

**Библиографический список**

1. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Исследование радиолокационных характеристик для распознавания опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью // Метеорология и гидрология. 2005. № 1. С. 84–95.
2. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Определение водности и водозаписа кучево-дождевой облачности по информации метеорологического радиолокатора // Метеорология и гидрология. 2011. № 2. С. 30–43.
3. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Совместное использование данных радиолокационных и станционных наблюдений для анализа облачных полей // Метеорология и гидрология. 2002. № 8. С. 53–60.
4. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. РД 52.88.629–2002. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 42 с.
5. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. РД 52.04.320-91. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 360 с.

**A.A. Pomortceva, V.A. Gordina****THE STUDY OF SYNOPTIC CONDITIONS OF FORMATION OF SQUALLS  
ON THE PERM REGION**

The article presents the results of the study of synoptic conditions of education squalls on the territory of the Perm region (the type of the pressure field, the periphery of the pressure of education, type and intensity of the atmospheric fronts) over the 5-year period. Estimated values of radar characteristics (reflectivity, height radar echoes in radar kernel) in periods of observation, the most close to the dates of registration of the squalls.

**К е у w o r d s :** squall; convective phenomena; pressure education; atmospheric fronts; weather radar.

**Anna A. Pomortceva**, Candidate of Geographical Science, Associate Professor of Department of Meteorology and the Protection of Atmosphere, Perm State National Research University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; smirnova@psu.ru

**Vladislava A. Gordina**, Student of Department of Meteorology and the Protection of Atmosphere, Perm State National Research University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; vlada-musechka@yandex.ru

УДК 551.557

**Н.И Толмачева, А.Д. Крючков****ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОБЛАЧНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ  
ПО КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Проведены исследования пространственно-временного распределения облачных структур с использованием информации метеорологических спутников Земли (МСЗ) за многолетний период, анализ скорости, кривизны и траекторий циклонических систем, рассмотрена динамика облачных образований по данным МСЗ, изучено перемещение циклонических образований по космическим снимкам, установлены поправочные коэффициенты, углы разворота, кривизна облачной спирали и рассчитаны схемы экстраполяции для разных стадий.

**К л ю ч е в ы е с л о в а :** метеорологический спутник; космический снимок; облачная система; динамика облачных образований.

---

© Толмачева Н.И, Крючков А.Д., 2013

**Толмачева Наталья Игоревна**, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15; nitolmacheva@yandex.ru

**Крючков Андрей Дмитриевич**, магистр гидрометеорологии, инженер кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15; meteo@psu.ru

Для исследования пространственно-временного распределения облачных структур использовалась информация метеорологических спутников NOAA за период 2000–2009 гг. Данные представлены в виде космических снимков, включающих территорию Восточной Европы, стран Скандинавии, европейскую территорию России, районы Урала и Сибири с разрешением порядка 3 км. Каждые сутки включают 25 космических снимков. Полярно-орбитальные метеорологические спутники земли МСЗ серии NOAA (США) выводятся на солнечно-синхронные орбиты, т.е. каждые сутки спутник проходит над любой территорией примерно в одно и то же местное время. Высота орбиты порядка 830–870 км, орбиты проходят вблизи полюсов Земли и, с учетом широкой полосы обзора (3000 км), это гарантирует съемку любого участка поверхности не менее 4 раз в сутки с каждого спутника.

Для анализа проводилась выборка характерных случаев перемещения облачных систем над Уралом и выделение их траектории. Эти облачные системы прослеживались в течение 2–5 суток с момента их возникновения до разрушения. Всего было рассмотрено 2000 таких серий. Для исследования движения облачных систем определялось перемещение каждого из характерных участков облачной системы (точки 1–55). Изменение скорости от одного срока к другому позволило вычислить ускорение или замедление перемещения облачной системы. Фактическая скорость с поправочным коэффициентом за предыдущий интервал используется в качестве прогностической.

В прогнозе по космической информации, например, осадков не учитывается зависимость скорости перемещения циклонических образований от кривизны спирали, в данном исследовании определяются количественные критерии — кривизна облачной спирали ( $\alpha$ ), угол разворота ( $\varphi$ ), длина выметов ( $l$ ) для уточнения прогноза скорости перемещения по территории Урала. В исследовании кривизна линии, представленной на рис. 1, определяется выражением  $K = \frac{\alpha}{\Delta S}$ , где  $K$  — кривизна

облачной спирали,  $\Delta S = \text{const}$ . Здесь  $\alpha$  — угол между касательной и кривой в точках 1 и 2, точка 1 лежит на кривой на расстоянии  $\Delta S$  от точки 2. В настоящей работе угол  $\alpha$  используется для определения кривизны различных участков облачных систем. В изолированных облачных шапках вычислялась наибольшая кривизна перистообразной облачной шапки; в облачных вихрях — наибольшая кривизна спирали.

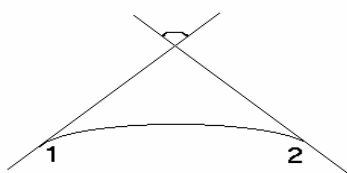


Рис. 1. Определение кривизны линий ( $\alpha$ )

Далее вычисляется длина выметов перистообразных облаков  $l$ . Известно, что выметы перистообразных облаков указывают на адвекцию теплого воздуха в верхней и средней тропосфере, а также на падение давления у поверхности Земли и являются показателями активности процесса. Подсчитывается длина выметов перистообразных облаков при дифференцированном разделении направления перемещения облачных систем за 3–12-часовые интервалы. Прогнозируется облачная система путем формальной экстраполяции на 3, 6, 12, 24 ч временные интервалы. Экстраполяция проводится по последовательным космическим снимкам видимого или ИК-диапазона, на которых выделяют облачную систему и интерполируют положение ее основных участков: области наибольшей кривизны облачной спирали (рис. 2, точка 3), головы вихря (рис. 2, точка 1), передней (рис. 2, точка 2, 4) и тыловой (рис. 2, точка 5) кромок. Скорость смещения основных участков облачной системы в последующие часы (3, 6, 12) принимается равной скорости за предыдущие. Затем находят поправочные коэффициенты для каждой стадии развития циклона и вводятся в методику прогноза (осадков, опасных явлений и др.). Разработана схема экстраполяции участков облачных систем для Урала.

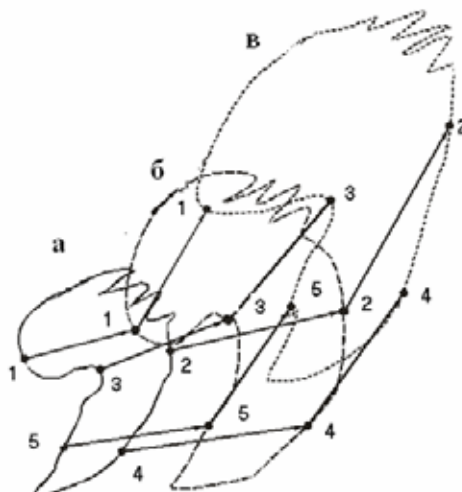


Рис. 2. Схема экстраполяции основных участков облачных систем:  
а и б – последовательные снимки, по которым проводилась экстраполяция,  
в – прогнозируемое положение облачной системы

Выделялось пять стадий развития облачных систем. К первой стадии относились все облачные формы начальной стадии циклогенеза: облачная шапка фронтальной волны, изолированная облачная шапка у точки окклюзии. В трех последующих стадиях облачная система имела форму вихря: вторая стадия соответствует облачному вихрю молодого циклона, когда появляется вихревая структура в облачности; в третьей стадии, стадии максимального развития, облачность приобретает хорошо выраженную спиралевидную форму (в этой стадии три спирали, соответствующие теплomu, холодному фронтам и фронтам окклюзии, сходятся в одной точке); в четвертой стадии вихрь имеет одну сильно закрученную спираль фронта окклюзии. Пятая стадия – разрушение облачной системы и исчезновение вихревой структуры. В дальнейшем рассчитывается угол разворота  $\varphi$  при различных траекториях смещения циклонических образований по космическим снимкам (рис. 3).



