

УДК 551.557.2

Прогноз атмосферных осадков по информации метеорологических спутников

Н.И. Толмачева, Л.Н. Ермакова

Пермский государственный университет

Анализ и прогноз осадков – один из основных этапов прогноза погоды. Прогноз осадков тесно связан с прогнозом облачности. Изображение облачности, получаемое со спутников, отличается от наземных наблюдений тем, что дает целостную картину распределения облачности над обширной территорией, соизмеримой с основными синоптическими объектами.

Космические снимки позволяют выявить по характерным структурным особенностям облачности большое количество атмосферных возмущений различного масштаба и проследить эволюцию зон осадков в различных стадиях циклогенеза.

Цель исследования – анализ областей с осадками и прогноз количества и вероятности их выпадения по космическим снимкам.

При достижении поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ зон осадков зимнего и летнего периодов по снимкам облачного покрова;
- рассмотрение положения зон осадков по отношению к оси струйного течения;
- составление прогноза атмосферных осадков по космическим снимкам.

Для определения зон осадков и прогноза их количества по территории Урала использовались спутниковые снимки с ИСЗ серии NOAA за 2000–2005 гг. Всего дешифровано 19753 снимка и составлена выборка из 848 серий облачных вихрей. Подбирались снимки за сроки 00, 12 и 24 ч МСВ, а также приземные карты и карты барической топографии 700, 500, 300 и 200 гПа. На космических снимках выделялись облачные системы, имеющие циклогенетический характер, а в них обнаруживались зоны осадков. Облачные вихри прослеживались в течение 2–5 сут с момента их возникновения до заполнения. По картам барической топографии в районе облачного вихря выделялись оси струйных течений. По полученным данным строились схематические карты эволюции облачных вихрей, зон значительных осадков и струй на поверхностях 700, 500, 300 и 200 гПа. Схематические карты создавались на ПК по слоям: сетка координат, циклон, зона осадков и ось струйного течения. Производилась оцифровка географической сетки, облачного образования, области осадков по космическому снимку, который в данном случае выступал как основа для построения карты. Далее наносились оси струйных течений, выделенные на

поверхностях 700, 500, 300 и 200 гПа. Слои накладывались друг на друга, и создавалась картина эволюции облачных вихрей, зон осадков и струй.

В работе проанализировано развитие облачных вихрей по снимкам МСЗ, а также изменения зоны значительных осадков в вихре и положения осей струйных течений на различных уровнях. Рассмотрим облачные вихри, которые проходили по территории Урала с 21 по 24 октября 2004 г. В этой серии наблюдалось прохождение двух разных облачных вихрей (рис. 1).

