

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОЙ ОБЛАЧНОСТИ

Садова Юлия Сергеевна

г. Санкт – Петербург, Российский Государственный Гидрометеорологический

Sadova.July@yandex.ru

Научный руководитель: к.г.н. Федосеева Наталья Владимировна

Fednat@mail.ru

Аннотация: В данной статье рассмотрен принцип образования переохлажденной облачности, и ее влияние на обледенение воздушных судов. Разработан метод тематической обработки спутниковых изображений 1 уровня обработки (1В) с целью выделения переохлажденной облачности.

Ключевые слова: переохлажденная облачность, спутниковая съемка, видимый канал, инфракрасный канал, MODIS/Terra, Aqua.

Переохлажденная облачность – облачность, состоящая из жидких капель воды при температуре ниже 0° С. Средний размер переохлажденных облачных частиц 2 – 8 мкм.

Вода имеет сложную фазовую диаграмму с 14 кристаллическими, двумя стеклянными и жидкой фазами. Существуют процессы, при которых температура воды падает ниже точки замерзания, но фазовый переход не происходит, и вода остается в жидкой фазе. Это состояние называется переохлажденным – метастабильным. Вода в переохлажденном состоянии может оставаться жидкой даже в условиях, когда существует более стабильная фаза. [5]

При понижении температуры скорость замерзания переохлажденной воды увеличивается с увеличением содержания ядер кристаллизации. [3] Парциальное давление метастабильной воды должно быть немного пересыщено по отношению к «теплой» воде (условие устойчивого состояния облачных капель) и еще сильнее пересыщено по отношению к ледяным ядрам. Разница давления между водяными каплями и кристаллами льда приводит к испарению воды и увеличению размера ледяных кристаллов за счет капель переохлажденной воды. Данный процесс изменения фазового состояния облачности носит название процесс Бергерона – Финдайзена и протекает до тех пор, пока полностью не испариться вся вода. Поэтому любые турбулентные вихри могут спровоцировать массовый переход переохлажденной облачности в ледяное облако. [2]

Обледенение воздушных судов относится к разряду опасных явлений погоды. Несмотря на то, что воздушные суда оборудованы противообледенительными системами,

своевременное наблюдение и прогноз обледенения может во много раз уменьшить экономические издержки авиапредприятий. В практической метеорологии используются различные методы определения микрофизического состава облаков и их возможных состояний, но данные методы не всегда могут точно определить координаты наблюдения обледенения.

Изменение давления воздуха при прохождении воздушного судна сквозь переохлажденную облачность может вызвать замерзание капель переохлажденной воды. Воздух, резко расширяясь за концами крыльев и турбин двигателя, вызывает локальное падение давления и температуры. Самолет, проходящий через облако, водяные капли которого уже переохлаждены до температур $\sim -10^{\circ}\text{C}$, может понизить температуру еще ниже до $\sim -40^{\circ}\text{C}$ и спровоцировать образование ледяных кристаллов на поверхности фюзеляжа. [5]. Образовавшиеся ледяные кристаллы становятся ядрами конденсации для остальных капель переохлажденной воды и вызывают цепную реакцию образования кристаллов. Обледенение в переохлажденной облачности тем интенсивнее, чем больше размер капель и чем сильнее они переохлаждены.

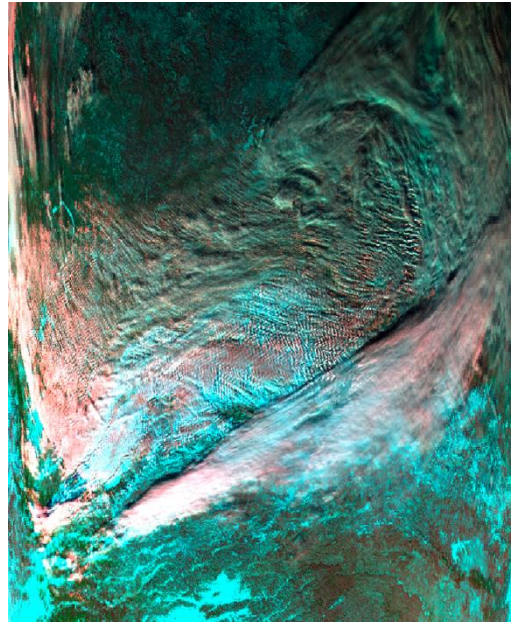
Для дешифрирования переохлажденной облачности разработан альтернативный метод дешифрирования с помощью мультиспектральной съемки с использованием видимого (0,38 – 0,78 мкм) и дальнего инфракрасного (4 – 1000 мкм) диапазонов длин электромагнитных волн с использованием спутниковых снимков MODIS/Aqua, Terra 1 уровня обработки (1B).