Рис. 3. Угол разворота  $\varphi$

*Анализ скорости, кривизны и траекторий циклонических систем.* В анализе использовались космические снимки NOAA за период 2000–2009 гг. Рассмотрим детально процессы за август, декабрь 2002 г. и июнь 2003 г. Для остальных циклонических систем приведем статистику.

В августе циклоны проходили над Уралом в следующие дни: с 8 по 12, с 13 по 16, 24 по 27 августа по территории  $50^{\circ}$ – $65^{\circ}$  с. ш. и  $50^{\circ}$ – $70^{\circ}$  в. д. В процессе с 8 по 12 августа 2002 г. (рис. 4) циклон появился с запада европейской территории России. В начальной стадии 8 августа в срок 04 ч 38 мин (рис. 5а) скорость тыловой кромки на 10 км/ч больше скорости передней в точках Т1, Т2. В момент формирования облачной спирали 10 августа 14 ч 53 мин и 15 ч 36 мин самая большая скорость наблюдается в голове вихря и в тыловой части.

В развитом и окклюдированном циклонах 11 августа 7 ч 29 мин и 9 ч 36 мин (рис. 5б) быстрее всего перемещается голова вихря и передняя сторона — 33–38 км/ч в точках Т1, Т3. В стадии заполняющегося циклона 11 августа в сроки 13 ч 24 мин и 15 ч 46 мин, когда вихревая структура исчезает совсем, скорость передней и тыловой кромок выравнивается — 21–25 км/ч (табл. 1).

По мере развития циклонической облачной системы 8 августа ее кривизна изменяется. В начальной стадии развития циклона в сроки 00 ч 24 мин и 04 ч 38 мин, когда в изолированной шапке наблюдаются выбросы перистообразной облачности, располагающейся в вершине гребня,  $\alpha$  составляет  $120^{\circ}$  (табл. 1, значения кривизны  $\alpha$  в градусах).

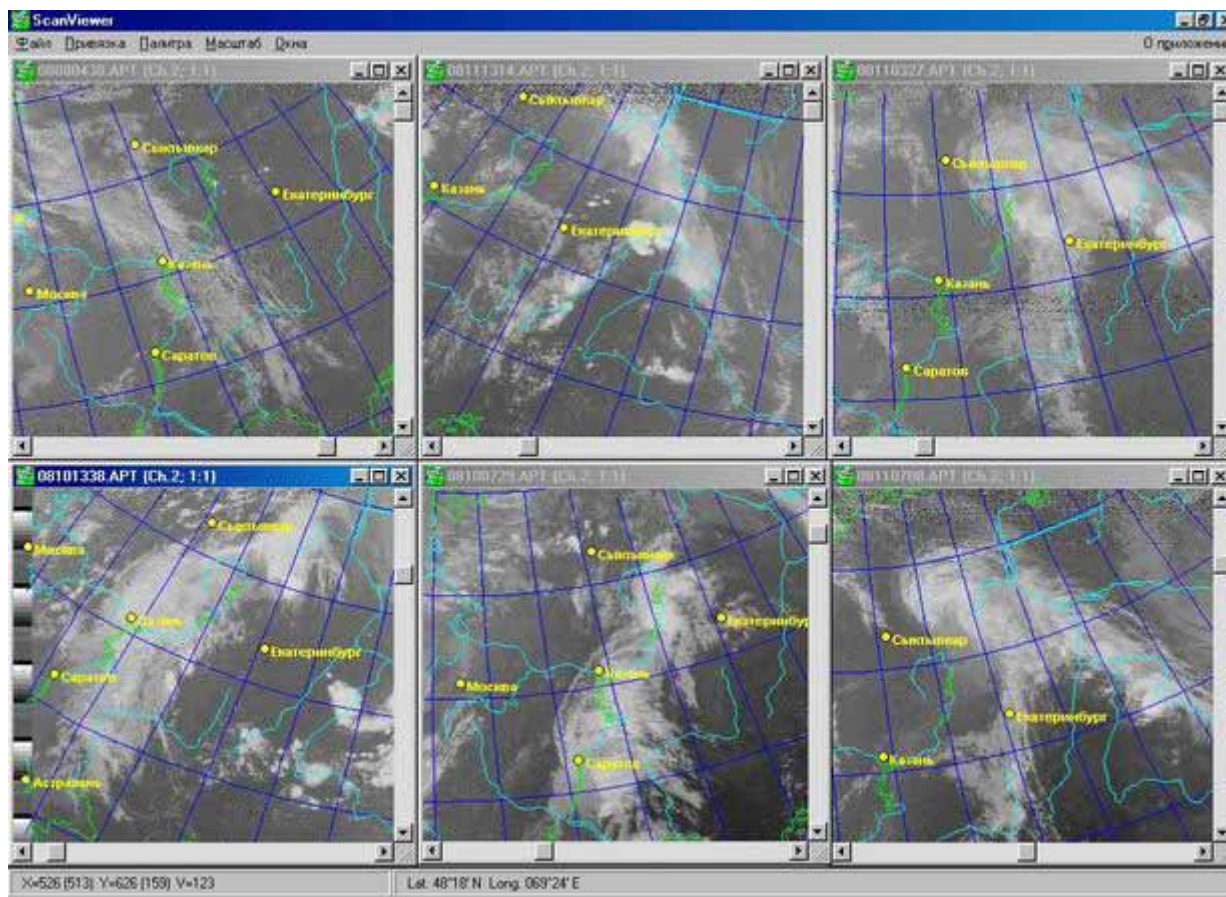
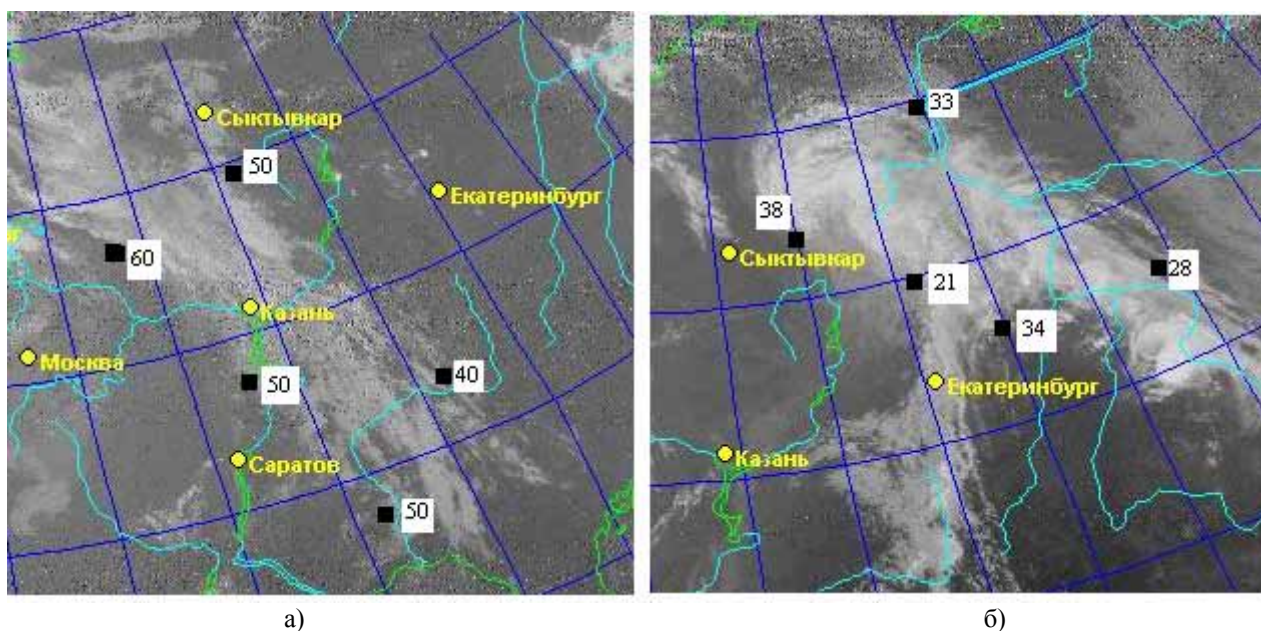


Рис. 4. Космические снимки облачности NOAA-16 8–12 августа

Рис. 5. Скорость перемещения облачных систем в T1, T2, T3, T4, T5:  
а) 8 августа 2002 г.; б) 11 августа 2002 г.