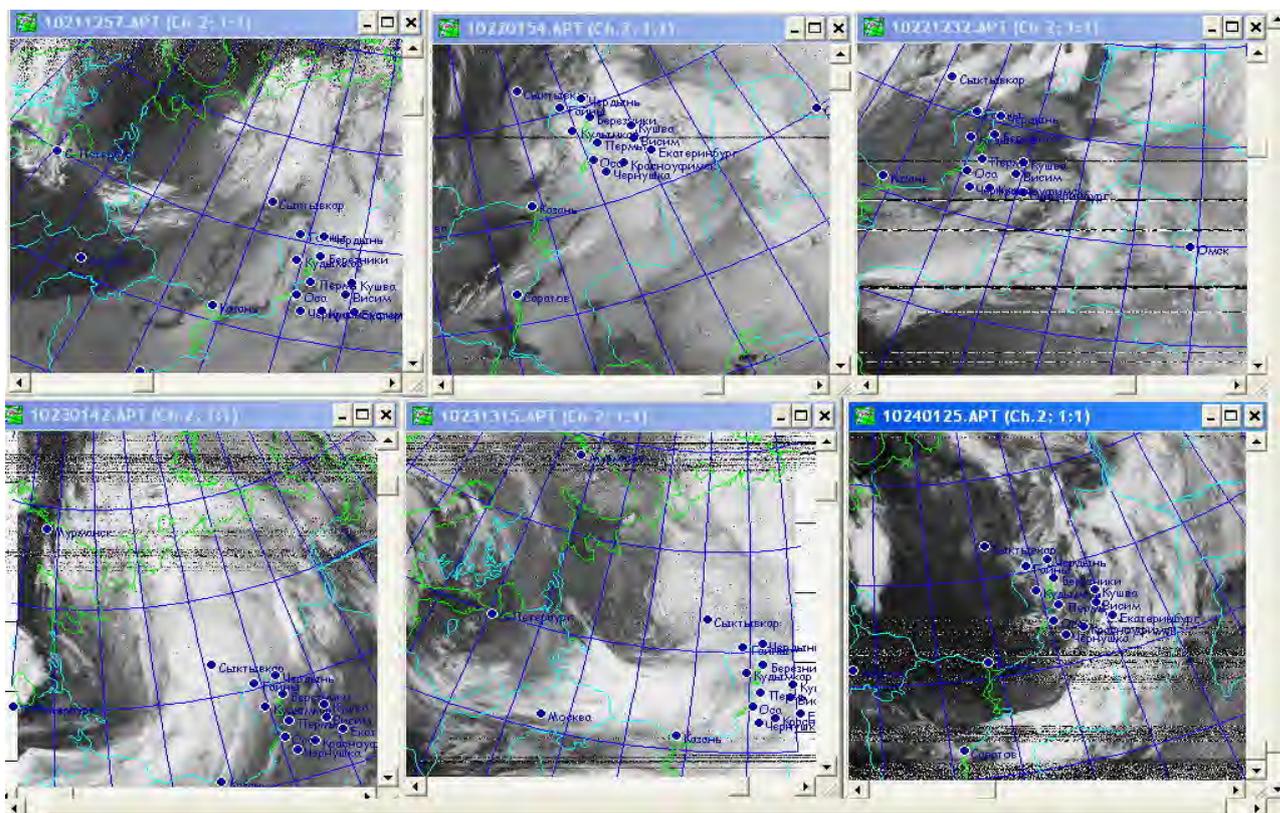


Рис. 1. Космические снимки облачности NOAA–14 за 21–24 октября 2004 г.

Первый циклон прослеживался на снимках облачности с 21 октября (в 12 ч 57 мин) по 22 октября (в 01 ч 54 мин и 12 ч 32 мин) и перемещался с районов Скандинавии на территорию Урала по северо-западной траектории. Данный вихрь находился в максимальной стадии развития, на что указывает наличие трёх спиралей холодного, тёплого фронтов и фронта окклюзии, сходящихся в одной точке. По мере продвижения на юго-восток циклон углублялся и к 22 октября достиг стадии заполнения. Вторым облачным вихрем данной серии наблюдался на космических снимках с 23 октября в сроки 01 ч 42 мин и 13 ч 15 мин по 24 октября в 01 ч 25 мин (рис. 1). Это облачное образование двигалось с запада на восток вдоль 60° с.ш. Данный вихрь тоже находился в максимальной стадии развития, по мере перемещения проходил стадию окклюдированного циклона (23 октября 13 ч 15 мин) и при переваливании через Уральские горы, теряя свою структуру, переходил в стадию заполняющегося циклона.

По данным спутниковым снимкам и картам барической топографии строились схематические карты эволюции облачных вихрей, зон осадков и струйных течений. Зона осадков в первом циклоне располагалась в средней тыловой части облачной спирали в день 21 октября, по мере перемещения вихря в ночь с 21 на 22 октября она увеличивалась в размерах, доходила до передней стороны средней части вихря и занимала «голову» вихря (рис. 2). Далее произошло резкое сокращение зоны осадков, связанное с заполнением данного циклона, и она заняла тыловую часть вихря.

