

Использование результатов классификации облачности по спутниковым данным для решения некоторых задач климатологии и метеорологии

Астафуров В.Г., Скороходов А.В., Курьянович К.В.

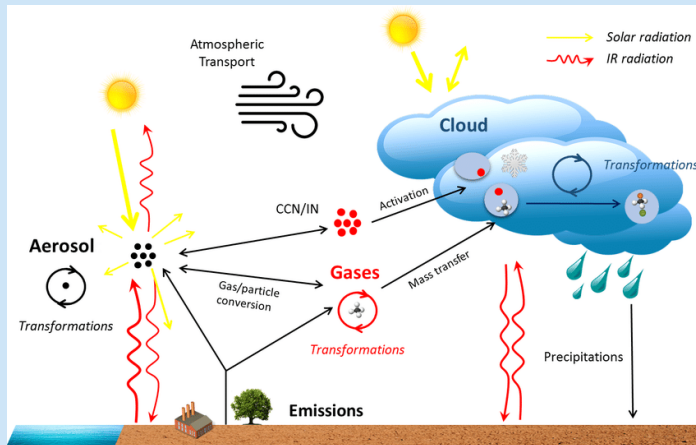
Актуальность



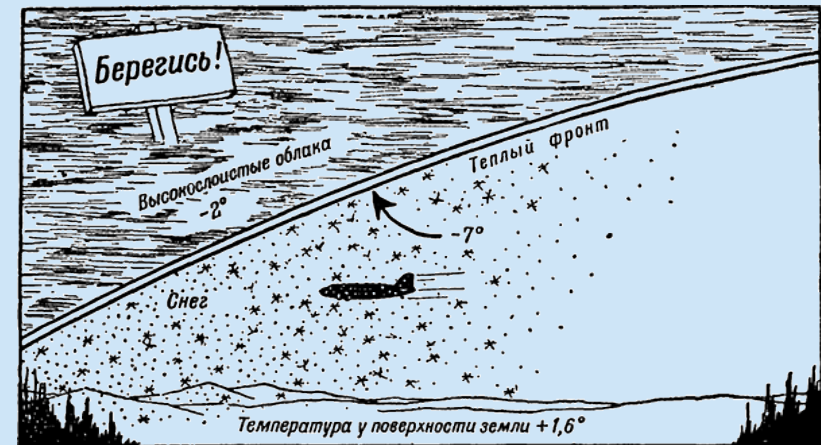
Гидрологический цикл



Радиационный перенос



Транспорт аэрозоля



Безопасность полетов воздушных судов

Исходные данные (алгоритм классификации облачности)

Классификатор: вероятностная нейронная сеть / нечеткая нейронная сеть

Классификационные характеристики: текстурные признаки (методы Gray-Level Co-occurrence Matrix, Gray-Level Difference Vector, Sum And Difference Histogram и One-Signal Difference Histogram), физические параметры (оптическая толщина, эффективный радиус частиц, водозапас, высота верхней границы и другие)

Спутниковые данные: MODIS/VIIRS

Эталонные образцы: сформированы на основе сопоставления архивных данных сети наземных метеостанций с результатами спутниковой съемки

Функции принадлежности: сформированы на основе статистических моделей текстурных признаков и физических параметров облачности

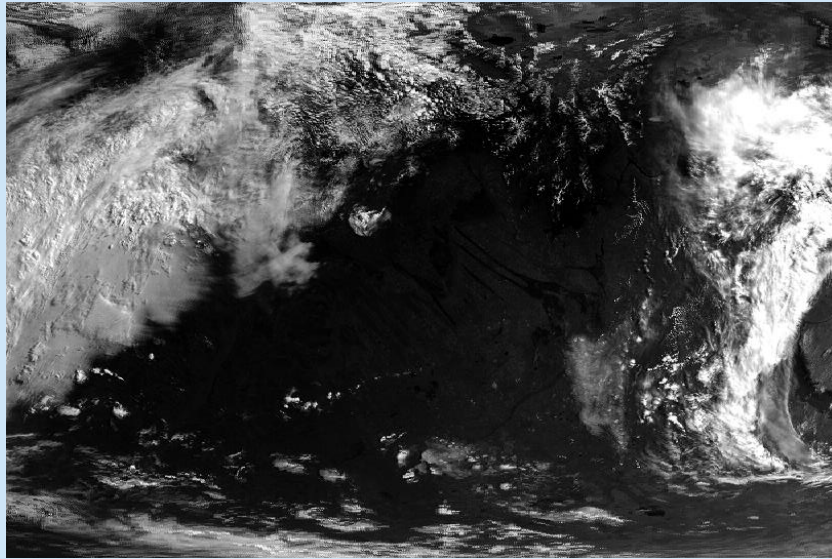
Реализация алгоритма: технология параллельных вычислений на графических процессорах общего назначения NVIDIA CUDA