По мере развития циклона формируется прогиб в тылу облачной спирали и появляется вихревая структура облачности (в 14 ч 53 мин. и 15 ч 36 мин.).



В стадии молодого циклона (10 августа в 7 ч 29 мин. и 9 ч 36 мин.) кривизна уменьшается до  $110^\circ$ , в развитом и окклюдированном (11 августа 13 ч 24 мин. и 15 ч 46 мин.) — до  $90-70^\circ$  (рис. 5б), в заполняющемся (12 августа) вновь увеличивается до  $160^\circ$  (табл. 1), при этом фронтальная полоса становится квазипрямолинейной.

Выметы перистых облаков 8 августа в начальной стадии формирования циклонической облачной системы в 00 ч 24 мин и 04 ч 38 мин имеют наибольшую длину в среднем 800 км (табл. 1, длина выметов перистообразной облачности  $l$ ). В этой стадии, а также в начале формирования вихревой структуры происходит удлинение выметов перистообразной облачности в среднем на 25 км каждый час. Начиная со стадии молодого циклона, длина выметов уменьшается до 600 км. При заполнении окклюдированного циклона длина перистообразных выметов сокращается на 20 км каждый час (табл. 1). В стадии заполняющегося циклона они полностью отсутствуют.

Таблица 1

**Значения скорости, кривизны, траектории облачных систем  
в различных стадиях развития, август 2002 г.**

Характеристики		8–12.08	13–16.08.	24–28.08
Начальная стадия	T1	60	65	50
	T2	50	60	40
	T3	40	40	40
	T4	50	50	40
	T5	50	50	50
Стадия молодого циклона	T1	50	60	45
	T2	50	50	40
	T3	40	45	45
	T4	35	40	40
	T5	35	40	30
Развитый	T1	50	40	30
	T2	50	30	40
	T3	40	40	40
	T4	30	35	30
	T5	30	20	30
Окклюдированный	T1	40	30	30
	T2	35	30	30
	T3	35	35	20
	T4	35	30	20
	T5	30	20	25
Заполняющийся	T1	25	25	25
	T2	33	20	20
	T3	28	20	25
	T4	21	20	20
	T5	30	20	20
Значения кривизны $\alpha$ , градусы	Нач. стад.	120	90	125
	Ст. молод.	110	70	100
	Развит.	90	70	90
	Окклюд.	70	50	60
	Заполн.	160	180	170
Длина выметов перистообразных облаков $l$ , км	Нач. стад.	800	500	600
	Ст. молод.	600	300	550
	Развит.	500	200	350
	Окклюд.	400	200	200
	Заполн.	0	0	0
Траектория	Запад	Запад	Юго-запад	

Примечание: точки T1–T5 соответствуют точкам 1–5.

В процессе с 12 по 16 августа 2002 г. (рис. 6) циклон появился с запада европейской территории России. В начальной стадии 12 августа в сроки 7 ч 04 мин. и 8 ч 53 мин. скорость передней кромки на

5 км/ч больше тыловой (табл. 1, T1). Во второй стадии 13 августа в срок 15 ч 52 мин самая большая скорость передней кромки, которая составляет 60 км/ч (табл. 1, T2).

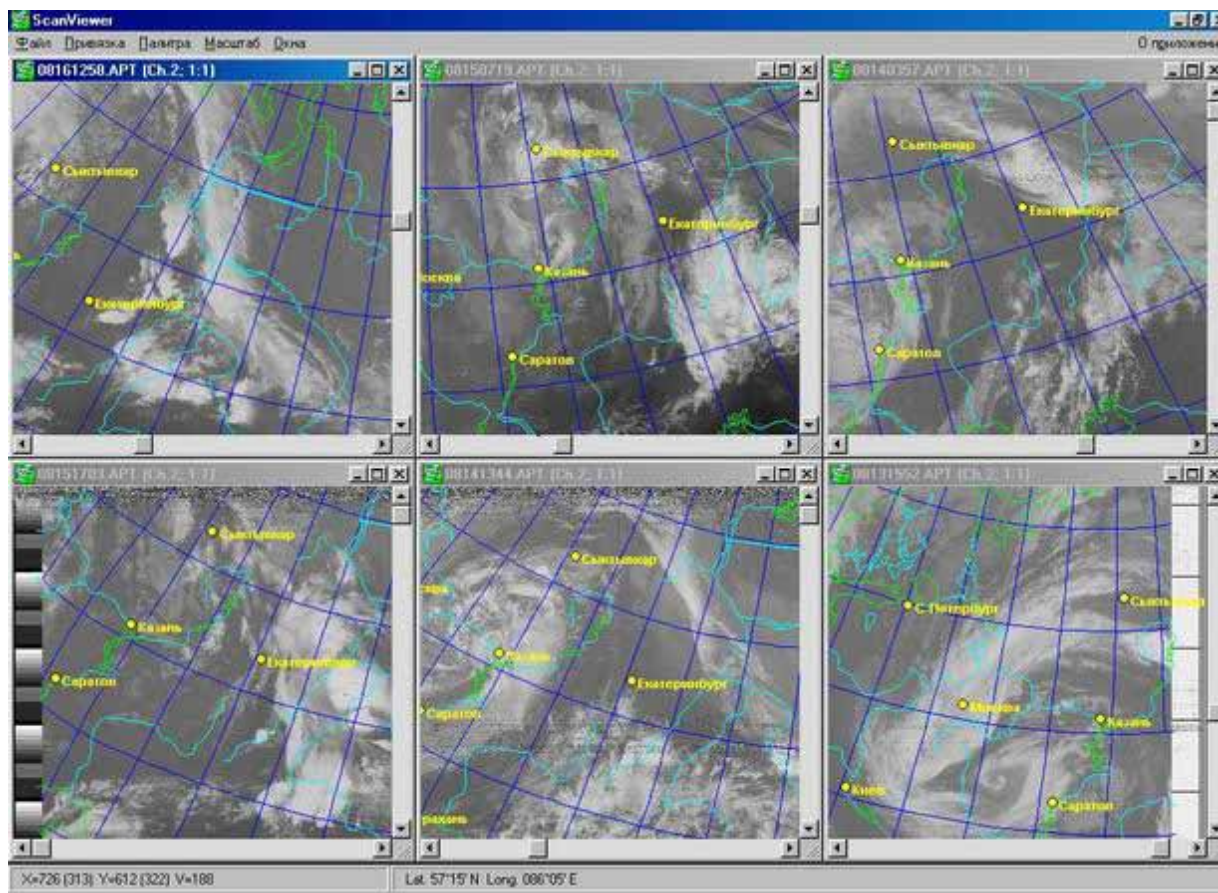


Рис. 6. Космические снимки облачности 13–16 августа 2002 г.