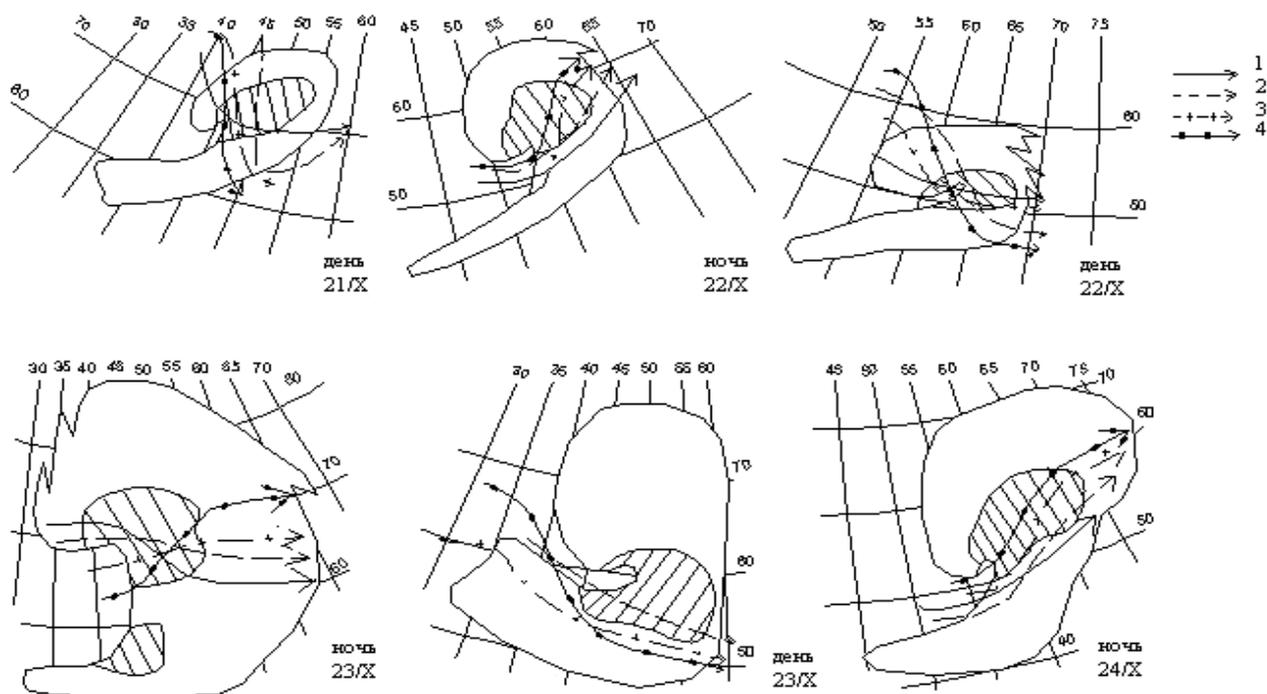


Рис. 2. Эволюция облачного вихря, зоны значительных осадков и осей струйных течений на поверхностях 700, 500, 300 и 200 гПа за 21–24 октября 2000 г. (1 – 700 гПа, 2 – 500 гПа, 3 – 300 гПа, 4 – 200 гПа; заштрихованная область – зона осадков)

Во втором циклоне, проходящем по территории Урала с 23 по 24 октября, зона осадков располагалась преимущественно в средней тыловой части облачной спирали, но по мере эволюции вихря она смещалась и достигала центральной части передней кромки облачного массива. В течение всего времени эволюции вихря зона осадков находилась в той его части, где ось струйного течения располагалась практически на всех уровнях и меняла свое местоположение и конфигурацию вслед за изменением положения струи. Например, 21 октября зона осадков располагалась в средней тыловой части вихря, оси струйных течений вытягивались преимущественно в восточном направлении. Далее в ночь с 21 на 22 октября наблюдался поворот осей струйных течений на северо-восток, и зона осадков вытягивалась вслед за ними в этом же направлении. Днем 22 октября произошёл поворот

облачного вихря на восток, струи начали перестраиваться в этом же направлении, и положение зоны осадков стало широтным (рис. 2).

Рассмотрим изменение положения зоны осадков вслед за струями в циклоне, которое наблюдалось по снимкам с 23 по 24 октября (рис. 1). В данном циклоне зона осадков занимала тыловую часть облачной спирали, оси струйных течений вытянуты в широтном направлении вдоль 65° с.ш. Днем 23 октября циклон смещался на юго-восток, струи приобретали это же направление начиная с поверхности АТ₅₀₀, и зона осадков вытягивалась вслед за ними. Далее ночью 24 октября струи начиная с поверхности АТ₇₀₀ повернули на северо-восток, и зона осадков вытянулась вслед за ними (рис. 3).