Исходные данные (используемая классификация облачности)

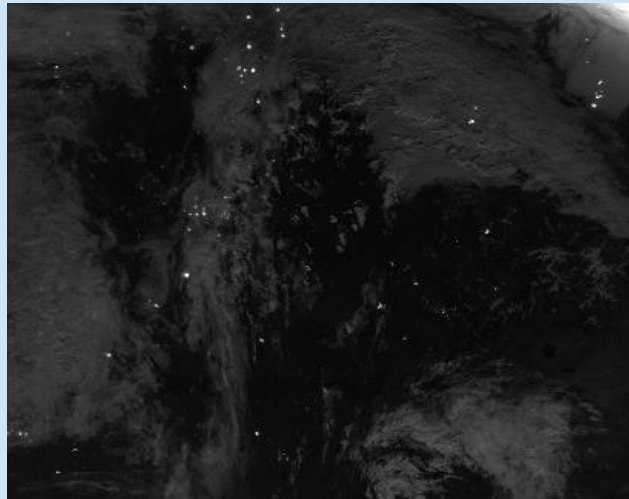
Тип облачности	MODIS/VIIRS (лето день)	MODIS/VIIRS (зима день)	VIIRS (зима/лето ночь)
<i>Облака вертикального развития</i>			
Кучевые плоские (Cu hum)	+	—	—/+
Кучевые средние и мощные (Cu med/cong)	+	—	—/+
Кучево-дождевые лысые (Cb calv)	+	—	—/+
Кучево-дождевые волосатые (Cb cap)	+	—	—/+
<i>Облака нижнего яруса</i>			
Слоисто-кучевые кучевообразные (Sc cuf)	+	+	+
Слоисто-кучевые волнистообразные (Sc und)	+	+	+
Слоистые (St)	+	+	+
<i>Облака среднего яруса</i>			
Высокослоистые (As)	+	+	+
Слоисто-дождевые (Ns)	+	+	
Высококучевые волнистообразные (Ac und)	+	+	+
Высококучевые кучевообразные (Ac cuf)	+	+	+
<i>Облака верхнего яруса</i>			
Перистые волокнистые (Ci fib)	+	+	+
Перистые плотные (Ci sp)	+	+	
Перисто-слоистые (Cs)	+	+	+
Перисто-кучевые (Cc)	+	+	

Средняя точность классификации – 85%

Исходные данные (результаты классификации облачности)