В развитии циклоне 14 августа самая большая скорость наблюдается в передней кромке облачной спирали и голове вихря — 40 км/ч (табл. 1, T1, T3). В окклюдированном циклоне 14 августа в 03 ч 54 мин и 15 ч 52 мин. быстрее всего перемещается северо-восточная составляющая — 35 км/ч. В срок 13 ч 04 мин. 16 августа в заполняющемся циклоне скорость постепенно выравнивается и составляет 20–25 км/ч (табл. 1).

В изолированной шапке 12 августа кривизна составляет  $\alpha = 90^\circ$ . В молодом и развитом циклоне появляется вихревая структура облачности. В окклюдированном сильно закручивается голова облачного вихря  $\alpha = 50^\circ$ , в заполняющемся циклоне 16 августа  $\alpha$  достигает  $180^\circ$  (табл. 1, значения кривизны  $\alpha$ ). Длина выметов 12 августа в начальной стадии около 500 км. Начиная со стадии молодого циклона 13 августа в срок 15 ч 52 мин. длина выметов уменьшается до 300 км, а в стадии заполняющегося циклона они полностью отсутствуют (табл. 1, длина выметов  $l$ ).

В процессе с 24 по 28 августа (рис. 7) циклон появился с юго-запада европейской территории России. В начальной стадии 24 августа в сроки 02 ч 12 мин. и 5 ч 04 мин. скорость тыловой кромки на 10 км/ч больше скорости передней кромки (табл. 1, T2, T5).

В молодом циклоне 24 августа в сроки 14 ч 29 мин. и 15 ч 44 мин. самая большая скорость в голове вихря и передней кромки — 45 км/ч (табл. 1, T1, T3). 26 августа в развитом и окклюдированном — 20–35 км/ч (табл. 1, T1–T5). В стадии заполняющегося циклона 28 августа в 7 ч 44 мин. и 10 ч 53 мин., когда вихревая структура исчезает, скорости передней и тыловой кромок составляют 20–25 км/ч (табл. 1).

По мере развития кривизна циклона изменяется. В начальной стадии 24 августа в 02 ч 12 мин и 5 ч 04 мин кривизна в облачной шапке увеличивается ( $\alpha = 125^\circ$ ). В молодом и окклюдированном  $\alpha$  составляет  $90^\circ$ – $100^\circ$ . В стадии заполнения  $\alpha$  вновь увеличивается до  $170^\circ$  (табл. 1, значения кривизны  $\alpha$ ). Максимальные выметы перистообразных облаков наблюдаются 24 августа в начальной стадии развития и соответствуют 600 км. С 25 по 27 августа в развитом и окклюдированном выметы

уменьшаются до 200 км, а в стадии заполняющегося циклона полностью исчезают (табл. 1, длина выметов перист. обл.  $l$ ).

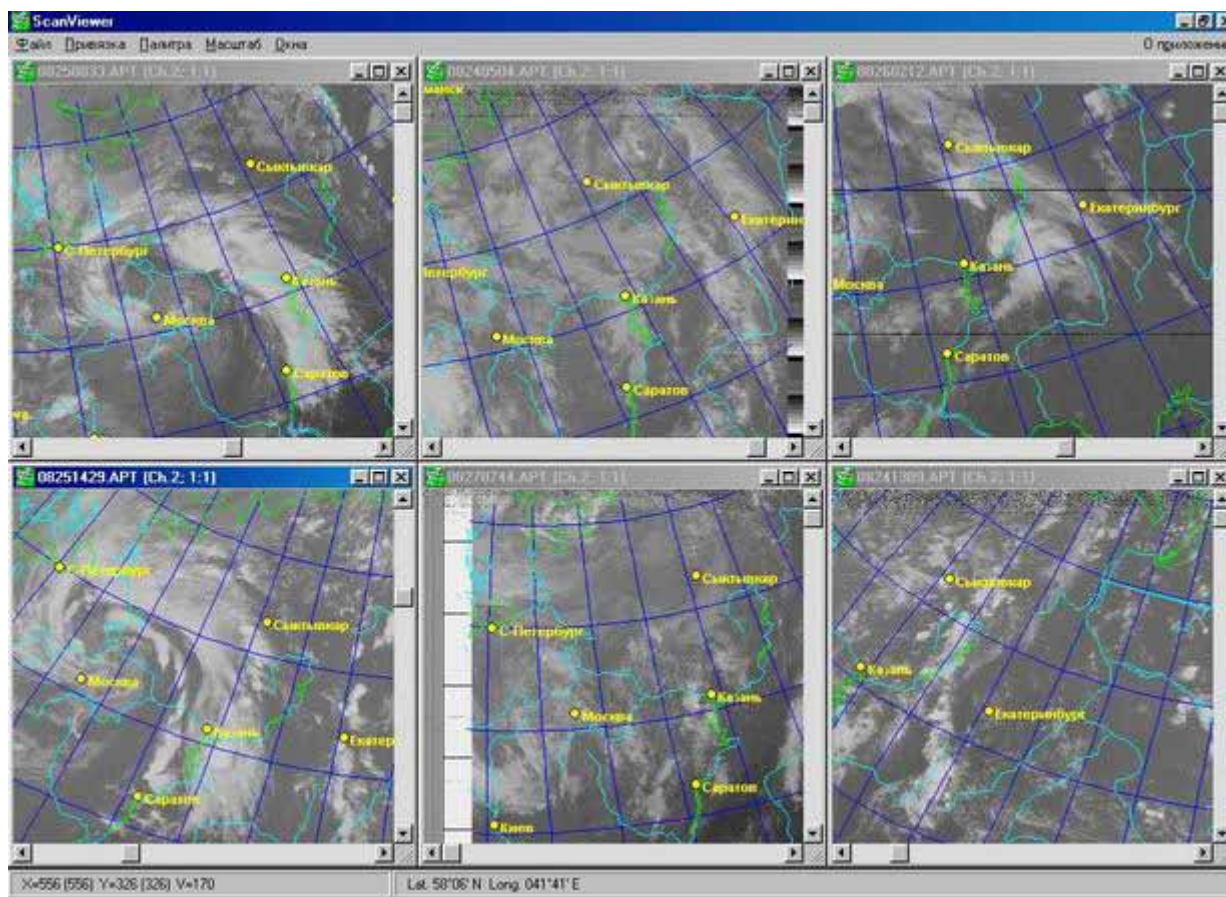


Рис. 7. Космические снимки облачности 24–28 августа 2002 г.

В декабре циклоны проходили через территорию Урала с юга, юга-запада,  $45^{\circ}$ – $65^{\circ}$  с.ш. и  $48^{\circ}$ – $65^{\circ}$  в.д., в следующие дни — с 3 по 6 декабря, с 7 по 9 декабря, с 15 по 18 декабря и с 20 по 26 декабря. В процессе с 3 по 6 декабря (рис. 8) циклон появился с юга-запада европейской территории России. 3 декабря в сроки 5 ч 46 мин. и 07 ч 04 мин. в начальной стадии скорость передней кромки облачной системы равняется 43–50 км/ч, тыловой — 40 км/ч (табл. 2, T2, T4 и T5). Самая большая скорость в «голове» облачного вихря и в северной части облачной системы до 40 км/ч (табл. 2, T1, T2). По мере развития 5 декабря в 04 ч 36 мин. происходит замедление в среднем 5–10 км/ч. В области наибольшей кривизны спирали скорость перемещения всей системы является наиболее постоянной величиной — около 30 км/ч. 6 декабря в сроки 16 ч 30 мин. и 17 ч 45 мин. в стадии заполнения скорость составляет 15–20 км/ч (табл. 2, T1–T5).