Для анализа переохлажденной облачности по данным дистанционного зондирования применены 3 RGB модели цветового синтезирования, позволяющие анализировать микрофизический состав облачности, вследствие чувствительности определенных каналов оптического и инфракрасного диапазонов к фазовому состоянию, размеру и температуре облачных частиц. [4] Для дешифрирования переохлажденной облачности разработана одна, обобщающая все предложенные, модель.

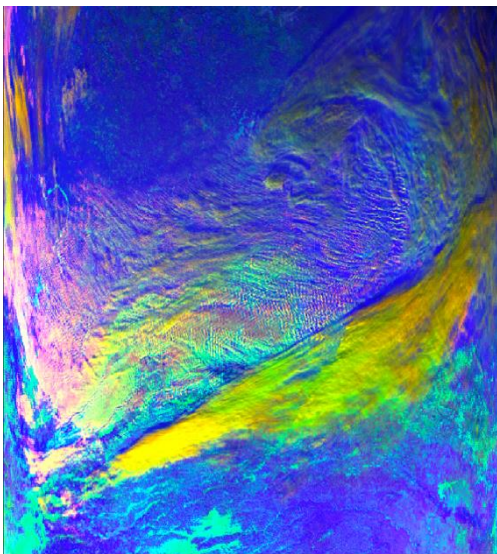
Рассмотрим рисунок 1, на котором под а) представлен снимок в видимом диапазоне, под б) 1 RGB модель. На спутниковом снимке б) в псевдо-естественных цветах белым цветом выделяются водяные облака среднего яруса, розовым цветом – водяные облака нижнего яруса, бирюзовым – ледяные облака верхнего яруса. В таблице 1 приведены соответствия цветов 1 RGB модели.



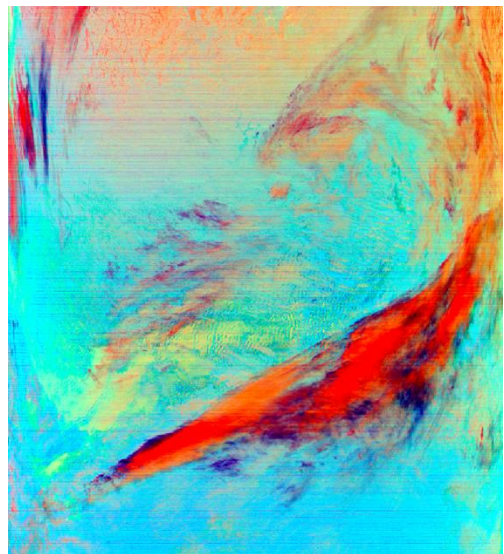
a)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Снимок от 30.01.2017 г. 05: 00 UTC, Республика Саха; а) Видимый канал; б) RGB комбинация 1; в) RGB комбинация 2; г) RGB комбинация 3

Вторая RGB комбинация, представленная на рисунке 1 в), желтым цветом выделяет облака, содержащие мелкие капли воды, оранжевым цветом – крупные капли, зеленым цветом – облака, состоящие из крупных кристаллов (наковальни кучево-дождевой облачности). В таблице 1 приведены цветовые соответствия 2 RGB модели.

На рисунке 1 г) представлена 3 RGB модель. Данная модель выделяет фазовый состав облачности и ее температурные характеристики. Желто-зеленым цветом выделена облачность, состоящая из холодных капель мелких размеров, бордовым цветом выделена облачность, имеющая в своем составе крупные ледяные кристаллы. В таблице 1 приведена цветовая шкала соответствия для данной RGB модели.