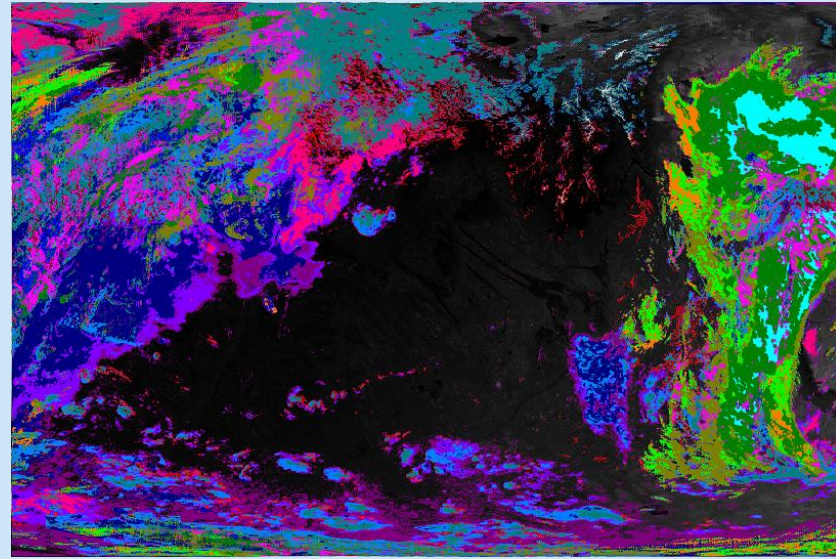


Дневной снимок MODIS

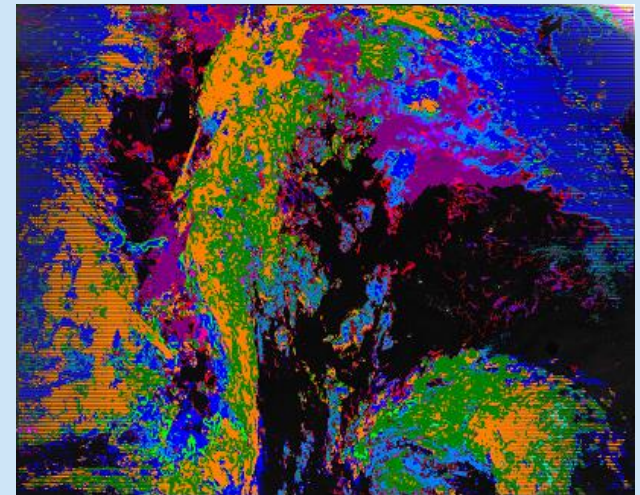


Ночной снимок VIIRS

Cu hum
Cu med/cong
Cb calv
Sc cuf
Sc und
St
Cb cap
As
Ns
Ac und
Ac cuf
Ci fib
Ci sp
Cs
Cc