По мере развития циклонической облачной системы её кривизна изменяется. В начальной стадии  $\alpha = 100^{\circ}$ , в окклюдированном изменяется ( $\alpha = 60^{\circ}$ ), и в стадии заполнения кривизна увеличивается до  $180^{\circ}$  (табл. 2, значения кривизны  $\alpha$ ).

Наблюдается зависимость скорости выметов перистообразных облаков от перемещения облачной системы. С юга-запада длина выметов в начальной стадии циклона 3 декабря намного больше — около 1200 км. Постепенно длина уменьшается и в окклюдированном она составляет 600 км. В стадии заполнения выметы облачности практически отсутствуют (табл. 2, длина выметов  $l$ ).



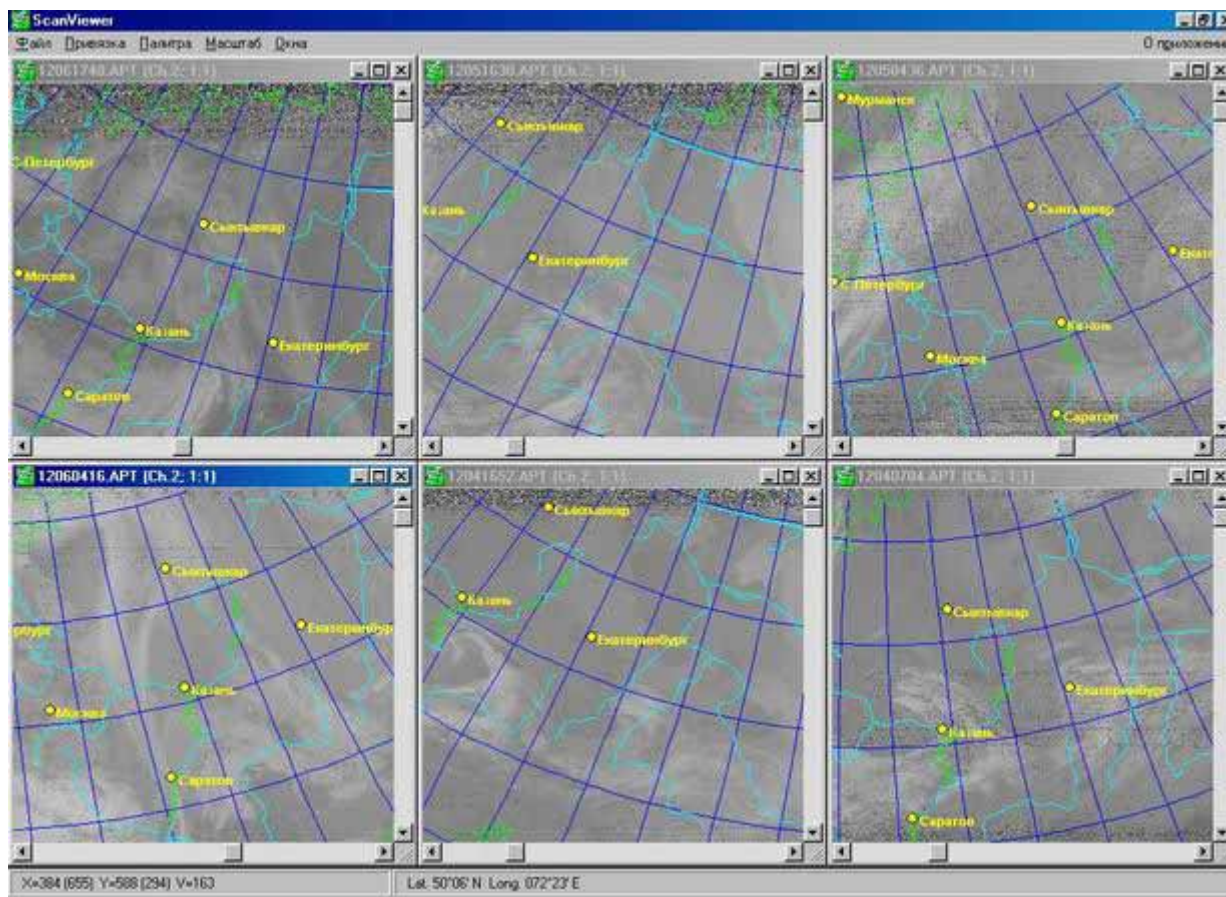


Рис. 8. Космические снимки облачности NOAA–16, 3–6 декабря 2002 г.

В сроки с 7 по 9 декабря циклон выходил с юго-западной части европейской территории России,  $53^{\circ}$ – $68^{\circ}$  с.ш. и  $45^{\circ}$ – $70^{\circ}$  в.д. В первой стадии 7 декабря (рис. 9а) в срок 05 ч 30 мин скорость передней и тыловой кромок составляет 30–45 км/ч (табл. 2, Т2 и Т5). В момент формирования облачной спирали 7 декабря в 17 ч 25 мин. и 18 ч 36 мин. большая скорость наблюдается в голове облачного вихря и в тыловой части (табл. 2, Т1 и Т5). В развитом и окклюдированном 8 декабря в сроки 3 ч 27 мин. и 4 ч 46 мин. (рис. 9б) быстрее всего перемещается передняя часть — 40 км/ч (табл. 2, Т2). В стадии заполняющегося циклона вихревая структура исчезает и скорость выравнивается до 15-20 км/ч (табл. 2, Т1–Т5).

Таблица 2

**Значения скорости, кривизны, траектории облачных систем  
в различных стадиях развития, декабрь 2002 г.**

Характеристики		3–6.12.03	7–9.12.03
Начальная стадия	T1	45	50
	T2	43	45
	T3	40	43
	T4	50	40
	T5	40	30
Стадия молодого циклона	T1	40	35
	T2	40	35
	T3	30	30
	T4	40	30
	T5	30	35
Развитый	T1	40	30
	T2	40	40
	T3	30	25
	T4	30	25
	T5	20	20



Окончание табл. 2

Характеристики		3–6.12.03	7–9.12.03
Окклюдированный	T1	30	32
	T2	25	30
	T3	25	28
	T4	25	25
	T5	20	15
Заполняющийся	T1	20	20
	T2	20	20
	T3	20	20
	T4	20	20
	T5	15	15
Значения кривизны $\alpha$ , в градусах	Нач. стад.	100	90
	Ст. молод	90	70
	Развит.	90	50
	Окклюд.	60	50
	Заполн.	180	160
Длина выметов перистообразных облаков $\ell$ , км	Нач. стад.	800	1000
	Ст. молод	600	600
	Развит.	500	500
	Окклюд.	400	300
	Заполн.	0	0
Траектория		Юго–запад	Юго–запад

Кривизна облачной спирали изменяется. В начальной стадии 7 декабря  $\alpha = 90^\circ$ . В окклюдированном  $\alpha = 50^\circ$ . В стадии заполнения вновь увеличивается до  $160^\circ$  (табл. 2, значения кривизны  $\alpha$ ). Длина выметов 7 декабря в первой стадии — 1000 км, далее постепенно уменьшается до 300 км. В стадии заполнения полностью отсутствует (табл. 2, длина выметов  $\ell$ ).