В результате составления схематических карт эволюции облачного вихря, зоны осадков и осей струйных течений на уровнях 700, 500, 300 и 200 гПа и их анализа были получены данные о тесной связи зон осадков со струйными течениями на различных уровнях (табл. 1).

Таблица 1

Положение зоны осадков по отношению к оси струйного течения на АТ₇₀₀, АТ₅₀₀, АТ₃₀₀ и АТ₂₀₀ (цифры в скобках – повторяемость, %)

Положение зоны осадков	700 гПа	500 гПа	300 гПа	200 гПа
Слева	231(58)	296(75)	299(76)	252(64)
Центр	54(13)	24(6)	53(13)	36(9)
Справа	12(4)	24(6)	11(3)	30(7)
Струя отсутствовала	99(25)	52(13)	33(8)	78(20)
Общее число случаев	396(100)	396(100)	396(100)	396(100)

Таблица 2

Число случаев положения зоны осадков по отношению к оси струйного течения при различной кривизне потока на АТ₇₀₀, АТ₅₀₀, АТ₃₀₀ и АТ₂₀₀

Положение зоны осадков	Кривизна оси струйного течения	700 гПа	500 гПа	300 гПа	200 гПа
Слева	Циклоническая	104	137	141	116
	Квазипрямолинейная	98	133	136	107
	Антициклоническая	28	26	22	29
Центр	Циклоническая	31	14	29	18
	Квазипрямолинейная	13	7	15	10

	Антициклональная	10	3	9	8
Справа	Циклоническая	3	9	4	8
	Квазипрямолинейная	8	12	6	19
	Антициклональная	2	3	1	3
Струя отсутствовала		99	52	33	78
Общее число случаев		396	396	396	396

В большинстве случаев зоны осадков связаны с осью струйного течения на всех изобарических поверхностях. В 25% случаев струя отсутствовала на поверхности 700 гПа, в 13% случаев – на 500 гПа, в 8 % случаев – на 300 гПа и в 20 % случаев – на 200 гПа. Отсутствия струйных течений на всех уровнях одновременно не наблюдалось. Таким образом, в подавляющем большинстве случаев зона осадков сопровождалась струей, которая захватывала всю тропосферу. Зоны осадков преимущественно находились слева от оси струйного течения, а справа их было немного.

В данной работе по схематическим картам была определена повторяемость положения зоны осадков по отношению к оси струйного течения различной кривизны (табл. 2).

Таблица 3

Направление движения зон осадков относительно оси струйного течения на АТ700, АТ500, АТ300 и АТ200 (цифры в скобках – повторяемость, %)

Смещение зоны осадков	700 гПа	500 гПа	300 гПа	200 гПа
Вдоль оси струйного течения	285(72)	309(78)	301(76)	281(71)
В иную сторону от оси струйного течения	111(28)	87(22)	95(24)	115(29)

В тех случаях, когда зона осадков лежала слева от оси струйного течения, последняя, как правило, имела циклоническую кривизну или была квазипрямолинейна. При центральном положении зоны осадков ось струйного течения тоже имела циклоническую кривизну или была квазипрямолинейна. Если зона осадков лежала справа от оси струи, то струя чаще была квазипрямолинейной и реже имела циклоническую или антициклональную кривизну. С осями струйных течений, имеющими антициклоническую кривизну, зоны осадков бывают связаны сравнительно редко. В работе получена повторяемость направления движения зон осадков (табл. 3). Как видно из табл. 4, примерно в 70% случаев зоны осадков перемещались в направлении оси струйного течения, причем чаще, в 78% случаев, они смещались вдоль оси струи на поверхности 500 гПа.