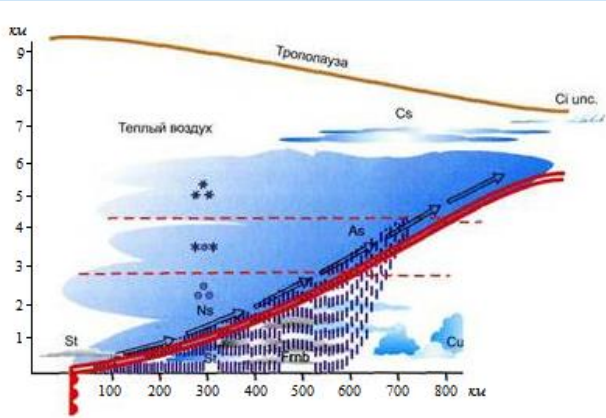


Результат классификации

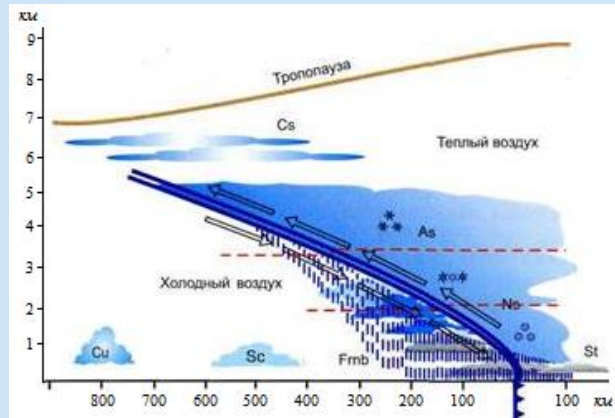


Результат классификации

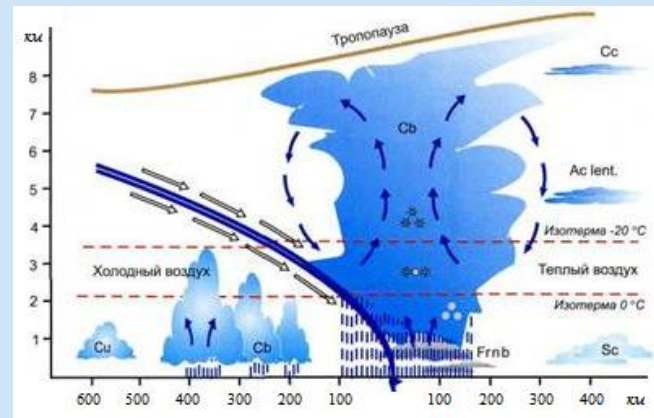
- Определение типа атмосферного фронта
- Восстановление характеристик атмосферных внутренних волн и их облачных проявлений
- Изучение многолетней изменчивости режима облачности над различными зонами Западной Сибири