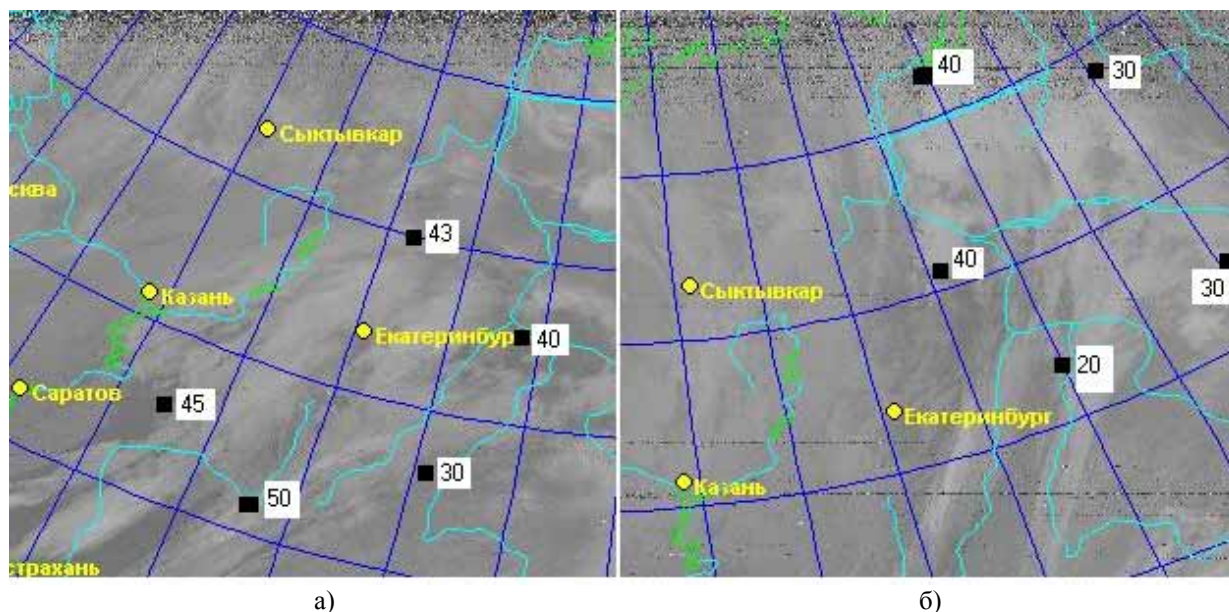


Рис. 9. Скорость перемещения облачных систем в T1, T2, T3, T4, T5:  
а) 7 декабря 2002 г.; б) 9 декабря 2002 г.

*Динамика облачных образований по данным МСЗ.* Анализ изменения скорости циклонических образований по космическим снимкам за 2002–2010 гг. позволил выявить области ускорения и замедления облачных систем в различных стадиях их развития. Максимальное значение скорости наблюдается в первых двух стадиях развития системы в период формирования облачной спирали и в начальной стадии. Эти области захватывают переднюю, центральную и южную часть системы, достигая максимальных значений 50–60 км/ч в точках 1, 2 и 3 (рис. 10).

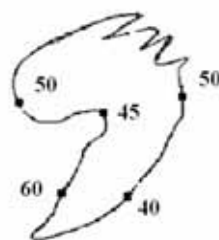


Рис. 10. Скорость перемещения основных участков облачной системы, км/ч

В стадии молодого циклона абсолютные значения скорости становятся меньше на 5–10 км/ч (табл. 3, T1–T5). В стадии развитого циклона во всех районах циклонического вихря скорость в последующие 12 ч уменьшается на 3–6 км/ч. В окклюдированном циклоне скорость всех участков облачной спирали продолжает уменьшаться в среднем на 3–5 км/ч. Наиболее быстро замедляется скорость облачной системы заполняющегося циклона (на 10–15 км/ч). Скорость быстрее уменьшается в передней части облачной системы, чем в тыловой.

Таблица 3

## Скорости перемещения в различных стадиях развития облачной системы, км/ч

Годы	Точки облачной системы	Начальная стадия	Стадия молодого циклона	Развитый	Окклюдированный	Заполняющийся	Средние значения
2000-2004	T1	64	56	50	46	30	50
	T2	56	54	52	43	35	48
	T3	52	50	45	40	35	45
	T4	48	44	38	30	35	37
	T5	67	65	58	43	25	54
2005-2010	T1	65	56	51	42	33	50
	T2	64	55	46	42	38	49
	T3	62	49	44	40	22	44
	T4	50	40	42	32	24	42
	T5	72	68	60	45	26	64

Область ускорения существует только в начальной стадии развития циклонической облачной системы и в молодом циклоне, в остальных же стадиях облачные системы перемещаются с замедлением.

Анализ зависимости облачной системы и её отдельных участков от траектории показал, что самая большая скорость отмечается при западных траекториях циклонов (табл. 4). Максимальное значение скорости (60–65 км/ч) наблюдается в голове облачного вихря и в области наибольшей кривизны облачной спирали — в точках 1 и 3. Большая скорость (55–60 км/ч) наблюдается также вдоль всей облачной спирали с её тыловой стороны. При юго-западных траекториях циклонов «голова» облачного вихря (фронт окклюзии) (45–50 км/ч) и тыловая кромка спирали (40–45 км/ч), где расположен холодный фронт, перемещаются медленнее. При северо-западных траекториях циклонов южная часть облачной спирали движется быстрее центральной. С передней стороны южной части спирали и в области наибольшей кривизны скорость составляет 50–60 км/ч.

Таким образом, скорость перемещения отдельных частей облачной системы и положение области ускорения в облачной системе зависят от траектории перемещения циклона. Если в направлении перемещения циклонической облачной системы имеется северная составляющая (юго-западные циклоны), то с наибольшей скоростью перемещается северная половина облачного вихря, если же имеется южная составляющая (северо-западные циклоны), то центральная и южная части.

Выметы перистообразных облаков, указывая на адвекцию тёплого воздуха в верхней и средней тропосфере и на падение давления у поверхности Земли, являются показателями активности процесса.

Таблица 4

## Значения скорости при различных траекториях циклона, км/ч

Средние значения траектории	Начальная стадия	Стадия молодого циклона	Развитый	Окклюди- рованный	Заполня- ющийся	Средние значения
Северо-запад	55	53	47	43	42	48
Запад	65	62	55	48	34	53
Юго-запад	56	54	52	50	45	51

Выметы перистых облаков имеют наибольшую длину около 1000 км (табл. 5) в начальной стадии формирования циклонической облачной системы. В этой стадии, а также в начале формирования вихревой структуры происходит удлинение выметов перистообразной облачности.

Таблица 5

## Средние значения выметов перистообразных облаков в различных стадиях развития, км

Тип	Точки облачной системы	Начальная стадия	Стадия молодого циклона	Развитый	Окклюди- рованный	Заполня- ющийся	Среднее значение
Северо-запад	T1	1000	800	800	300	0	580
	T2	1100	900	600	400	0	600
	T3	1000	1000	620	240	0	572
	T4	1050	1020	730	220	0	604
	T5	1300	800	520	250	0	574
Запад	T1	800	600	500	300	0	440
	T2	500	500	200	240	0	288
	T3	800	550	540	230	0	424
	T4	960	950	540	300	0	536
	T5	920	650	600	200	0	474
Юго-запад	T1	800	600	500	300	0	440
	T2	1000	600	500	330	0	486
	T3	600	550	350	240	0	348
	T4	880	650	370	260	0	380
	T5	800	750	550	320	0	420

Начиная со стадии молодого циклона, длина выметов уменьшается с 900 км до 500 км в окклюдированном. Уменьшение длины выметов происходит в развитом циклоне. При заполнении циклона резко сокращается длина перистообразных выметов до 300 км и в стадии заполняющегося циклона они полностью отсутствуют (табл. 6).