В исследовании составлен прогноз осадков на территории Пермского края и Свердловской области по космическим снимкам. Данный метод позволяет прогнозировать количество осадков и вероятность их выпадения. По эволюции облачных вихрей, зон осадков и струй на различных уровнях

была выявлена зависимость изменения конфигурации и положения областей с осадками от изменения направления и кривизны осей струйных течений во всей тропосфере. В прогнозе осадков по оперативному методу перемещение вихрей производится путем формальной экстраполяции, что не позволяет учесть выявленную связь изменения зоны осадков в зависимости от изменения струи. Поэтому в данном методе прогноза перемещение облачных вихрей производилось вдоль средней осевой линии струйного течения на AT_{700} , AT_{500} , AT_{300} и AT_{200} .

Для проведения расчетов подбирались снимки за три последовательных срока наблюдений и выделялись облачные образования (вихри, циклоны). Далее определялись направление смещения облачного образования и стадия развития циклона. Затем циклогенетические облачные системы разбивались на пиксели со стороной от 25 до 100 км. В нем определялись: яркость изображения, форма облаков, количество облаков и район облачной системы, в котором располагается тот или иной квадрат. После этого рассчитывалось среднее количество осадков в пикселе, вероятность факта осадков, вероятность их количества более 3 мм и вероятность погоды без осадков. Далее расчетные данные сравнивались с фактическими, рассчитывалась ошибка и определялась оправдываемость прогноза количества осадков по фактической сумме.

Приведем прогноз осадков по космическим снимкам оперативным методом и по уточненной методике на 23 октября 2004 г. (рис. 3).

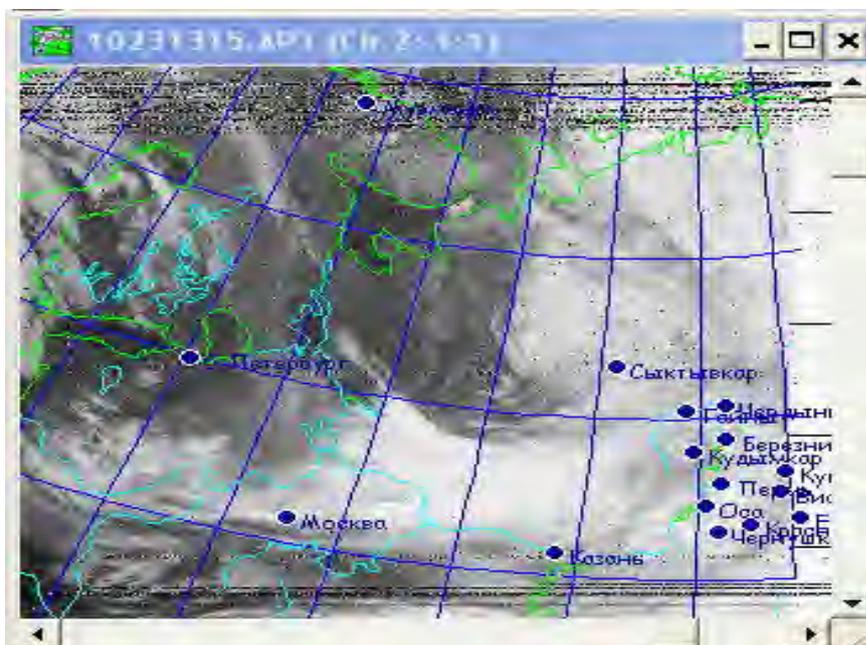


Рис. 3. Космический снимок облачности NOAA-14 за 23 октября 2004 г.

Прогностическое поле облачности было разделено на квадраты со стороной 25 км, получилось 32 пикселя, в каждом определены ранее перечисленные параметры, которые и занесены в таблицы. Далее найдено среднее количество осадков и вероятность их выпадения для каждого

пикселя. Затем прогностическое поле облачности перемещалось в район прогноза, как в основном методе, и вдоль средней осевой линии струйного течения по уточненной методике. Полученная информация по станциям Пермского края и Свердловской области представлена в табл. 4. Наибольшее количество осадков прогнозировалось и фактически наблюдалось на севере Пермского края, а именно на станциях Кудымкар, Коса, Чермоз (0,8–0,9 мм по уточненному методу и 1,3 мм по основному), и на станциях Висим, Бисерть Свердловской области (1,0–1,1 мм по уточненному методу и 1,1–1,4 мм по основному).