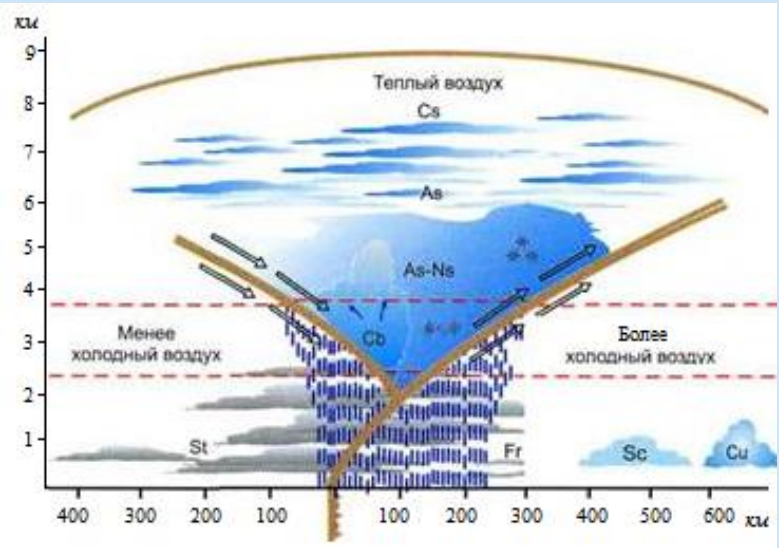
Теплый фронт



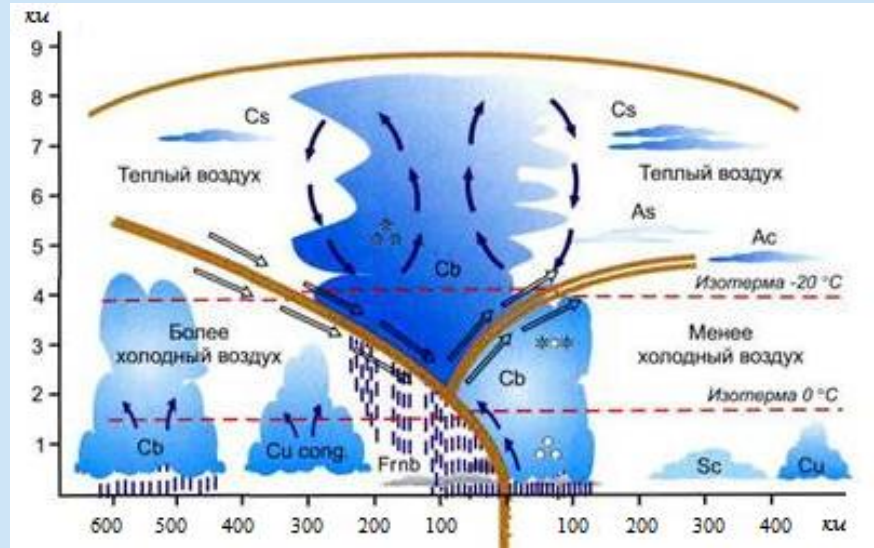
Холодный фронт 1-го рода



Холодный фронт 2-го рода

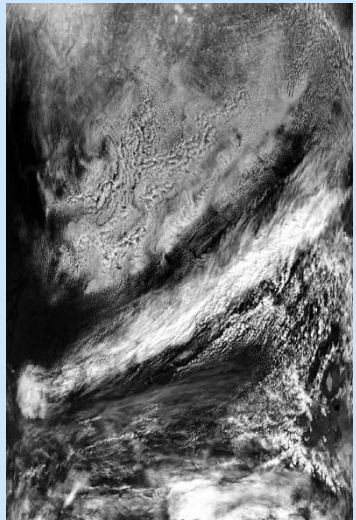


Окклюдующий теплый фронт

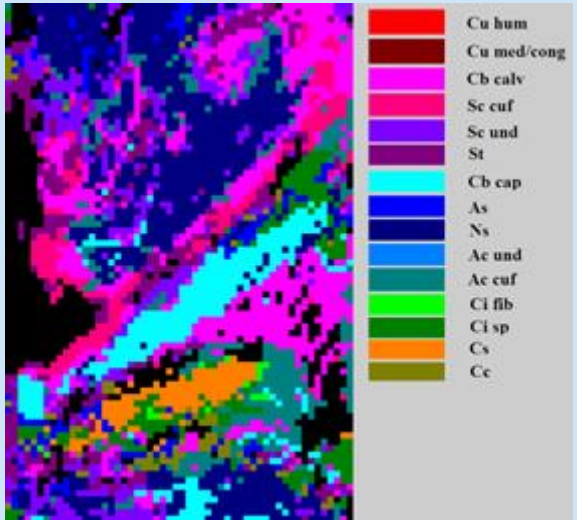


Окклюдующий холодный фронт

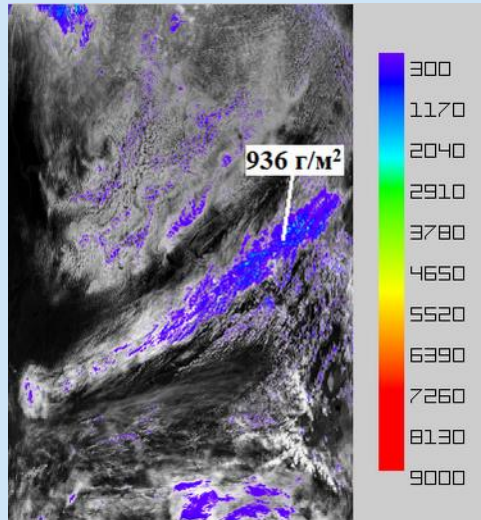
Атмосферные фронты (методика определения типа)



Исходный снимок



Мозаика облачности



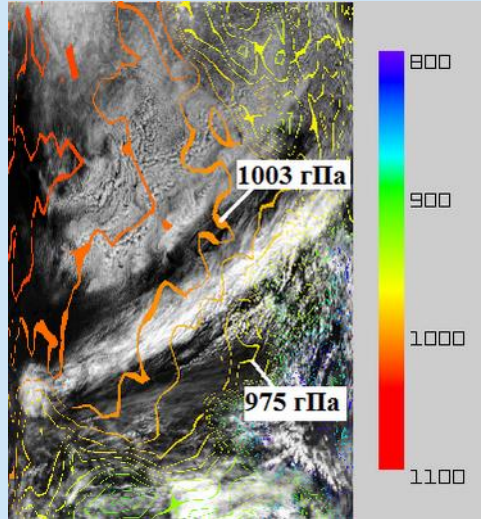
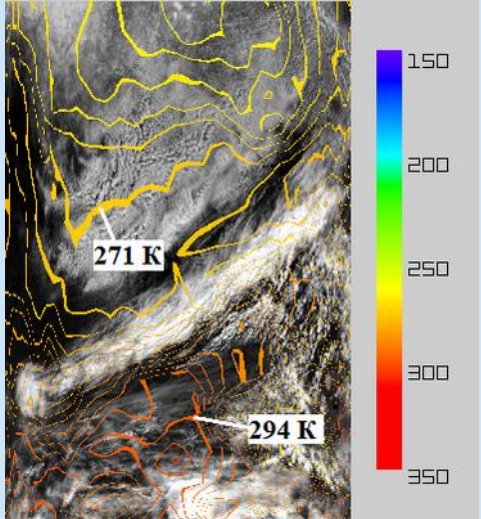
Выделение фронтальной облачности