Таблица 6

Средние значения кривизны  $\alpha$  в различных стадиях развития системы, градусы

Средние значения траектории	Начальная стадия	Стадия молодого циклона	Развитый	Окклюди- рованный	Заполня- ющийся	Средние значения
Северо-запад	125	100	90	70	180	113
Запад	120	105	70	60	170	105
Юго-запад	100	95	83	73	175	106

Скорость облачной системы связана с длиной перистых облаков в различных стадиях развития системы. С увеличением длины перистых облаков скорость системы возрастает, и, наоборот, при сокращении или исчезновении перистообразных выметов облачная система перемещается медленнее.



По мере развития циклонической облачной системы её кривизна изменяется. В начальной стадии развития циклона, когда в изолированной облачной шапке наблюдаются выбросы перистообразной облачности, кривизна облачной шапки составляет  $120^\circ$  (табл. 5). По мере развития циклона формируется прогиб в тылу облачной системы и появляется вихревая структура облачности. В стадии молодого циклона кривизна спирали  $\alpha = 100^\circ$ , в этой стадии сильно искривлена полоса холодного фронта. В стадии развитого циклона кривизна продолжает увеличиваться, а прогиб фронтальной полосы уменьшается.

В окклюдированном циклоне этот процесс продолжается: сильнее закручивается голова облачного вихря ( $\alpha = 55^\circ$ ) и выпрямляется южная часть полосы фронта окклюзии, но все изменения кривизны происходят очень медленно. В заполняющемся циклоне вихревая структура часто исчезает совсем, а фронтальная полоса становится квазипрямолинейной.

В циклонах, перемещающихся с запада и юго-запада, сильно закручена северная часть спирали ( $\alpha = 90^\circ$ ) и более слабо ( $\alpha = 70^\circ$ ) — южная часть. По мере развития циклонов северная часть облачной спирали закручивается, а южная часть постепенно распрямляется. Скорость облачной системы тесно связана с кривизной спирали холодного фронта и фронта окклюзии. При увеличении кривизны спирали скорость увеличивается. Эта связь характерна для различных стадий облачной системы и при различных траекториях перемещения. Со скоростью перемещения облачной системы тесно связана кривизна спирали, её скорость возрастает, а с увеличением кривизны, наоборот, уменьшается.

*Перемещение циклонических образований по космическим снимкам.* Прогноз местоположения облачного вихря проводят по последовательным снимкам, на которых выделяют облачную систему и интерполируют положение её основных участков: головы вихря (рис. 11, точка 1), области наибольшей кривизны облачной спирали (рис. 11, точка 3), передней (рис. 11, точка 2,4) и тыловой (рис. 11, точка 5) кромок.

Схема прогноза перемещения облачной системы в стадии молодого циклона представлена на рис. 11, окклюдированного — на рис. 12.

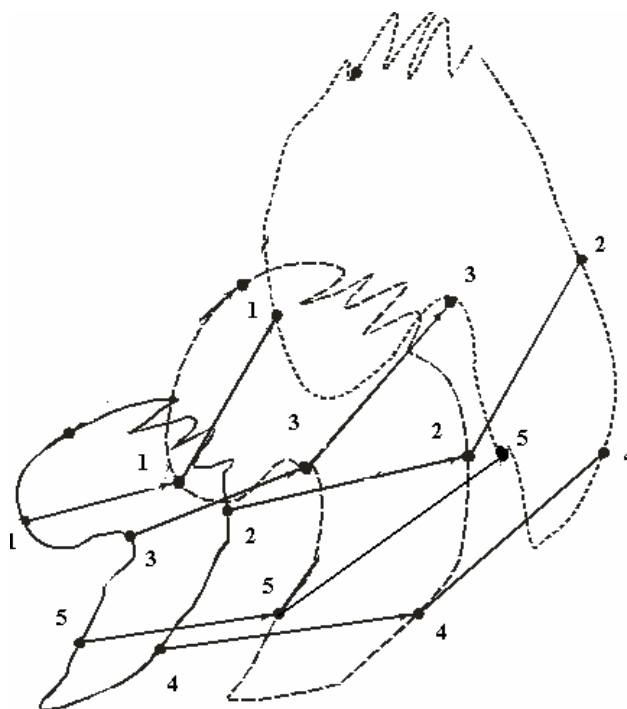


Рис. 11. Схема в стадии молодого циклона:  
1 – точка T1, 2 – точка T2, 3 – точка T3, 4 – точка T4, 5 – точка T5

В исследовании угол  $\alpha$  использовался для определения кривизны облачной системы. Кривизна спирали изменяется от  $130^\circ$  в начальной стадии развития, до  $60^\circ$  в окклюдированном и до  $180^\circ$  в заполняющемся.

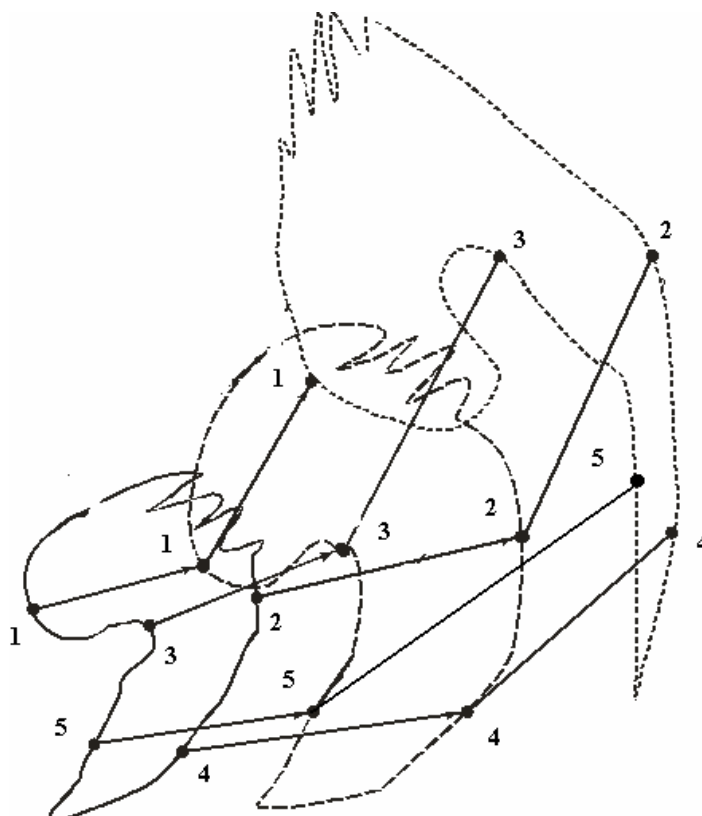


Рис. 12. Схема окклюдированного циклона

Траектория перемещения тесно связана с углом разворота циклона. При движении циклона с запада угол разворота  $\varphi$  на протяжении всей жизни составляет  $120^\circ$  (табл. 7). В начальной стадии развития циклон поворачивает на  $10-15^\circ$ , в момент формирования облачной спирали — на  $20^\circ$ , в развитом и окклюдированном — на  $40^\circ$ . В итоге в заполняющемся циклоне угол разворота сводится к нулю. При северо-западной траектории циклон разворачивается, угол разворота составляет  $100^\circ$ . В начальной стадии поворот осуществляется на  $20^\circ$ , в стадии молодого циклона — на  $30^\circ$ , в развитом — на  $15^\circ$ , в окклюдированном — на  $15^\circ$ , в стадии заполнения вихревая структура исчезает.

При юго-западных траекториях угол разворота составляет  $80^\circ$ . В начальной стадии — на  $15^\circ$ , в момент формирования облачной спирали — на  $15^\circ$ , в окклюдированном —  $25^\circ$ .