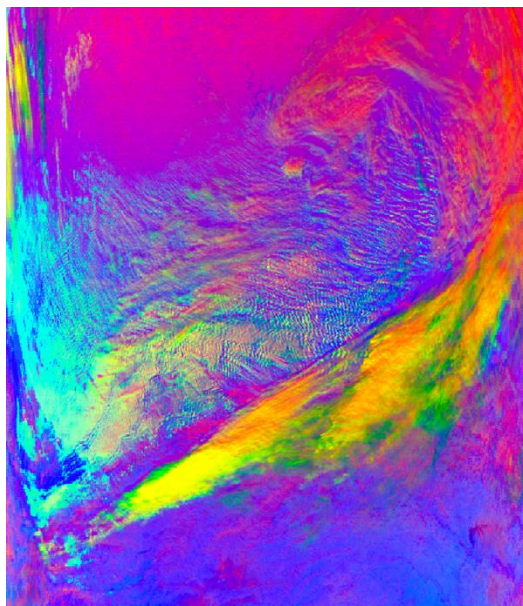


Рисунок 2 – Снимок от 30.01.2017 г. 05: 00 UTC, Республика Саха.

В результате проведенного анализа микрофизического состава облачности: фазовое состояние, размер и температура облачных частиц - была разработана обобщающая RGB модель цветового синтеза, представленная на рисунке 2. Переохлажденная облачность, состоящая из мелких холодных капель воды, выделена желтым цветом, облачность, состоящая из ледяных кристаллов – оранжевым цветом. Облака нижнего яруса на снимке представлены бирюзовым, а среднего – зеленым цветами. В таблице 1 представлены цветовые соответствия разработанной RGB модели.










Анализ полученных синтезированных цветных изображений показал, что разработанная RGB комбинация, основанная на каналах, чувствительных как к фазовому






состоянию облачности, так и к ее температурным характеристикам, повышает возможность дешифрирования переохлажденной облачности, опасной с точки зрения обледенения.

Список литературы:

1. Моисеев Д. Случайное локальное усиление осадков с помощью самолетов// Журнал геофизических исследований: Атмосфера – 2019
2. Невзоров А.Н. Биморфизм и свойства жидкокапельной воды в холодных облаках. В сб.: "Вопросы физики облаков". - М.: Метеорология и гидрология. - 2008. - С. 268-298.
3. Чукин В.В. Кристаллизация переохлажденных капель водных растворов / Чукин В.В., Платонова А.С. // Естественные и технические науки. - 2009. - № 4 (42). - С. 231-236.
- 4 Федосеева Н. В. Использование данных спутниковой мультиспектральной съемки при анализе облачных систем полярных циклонов / Федосеева Н. В., Ефимова Ю. В., Лопуха В. О. // В сб.: Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - 2018. - С. 615-624.
5. Bigg E. The Supercooling of Water // Proceedings of the Physical Society Section B (Proc Phys Soc B). – 2002 December

Таблица 1

RGB цвет	Объект	R	G	B	RGB цвет	Объект	R	G	B
Цветовые соответствия 1 RGB модели					Цветовые соответствия 3 RGB модели				
	Водяные облака	250	250	250		«Теплые» крупные ледяные кристаллы	93	27	43
	Низкие водяные облака	222	180	173		Холодные крупные ледяные кристаллы	220	213	29
	Снежный покров и высокие ледяные облака	67	207	213		Холодные капли мелких размеров	200	216	61
						Теплые крупные капли воды	255	73	78
Цветовые соответствия 2 RGB модели					Цветовые соответствия 4 RGB модели				
	Мелкие капли	251	254	99		Переохлажденная облачность	251	254	99

	Крупные кристаллы	134	242	102		Кристаллы льда	255	73	78
	Крупные капли	255	73	78		Водяные облака среднего яруса	134	242	102
						Водяные облака нижнего яруса	67	207	213