качественно новых данных, требует разработки методик более полного их применения в оперативной практике.

Цель работы заключалась в разработке методики использования данных с МКА для прогноза образования и эволюции фронтальных циклонов.

В качестве исходных данных были использованы следующие параметры, снимаемые с поля облачности (рис. 1):



- z – расстояние от конвергентной точки основного вихря до вершины волнового возмущения;
 u – направление на волновое возмущение;
 α – угол закрученности облачной спирали основного вихря;
 β – угол, характеризующий циклонический изгиб участка холодного фронта образовавшейся волны

Рис. 1. Параметры, снимаемые со спутниковых фотоснимков

- чаще всего используют такой значимый в системе облачного вихря параметр, как угол кривизны облачной спирали α , имеющий хорошую связь со стадиями развития соответствующего вихря циклона;
- параметры z и u , которые определяют положение волнового возмущения на облачной полосе холодного фронта относительно центра основного вихря;
- представляет интерес и угол β , указывающий на интенсивность и глубину затока холодного воздуха в область волнового возмущения.

При рассмотрении вопроса возникновения и эволюции волновых циклонов было проанализировано 577 случаев циклогенеза на холодных фронтах. Исходные данные снимались в следующей последовательности: при обнаружении на снимке с МКА признаков циклогенеза по аэросиноптическому материалу и последующим спутниковым снимкам устанавливался факт образования волны и последующей её эволюции. Если волна переходила в циклон, то определялось время образования первой замкнутой изобары у поверхности Земли. Во всех случаях обнаружения волны со снимка снимались углы закрученности основного вихря α , волнового возмущения β , а также параметры z и u . В первую очередь была проанализирована зависимость между стадиями развития циклона, соответствующего основному облачному вихрю на снимке (на них указывает параметр α) и вероятностью образования волны на холодном фронте, связанным с этим циклоном. Известно, что абсолютное большинство волновых возмущений обнаруживается на малоподвижных фронтах стационарных циклонов. Поэтому на спутниковом снимке очень важно правильно определить параметр α и сопоставить его с фактом циклогенеза на волне [1].

Зависимость вероятности перехода волны в циклон от параметра α представлена в таблице 1 и построенном по её данным рисунке 2. Анализ таблицы 1 и рисунка 2 свидетельствует о том, что наибольшая вероятность перехода волнового возмущения в молодой циклон (67–80 %) приходится на углы $\alpha=55-65^\circ$.

Таблица 1

Распределение случаев перехода волны в циклон или её исчезновения
в зависимости от угла закрученности основного вихря

α (град)	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Переход волны в циклон	11	38	60	52	79	60	40	26	1
Исчезновение волны	19	34	40	26	31	15	23	18	5
Общее количество случаев	30	72	100	78	109	75	63	44	6
Вероятность перехода волны в циклон (%)	37	52	61	67	71	80	64	59	16

Эти углы закрученности приходятся на конец стадии максимального развития и первую половину стадии окклюдирования. На этом этапе жизни циклона в зоне холодного фронта наблюдаются наибольшие контрасты температуры: с одной стороны фронта идет интенсивный заток холодного воздуха в тыл циклона, с другой – в сохраняющемся еще теплом секторе продолжается поступление в циклон масс теплого воздуха. Облачная система вихрей таких циклонов состоит из облачной полосы фронта окклюзии, а как показывают теоретические исследования и синоптическая практика, на фронтах окклюзии волновые образования не возникают.

Из табл. 1 также видно, что на холодных фронтах, связанных с молодыми циклонами ($\alpha=40-50^\circ$), вероятность образования и развития волн также не велика. Это связано в первую очередь с тем, что молодые циклоны и фронты смещаются с большой скоростью, а, кроме того, слабая бароклинная неустойчивость таких молодых образований не обеспечивает энергетических запасов для возникновения волновых возмущений.

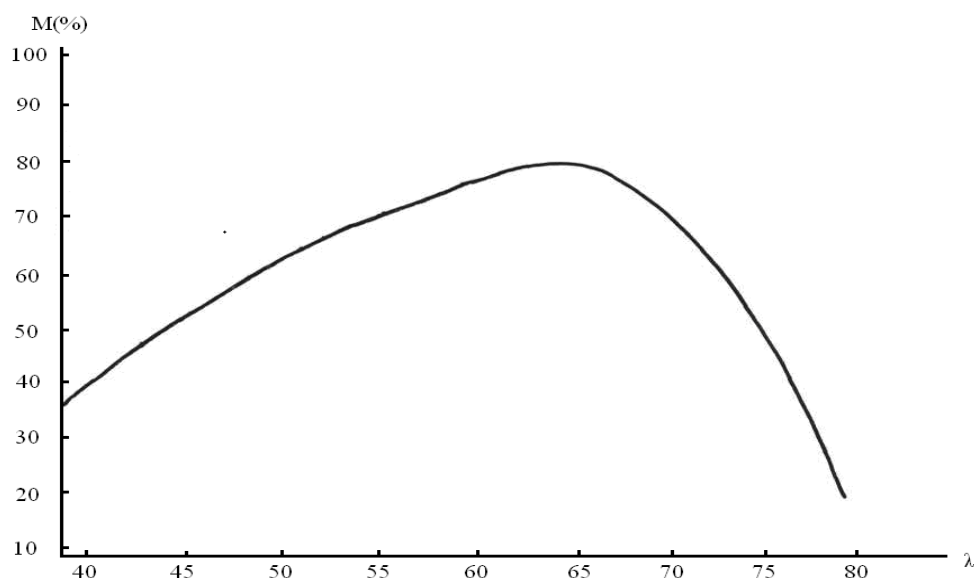


Рис. 2. Вероятность развития волновых циклонов в зависимости от угла закрученности облачного вихря основного циклона