Таблица 7

Зависимость угла разворота  $\varphi$  от траектории перемещения циклона

Угол	Северо-запад	Запад	Юго-запад
Угол разворота ( $\varphi$ )	100	120	80

При западных траекториях скорость смещения основных участков облачной системы в последующие 12 ч в первой и во второй стадиях развития принимается равной скорости в предыдущие 12 ч, в третьей стадии скорость предыдущего смещения умножается на коэффициент 0.7, а в четвертой и пятой стадиях — на коэффициент 0.6. При северо-западных скорость смещения основных участков облачной системы в последующие 12 ч в первой и во второй стадиях принимается равной скорости в последующие 12 ч, в третьей скорость предыдущего смещения умножается на 0.7, в четвертой и пятой стадиях — на 0.5. При юго-западных скорость смещения в третьей стадии умножается на 0.8, в четвертой и пятой стадиях — на 0.6 (табл. 8).

Таблица 8

**Поправочные коэффициенты перемещения циклонических образований  
в зависимости от стадии развития, траектории**

Траектории	№ точки	Начальная стадия	Стадия молодого циклона	Развитый	Окклюди- рованный	Заполня- ющийся
Северо-запад	T <sub>1</sub>	1.0	1.0	0.7	0.5	0.5
	T <sub>2</sub>	1.0	1.0	0.7	0.45	0.5
	T <sub>3</sub>	1.0	1.0	0.8	0.52	0.5
	T <sub>4</sub>	1.0	1.0	0.7	0.52	0.5
	T <sub>5</sub>	1.0	1.0	0.7	0.53	0.65
Запад	T <sub>1</sub>	1.0	1.0	0.7	0.6	0.6
	T <sub>2</sub>	1.0	1.0	0.7	0.5	0.6
	T <sub>3</sub>	1.0	1.0	0.8	0.5	0.5
	T <sub>4</sub>	1.0	1.0	0.75	0.6	0.5
	T <sub>5</sub>	1.0	1.0	0.7	0.6	0.63
Юго-запад	T <sub>1</sub>	1.0	1.0	0.8	0.6	0.6
	T <sub>2</sub>	1.0	1.0	0.8	0.55	0.5
	T <sub>3</sub>	1.0	1.0	0.82	0.55	0.5
	T <sub>4</sub>	1.0	1.0	0.85	0.6	0.5
	T <sub>5</sub>	1.0	1.0	0.7	0.6	0.5

В исследовании установили поправочные коэффициенты, углы разворота  $\varphi$ , кривизну облачной спирали  $\alpha$  и рассчитали схемы экстраполяции для разных стадий.

### Выводы

Космические снимки играют важную роль как в анализе синоптического положения, прогнозе облачности и осадков, так и в прогнозировании динамики облачных образований. На основе проделанной работы сделаны следующие выводы:

1. Области максимальных скоростей наблюдаются в первых двух стадиях развития системы. В период формирования облачной спирали (в T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>), достигая максимальных значений 50–70 км/ч. Замедление скорости облачной системы на 10–15 км/ч происходит в заполняющемся циклоне.

2. Анализ зависимости скорости от траектории движения циклона показал, что максимумы отмечаются при западных траекториях циклона, 60–65 км/ч наблюдается в голове облачного вихря и в области наибольшей кривизны облачной спирали — в T<sub>1</sub> и T<sub>3</sub>. Скорость 55–60 км/ч наблюдается вдоль всей облачной спирали с её тыловой стороны, в T<sub>5</sub>. При юго-западных траекториях циклонов голова облачного вихря перемещается медленнее — 45–50 км/ч в T<sub>1</sub> и тыловая кромка спирали 40–45 км/ч в T<sub>5</sub>, где расположен холодный фронт. При северо-западных траекториях циклонов южная часть облачной спирали движется быстрее центральной.

3. Выметы перистых облаков имеют наибольшую длину 1100 км в начальной стадии формирования циклонической облачной системы. В этой стадии, а также в начале формирования вихревой структуры происходит удлинение выметов перистообразной облачности. Начиная со стадии молодого циклона длина выметов уменьшается с 900 км до 500 км в окклюдированном. При окклюдировании циклона резко сокращается длина перистообразных выметов 300 км, и в стадии заполняющегося циклона они полностью отсутствуют.

4. По мере развития циклонической облачной системы её кривизна изменяется. В начальной стадии развития циклона, когда в изолированной облачной шапке наблюдаются выбросы перистообразной облачности, кривизна составляет в среднем 120°. По мере развития циклона формируется прогиб в тылу облачной системы и появляется вихревая структура облачности. В стадии молодого циклона кривизна спирали  $\alpha = 100^\circ$ , в этой стадии наиболее сильно искривлена полоса холодного фронта. В стадии развитого циклона кривизна продолжает увеличиваться, а прогиб фронтальной полосы уменьшается. В окклюдированном циклоне продолжает сильнее закручиваться голова облачного вихря ( $\alpha = 55^\circ$ ) и выпрямляется южная часть полосы фронта окклюзии. В заполняющемся циклоне вихревая структура часто исчезает совсем, а фронтальная полоса становится квазипрямолинейной.



5. Рассчитаны поправочные коэффициенты и угол разворота  $\varphi$  при различных траекториях смещения циклонических образований по космическим снимкам. При движении циклона с запада угол разворота составляет  $\varphi = 120^\circ$ . При северо-западной траектории составляет  $\varphi = 100^\circ$ . При юго-западных траекториях угол разворота составляет  $\varphi = 80^\circ$ .

6. Скорость смещения основных участков в первой и во второй стадиях принимается равной скорости в предыдущие 12 ч, в третьей скорость предыдущего смещения умножается на 0.7, в четвертой и пятой стадиях — на 0.5.

7. Рассчитаны схемы для разных стадий развития.

8. В исследовании выявлены динамические характеристики облачных систем, которые могут использоваться при прогнозе облачности и осадков по космическим снимкам.

### Библиографический список

1. Волкова Е.В., Успенский А.Б. Определение количества облачности по изображениям облачного покрова в видимом и инфракрасном диапазонах спектра с полярно-орбитальных ИСЗ // Метеорология и гидрология. 1998. № 9. С 15-21.

2. Справочник потребителя спутниковой информации / под ред. В.В. Асмуса, О.Е. Милехина. СПб.: Гидрометеоиздат, 2005. 114 с.

3. Толмачева Н.И. Космические методы исследований в метеорологии. Интерпретация спутниковых изображений: учеб. пособие. Пермь, 2012. 208 с.

4. Виртуальная лаборатория дистанционного обучения спутниковой гидрометеорологии. URL: <http://meteovlab.meteorf.ru/> (дата обращения 20.05.2013).

**N.I. Tolmacheva, A.D. Kryuchkov**

### RESEARCH OF DYNAMICS OF CLOUD FORMATIONS BY SPACE INFORMATION

Investigations of the spatial and temporal distribution of cloud structures using the information of Earth's meteorological satellites (EMS) for a several years, the analysis of speed, curvature, and the trajectories of cyclonic systems, the dynamics of cloud formations according to the EMS, studied the movement of cyclonic by satellite images, set the correction factors angles of rotation, the curvature of the cloud spiral and extrapolation schemes are designed for different stages.

**Key words:** weather satellite; satellite image; cloud system; the dynamics of cloud formations.

**Natalya I. Tolmacheva**, Candidate of Geographical Science, Associate Professor of Department of Meteorology and the Protection of Atmosphere, Perm State National Research University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; [nitolmacheva@yandex.ru](mailto:nitolmacheva@yandex.ru)

**Andrey D. Kruchkov**, Ingeneer of Department of Meteorology and the Protection of Atmosphere, Perm State National Research University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; [meteo@psu.ru](mailto:meteo@psu.ru)