

МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.50

Е.В. Пищальникова

СВЯЗЬ МЕЖДУ РАДИАЦИОННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ НА ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЕ
ОБЛАЧНОСТИ И КОЛИЧЕСТВОМ ОСАДКОВ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Рассматривается связь между радиационной температурой на верхней границе облачности, полученной по данным радиометра MODIS, установленного на спутниках Terra и Aqua, и выпавшим из этой облачности количеством осадков в Пермском крае за холодный период 2013 г. Радиационная температура облачности может быть использована в качестве дополнительной характеристики при обнаружении зон умеренных и сильных осадков в холодный период года в Пермском крае.

Ключевые слова: радиационная температура облачности, радиометр MODIS, количество осадков, Пермский край, холодный период.

Для качественного прогноза осадков необходимо иметь ряд характеристик облака, таких как размеры облачной полосы, агрегатное состояние, водность, которые могут быть получены путем аэрологического и радиозондирования атмосферы [5; 6]. Однако действующая сеть такого зондирования редкая, поэтому расчёт этих характеристик затруднен либо невозможен. В связи с этим необходимо осваивать другие доступные характеристики путём установления эмпирических связей между ними и процессами осадкообразования. Наиболее важными из этих характеристик являются вертикальная протяжённость облака и температура на его верхней границе [2; 3].

В холодный период года осадкообразующими облаками в основном являются слоистые, слоисто-кучевые и слоисто-дождевые облака нижнего яруса и реже — кучево-дождевые. Из водяных капельных облаков выпадает небольшое количество осадков. Для формирования значительных осадков должны присутствовать кристаллическая фаза и переохлаждённые капли [4; 7; 13]. Отсюда следует предположение, что чем ниже температура верхней границы облака, тем больше осадков из облака может выпасть [12].

В работах [9; 11] изложена методика прогноза осадков в холодный период года с апробацией в разных регионах России. Данная методика основана на эмпирически установленной связи между радиационной температурой верхней границы облачности и количеством выпадающих из неё осадков. В прогнозе общего назначения непосредственно количество осадков не указывается, а используются термины, связанные с их характеристикой (без осадков, небольшие, умеренные, сильные и очень сильные осадки) [10]. Тогда, согласно установленной зависимости небольшие (0–1 мм/12 ч) осадки отмечаются при радиационной температуре облачности от –13 до –38 °С, умеренные (2–5 мм/12 ч) — от –38 до –58 °С, сильные (6–9 мм/12 ч) — от –58 до –63 °С. Для градации очень сильных (20 мм и более за 12 ч) осадков (критерий опасного природного явления (ОЯ)) связь не установлена.

Температура верхней границы облаков и их вертикальная протяжённость могут быть определены по снимкам с метеорологических спутников. Наиболее доступными из них являются данные радиометра MODIS, установленного на спутниках Terra и Aqua. Преимуществами снимков Terra/Aqua MODIS являются сравнительно высокое пространственное разрешение (1 км в тепловом канале) и узкие спектральные зоны съёмки. Это позволяет определять температуру верхней границы облаков с более высокой точностью, чем по данным NOAA/AVHRR [8]. В качестве недостатка данных MODIS можно отметить сравнительно низкую повторяемость съёмки (для территории Пермского края она составляет 5–7 раз в сутки).

Цель данного исследования — установление связи между радиационной температурой на верхней границе облачности и количеством выпавших из неё осадков на территории Пермского края.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

© Пищальникова Е.В., 2015

Пищальникова Евгения Владимировна, аспирант кафедры метеорологии и охраны атмосферы географического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. evapорова@rambler.ru

1. Выбрать дни за холодный период 2013 г., когда на исследуемой территории отмечались осадки разной интенсивности.

2. Получить значения радиационной температуры верхней границы облачности по данным радиометра MODIS полярно-орбитальных спутников TERRA и AQUA за выбранные дни. Расчет температуры верхней границы облачности проводился в программе Scanex Image Processor на основе теплового канала снимка (диапазон длин волн 10,78–11,28 мкм).