Сравнение порядка
расположения облачности во
фронтальной зоне с эталонами
(дерево решений)

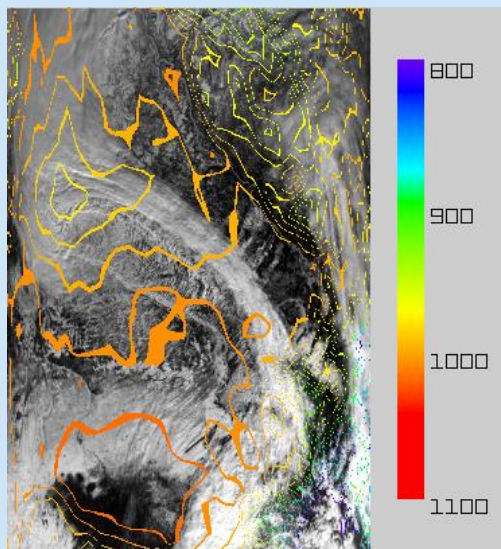


Тип атмосферного фронта

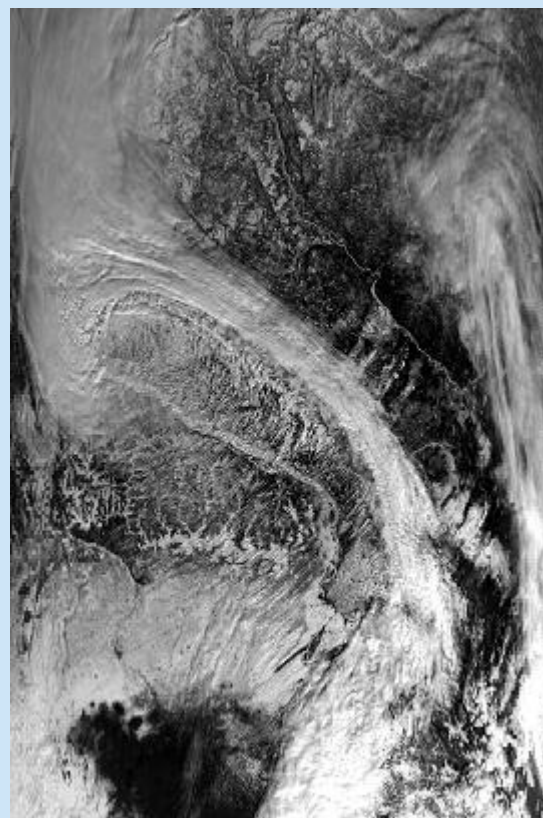


Оценка изобар и изотерм

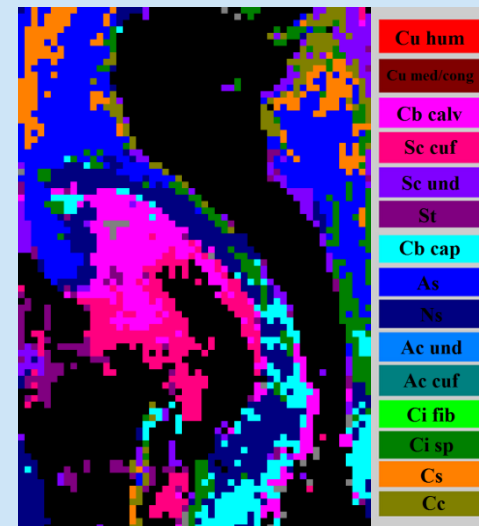
Атмосферные фронты (результаты определения)