Поэтому, если при сочетании определенных динамических и термических факторов на холодном фронте такого циклона образовалась волна, то имеются условия для её активного развития. Дальнейшее увеличение углов закрученности облачного вихря основного циклона приводит к резкому уменьшению вероятности перехода волны в молодой циклон, а при углах закрученности около 80° практически ни одно из волновых возмущений не получило дальнейшего развития. Это объясняется тем, что такие большие углы закрученности соответствуют облачным вихрям циклонов в стадии заполнения [2].

Анализируя вероятность перехода волнового возмущения в молодой циклон от величины угла закрученности β приходим к выводу, что между ними имеется прямая зависимость: с уменьшением угла закрученности уменьшается и вероятность перехода волны в циклон. Значения угла закрученности β лежат в пределах $15\text{--}35^\circ$. При больших углах β у Земли наблюдается замкнутая изобара, а углы β меньше 15° определить трудно. Данные, характеризующие связь значений угла β с вероятностью перехода волны в циклон, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Распределение случаев перехода волны в молодой циклон или ее исчезновения в зависимости от величины прогиба холодного участка волнового возмущения β

β (град)	15	20	25	30	35	40
Количество случаев перехода волны в циклон	14	98	115	90	49	366
Количество случаев исчезновения волны	13	62	70	48	18	211
Общее количество случаев	27	160	185	138	67	577
Вероятность перехода волны в циклон (%)	52	60	62	65	73	63

Для подтверждения наших предыдущих выводов о наличии связи стадий развития циклонов с вероятностью образования волновых возмущений была проанализирована зависимость между углами закрученности облачного вихря основного циклона и углом u , характеризующим направление на волновое возмущение от конвергентной точки. Для этого на рисунке 3 были нанесены и затем усреднены значения параметров α и u в 366 случаях перехода волны в молодой циклон.

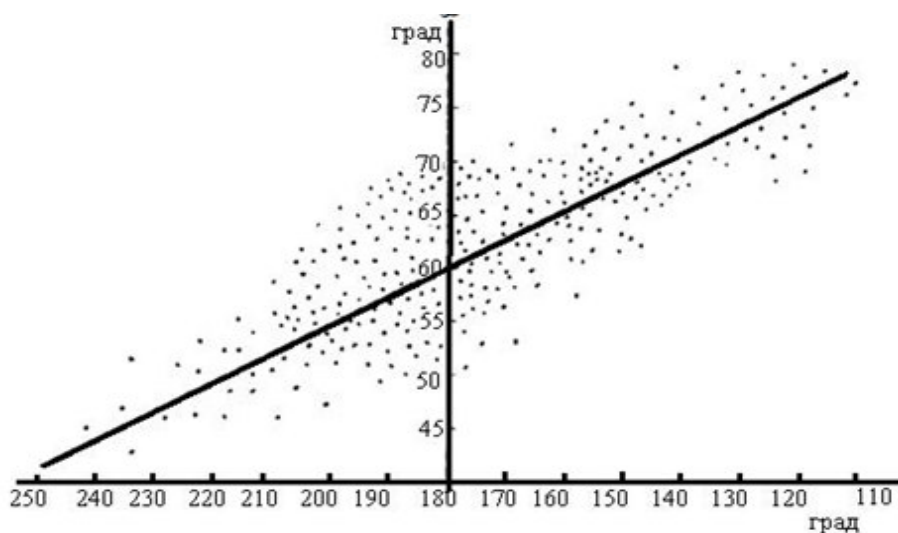


Рис. 3. Зависимость между углом закрученности (α) основного вихря и направлением (u) на волновое возмущение

Из графика на рис. 3 видно, что с увеличением угла α угол u уменьшается, т.е. случаи волнообразования на холодном фронте смещаются в юго-восточный–восточный сектор относительно центра облачного вихря. Это хорошо согласуется с общей теорией циклогенеза, согласно которой, по мере развития циклона и соответствующего ему облачного вихря, холодный воздух проникает все дальше в тыл циклона (вихря), а следовательно, туда же смещается и фронтальная зона с развивающимися на ней волновыми возмущениями.

Итак, из проведенного нами анализа, можно сделать вывод, что данные, получаемые со снимков облачного покрова не находятся в противоречии с общепринятой теорией развития циклонов, а выбранные нами параметры, характеризующие облачный вихрь и положение в нем волнового возмущения, несут в себе физический смысл и в какой-то мере отражают особенности волнообразования. Поэтому они могут быть использованы для разработки прогноза возникновения и эволюции волновых возмущений на холодных фронтах по снимкам с МКА [3].