По полученным результатам (табл. 4) видно, что прогноз количества осадков по основному методу дает ошибку, которая равна в среднем 0,4 мм, оправдываемость прогноза составила в среднем 61%. По уточненному методу ошибка прогноза составила в среднем 0,1 мм, оправдываемость – 83%. Как видим ошибка прогноза по уточненному способу меньше, чем по основному методу, а оправдываемость прогноза количества осадков на 22% выше.

Таблица 4

Итоговые данные прогноза осадков по Уралу на 23 октября 2000 г.

Станция	Кол-во осадков (осн. метод)	Кол-во осадков (уточн. метод)	Факт. кол-во осадков	Ошибка прогноза		Оправдываемость прогноза кол-ва осадков, %	
				осн. метод	уточн. метод	осн. метод	уточн. метод
Гайны	1,3	0,6	0,4	0,9	0,2	31	67
Коса	1,3	0,8	0,8	0,5	0,0	62	100
Березники	1,3	0,6	0,6	0,7	0,0	46	100
Кудымкар	1,3	0,9	0,8	0,5	0,1	62	89
Чермоз	1,3	0,8	0,6	0,7	0,2	46	75
Добрянка	1,0	0,6	0,4	0,6	0,2	40	67
Пермь	1,1	0,7	0,5	0,6	0,2	45	71
Оса	1,1	0,8	0,7	0,4	0,1	64	88
Чернушка	1,1	0,9	0,7	0,4	0,2	64	78
Серов	1,1	0,8	0,7	0,4	0,1	64	88
Кушва	1,1	0,9	0,9	0,2	0,0	82	100
Н. Тагил	1,1	0,6	0,4	0,7	0,2	36	67
Висим	1,1	1,0	1,0	0,1	0,0	91	100
Екатеринбург	0,5	0,6	0,4	0,1	0,2	80	67
Красноуфим.	0,5	0,6	0,4	0,1	0,2	80	67
Бисерть	1,4	1,1	1,1	0,3	0	79	100
Средн. знач.				0,4	0,1	61	83

На основе проведенного исследования сделаны выводы:

1. На территории Урала преобладают циклоны, движущиеся по северо-западной, западной и южной траекториям. Наиболее часто территория Урала находится под влиянием циклонов, достигших максимальной стадии развития, в результате деятельности которых создаются сложные погодные условия и выпадает значительное количество осадков.

2. Зоны значительных осадков, возникнув в самом начале формирования циклона, сохраняются в течение всего времени его существования. Зоны значительных осадков наблюдаются в тыловой стороне облачной спирали, в областях с наибольшей яркостью изображения, с преобладанием зернистой и матовой текстур, характерных для кучевообразной и слоистообразной облачности.

3. Зоны значительных осадков тесно связаны со струйными течениями во всей тропосфере. В большинстве случаев (68%) они располагались слева от струи сильных ветров, при этом оси струйных течений имели квазипрямолинейную или циклоническую кривизну.

4. Зона значительных осадков в направлении струйного потока перемещалась в 75% случаев.

5. Струйные течения в большинстве случаев (примерно 76%) отсутствовали в циклонах, достигших стадии заполнения, чаще это наблюдалось на поверхности 700 гПа. Отсутствия струйных течений на всех рассматриваемых уровнях одновременно не наблюдалось.

6. При прогнозе осадков по станциям Пермского края и Свердловской области основным методом ошибка составила около 0,4 мм, оправдываемость 60%, при прогнозе с использованием уточненного на перемещение циклонических образований метода ошибка составила 0,1 мм, а оправдываемость в среднем 85%.

При прогнозировании количества осадков по космическим снимкам рекомендуется использовать предложенный в исследовании способ перемещения облачных вихрей, а именно вдоль средней осевой линии струйных течений на поверхностях 700, 500, 300 и 200 гПа, поскольку он позволяет учесть тесную связь зон осадков и струйных течений во всей тропосфере.