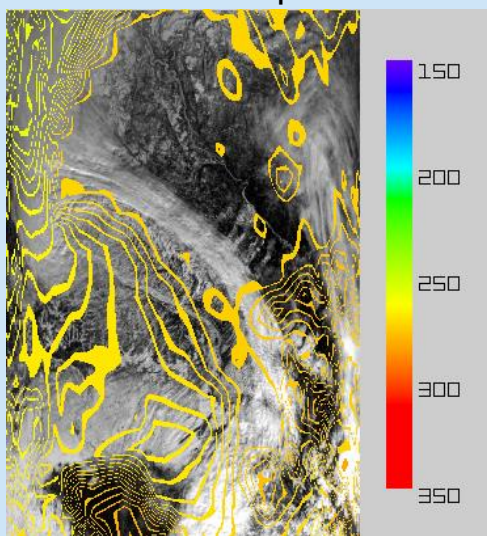
Изобары



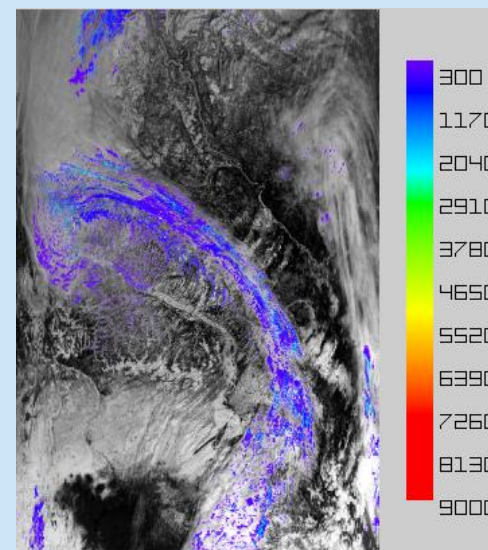
Момент образования
окклюдирующего теплого
фронта



Мозаика облачности



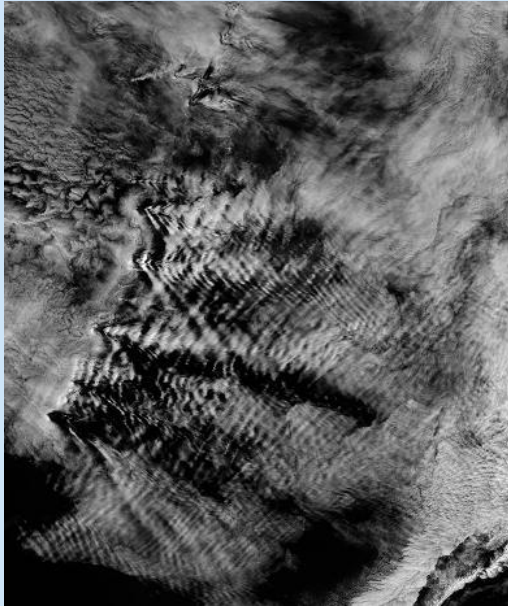
Изотермы



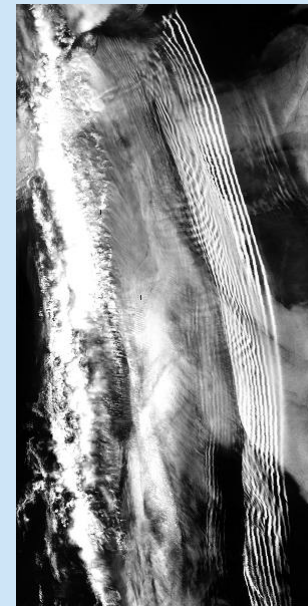
Фронтальные зоны

Средняя точность совпадения с
синоптическими картами – 87%

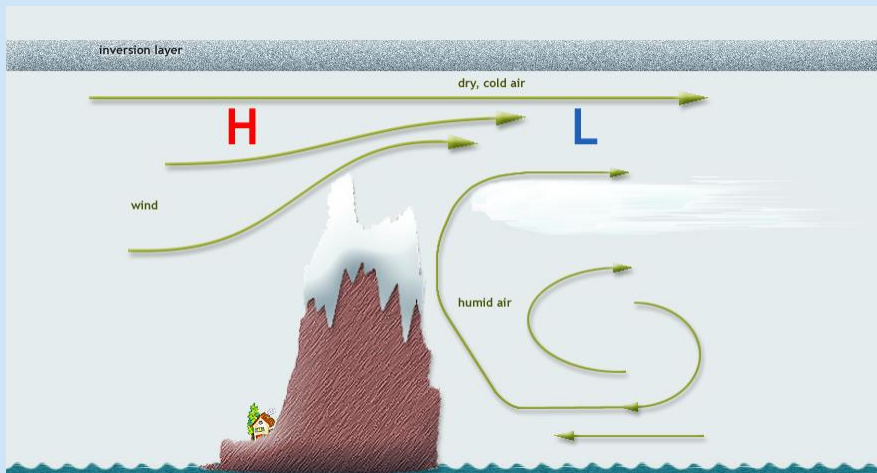
Атмосферные волны (виды и механизмы образования)