Для уточнения прогноза вероятности перехода волны в молодой циклон была проанализирована зависимость между удалением волны от центра вихря z и параметром α облачной спирали вихря. С этой целью положение точки взаимного сочетания параметров z и α на рисунке 4 было аппроксимировано с помощью специальной программы. Оказалось, что наименьшую дисперсию дает криволинейная зависимость, которая в данном случае описывается уравнением второй степени:

$$Z = -0.017\alpha^2 + 0.62\alpha + 53. \quad (1)$$

При явно выраженной нелинейной зависимости, корреляционное отношение, равное 0.83, свидетельствует о достаточно тесной связи между рассматриваемыми величинами. Учитывая это, а также то, что параметры z и α легко и с небольшими погрешностями ($\Delta z = 0,1$ см; $\Delta \alpha = \pm 1^\circ$) снимаются со спутниковых снимков, было решено использовать зависимость между ними для построения прогностического графика перехода волнового возмущения в молодой циклон (рис. 4).

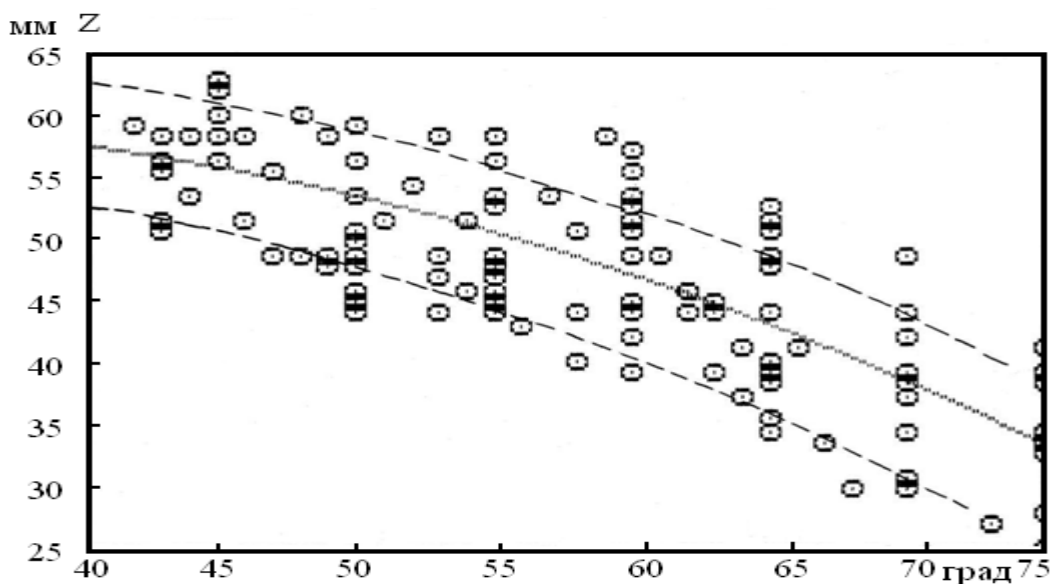


Рис. 4. Зависимость между углом закрученности облачной спирали и расстоянием от фокуса вихря до вершины волнового возмущения

Полученное распределение значений z в зависимости от угла α объясняется особенностями распределения термобарического поля в области вихря. То, что у молодых циклонов ($\alpha=40-50^\circ$) волновые возмущения, получающее затем дальнейшее развитие, образуются только на расстояниях больше 1000 км, можно объяснить тем, что молодые циклоны, а значит и близлежащее к центру циклону участки холодного фронта смещаются с большими скоростями, что не способствует циклогенезу. Для установления доверительных границ колебания значений величины z в зависимости от значений угла закрученности α были рассчитаны доверительные интервалы, которые были нанесены на график (рис. 4) и по ним пунктирными линиями проведены доверительные границы для всего рассматриваемого распределения.

Оправдываемость способа прогноза перехода волны в молодой циклон равна 75%, что приемлемо в оперативной работе метеоспециалистов.

Таким образом, можно сделать вывод, что рассмотренная методика может быть использована в качестве дополнительного инструмента при анализе синоптической обстановки над малоосвещенной в метеорологическом отношении территориями.

PROGNOSTICATION OF FRONTAL CYCLONES WITH THE USE THE INFORMATION FROM METEOROLOGICAL SATELLITES

V.V. Andronnikov, P.D. Savchenko

In the article methodology of treatment of satellite pictures of cloudiness is examined with the purpose of prognostication of education and evolution of frontal cyclones.

Keywords: cyclone, thunderstorm, tornado, weather front, disturbance, wave, focus

ЛИТЕРАТУРА

1. Андронников В.В. Анализ и прогноз синоптического положения по вихревой структуре облачности. – Воронеж, 2003. 74 с.
2. Климатическая характеристика спиралевидной облачности северного полушария по спутниковым данным. Тр. ВНИГМИ МЦД, 1995. Вып. 125. С. 69–81.
3. Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды. – СПб., 1992. 296 с.