3. Сопоставить количество полусуточных выпавших осадков с радиационной температурой облачности, используя методы математической статистики [1].

4. Построить графики зависимости количества осадков от радиационной температуры.

Для исследования было использовано 963 случая, отобранных по данным 25 метеорологических станций Пермского края. Небольшие осадки со средней интенсивностью 0,5 мм/12 ч составили 49,8 % случаев, умеренные осадки со средней интенсивностью 3,1 мм /12 ч — 36,9 %, сильные осадки со средней интенсивностью 8,6 мм/12 ч — 13,1 %, очень сильные осадки со средней интенсивностью 24,8 мм/12 ч — 0,2 %.

В результате проведенного анализа было установлено, что выпадение осадков происходит в широком диапазоне значений радиационной температуры облачности. При этом одному и тому же значению температуры облачности может соответствовать выпадение осадков разной интенсивности, как небольших, так и сильных. Такое разнообразие осложняет процесс сопоставления. Однако 61 % случаев выпадения осадков приходится на вторую и третью градации значений радиационной температуры, т.е. от –11,6 до –27,3 °С. Необходимо отметить, что только в этих градациях зафиксированы случаи опасного снегопада, изучение которых представляет особый интерес. Так, в марте опасный снегопад с интенсивностью 26,0 мм/12 ч отмечен при преобладающей радиационной температуре облачности –23,6 °С, в октябре с интенсивностью 23,6 мм/12 ч — при –16,5 °С.

Анализ распределения осадков по интенсивности (небольшие, умеренные, сильные и очень сильные) позволяет выявить соответствующие им градации преобладающей радиационной температуры облачности (табл.1):

- небольшие осадки в большинстве случаев выпадают при значениях радиационной температуры, соответствующих 1, 2, 3 и 8-й градациям;
- умеренные — 7-й градации;
- сильные — 6-й градации;
- очень сильные — 2 и 3-й градациям.

Таблица 1

Распределение количества выпавших осадков в зависимости от радиационной температуры на верхней границе облачности в Пермском крае за холодный период 2013 г.

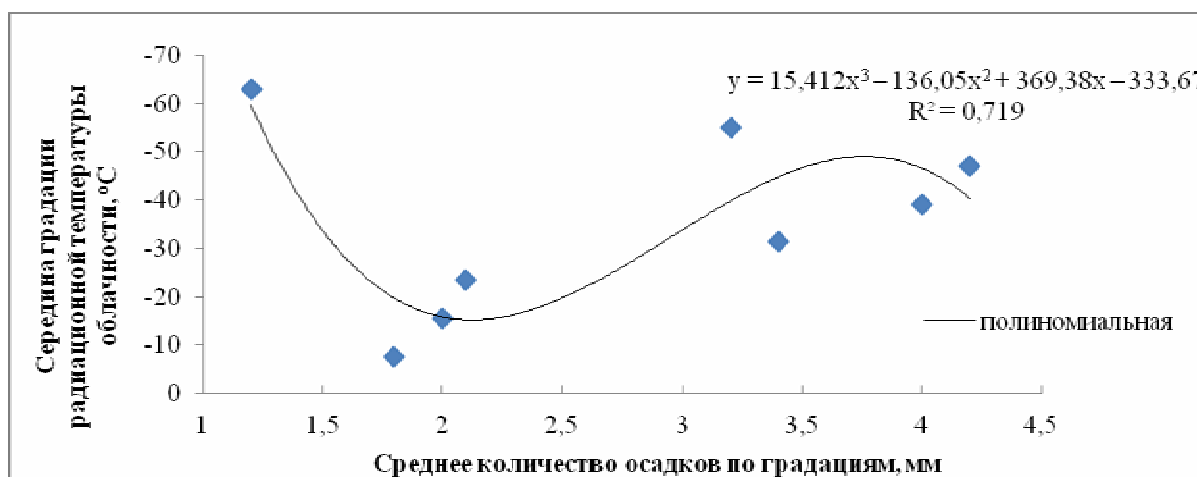
№ градации	Градация преобладающей радиационной температуры облачности, °С	Середина градации, °С	Относительная частота	Интервал количества выпадающих осадков, мм	Среднее количество осадков, мм	% слабых снегопадов	% умеренных снегопадов	% сильных снегопадов	% очень сильных снегопадов
1	–3,7...–11,5	–7,6	3,8	0–10	1,8	66,7	22,2	11,1	–
2	–11,6...–19,4	–15,5	28,4	0–24	2,0	57,5	33,5	8,6	0,4
3	–19,5...–27,3	–23,4	32,6	0–26	2,1	58,2	31,0	10,5	0,3
4	–27,4...–35,2	–31,3	18,8	0–16	3,4	33,0	49,4	17,6	–
5	–35,3...–43,1	–39,2	8,1	0–17	4,0	27,6	48,7	23,7	–
6	–43,2...–51,0	–47,1	3,5	0–16	4,2	39,4	27,3	33,3	–
7	–51,1...–58,9	–55,0	3,1	0–11	3,2	31,0	58,6	10,3	–
8	–59,0...–66,8	–62,9	1,3	0–3	1,2	75,0	25,0	–	–

Примечание. Общее число случаев — 936; число случаев небольших осадков — 467; число случаев умеренных осадков — 346; число случаев сильных осадков — 123; число случаев очень сильных осадков — 2; значение коэффициента корреляции — 0,67.

Тот факт, что большинство случаев умеренных (58,6 %) и сильных (33,3 %) осадков в холодный период года имеют по одной градации радиационной температуры облачности, отличных друг от друга, позволяет применить их в качестве дополнительной характеристики при обнаружении зон значительных осадков в Пермском крае.

Редко осадки выпадают из облачности с температурой на верхней границе ниже $-59,0^{\circ}\text{C}$, при этом их интенсивность не превышает 3 мм/12 ч, а подавляющее большинство случаев (75 %) имеет интенсивность менее 1 мм/12 ч. Такие осадки, как правило, выпадают из высококучевой облачности в виде ледяных игл или отдельных снежинок.

Четкая закономерность увеличения среднего количества осадков (от 1,8 до 4,2 мм/12) за холодный период с понижением радиационной температуры на верхней границе облачности прослеживается в интервале значений от -3 до -51°C , далее при понижении температуры отмечается резкое убывание количества осадков (рисунок).



Ход среднего количества осадков в зависимости от значения радиационной температуры, соответствующей середине градации, за холодный период 2013 г. в Пермском крае

Нарушение закономерности вызывает облачность, расположенная на больших высотах, и как следствие, имеющая низкую температуру верхней границы, но осадки из неё выпадают незначительные, а также зафиксированное выпадение очень сильных осадков при относительно высоких значениях температуры.

Зависимость количества выпавших осадков от значения радиационной температуры облачности имеет внутрисугодовую изменчивость (табл. 2).

Таблица 2

Значение коэффициента корреляции (r) между радиационной температурой облачности и количеством осадков за холодный период 2013 г.

Месяц	X	XI	XII	I	II	III	IV	Среднее
r	-0,44	-0,55	-0,82	-0,80	-0,96	-0,23	-0,91	-0,67

Наиболее тесная обратная связь, т.е. увеличение количества осадков при понижении радиационной температуры облачности, установлена в феврале, апреле, декабре и январе. В те месяцы, когда отмечались снегопады в градации ОЯ (март, октябрь), связь установлена слабая и является ненадежной для нахождения эмпирической зависимости между значениями радиационной температуры облачности и очень сильными осадками. Таким образом, использование радиационной температуры облачности в качестве критерия для прогноза очень сильных снегопадов практически нецелесообразно.

В заключение отметим, что изучение связи между радиационной температурой облачности и количеством выпавших осадков в холодный период года носит практический характер. На примере анализа 936 случаев осадков в холодный период года в Пермском крае было показано,

что радиационная температура облачности может быть полезна при прогнозе неблагоприятных природных явлений — сильных снегопадов. Данную характеристику можно надежно использовать в качестве критерия обнаружения зон сильных осадков в феврале, апреле, декабре и январе. Преобладающее число случаев сильных осадков выпадает при радиационной температуре облачности от $-43,2$ до $-51,0$ °С.

Библиографический список

1. *Исаев А.А.* Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 248 с.
2. *Калинин Н.А., Ветров А.Л.* Генерация доступной потенциальной энергии вследствие крупномасштабной конденсации в циклонах умеренных широт // Метеорология и гидрология. 2002. № 4. С. 17–27.
3. *Калинин Н.А., Лукин И.Л.* Генерация доступной потенциальной энергии вследствие притока длинноволновой радиации в атмосфере // Метеорология и гидрология. 2014. № 3. С. 50–62.
4. *Калинин Н.А., Попова Е.В.* Численный прогноз опасных и неблагоприятных снегопадов в Пермском крае 15–16 марта 2013 г. // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 6. С. 7–16.
5. *Калинин Н.А., Смирнова А.А., Ветров А.Л.* Мезомасштабный анализ и сверхкраткосрочный прогноз погоды // Учен. зап. Казан. гос. ун-та. Серия Естественные науки. 2009. Т. 151. Кн. 4. С. 209–216.
6. *Калинин Н.А., Смирнова А.А.* Определение водности и водозапаса кучево-дождевой облачности по информации метеорологического радиолокатора // Метеорология и гидрология. 2011. № 2. С. 30–43.
7. *Калинин Н.А., Смородин Б.Л.* Редкое явление замерзающего дождя в Пермском крае // Метеорология и гидрология. 2012. № 8. С. 27–35.
8. *Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В.* Аэрокосмические методы географических исследований. 2-е изд. М.: Изд. центр «Академия», 2011. 416 с.
9. Метод прогноза осадков в холодный период года с использованием данных 5-канального радиометра AVHRR со спутников гидрометеорологического назначения серии NOAA и результаты его испытания. Методический кабинет гидрометцентра России. [Электронный ресурс]. URL: <http://method.meteorf.ru>. (дата обращения: 1.10.2014).
10. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. РД 52.27.724-2009. Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. 13 с.
11. О результатах апробации метода прогноза осадков в холодный период года с привлечением цифровой информации радиометра AVHRR спутниковой серии NOAA, принимаемой на аппаратно-программных комплексах «СканЭкс» и «Алиса» в Гидрометцентре Мурманского УГМС. [Электронный ресурс]. URL: <http://method.meteorf.ru/region/precip.html>. (дата обращения: 1.10.2014).
12. Руководство по использованию спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 39 с.
13. *Смородин Б.Л., Калинин Н.А., Давыдов В.Д.* Моделирование процесса изменения температуры капель при выпадении замерзающих осадков // Метеорология и гидрология. 2014. № 9. С. 34–40.

E.V. Pischalnikova

THE RELATIONSHIP BETWEEN RADIATION TEMPERATURE AT THE UPPER BOUNDARY OF THE CLOUD AND PRECIPITATION FOR THE COLD SEASON

We consider the relationship between the radiation temperature at the upper boundary of cloud obtained according to the radiometer MODIS, installed on the Terra and Aqua satellites and precipitation in the Perm region of the cold period of 2013. The radiation temperature of clouds can be used as an additional characteristics at detecting areas of moderate and heavy precipitation in the cold period in the Perm region.

Key words: radiation temperature, radiometer MODIS, Perm region, precipitation, cold period.

E.V. Pischalnikova, postgraduate, Department of Meteorology and Atmosphere Protection; Perm State University; 15 Bukireva, Perm, Russia, 614990; evapopova@rambler.ru