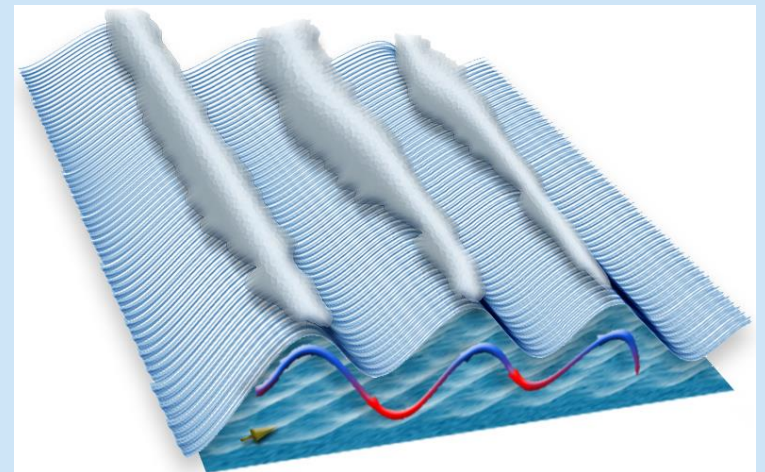
Орографические волны



Гравитационные волны

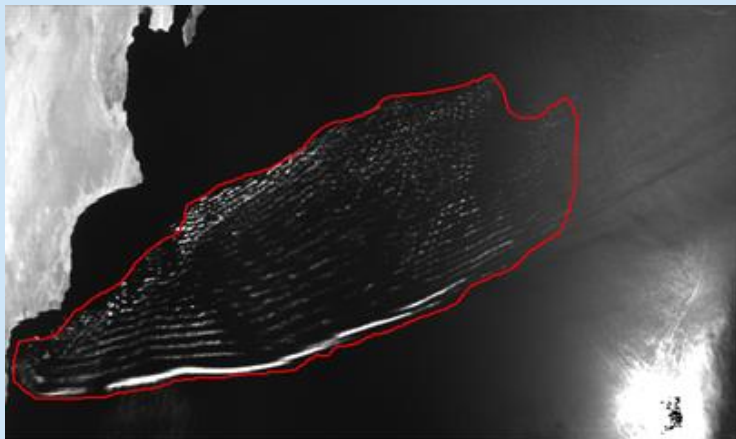


Поднятие теплого воздуха из-за препятствия

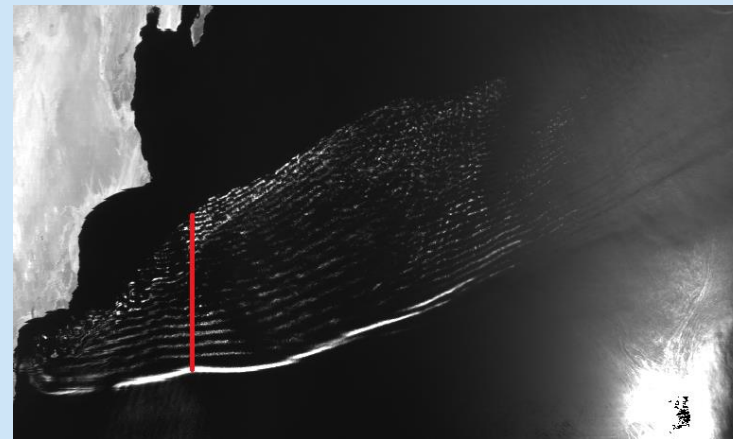


Поднятие теплого воздуха в результате конвекции

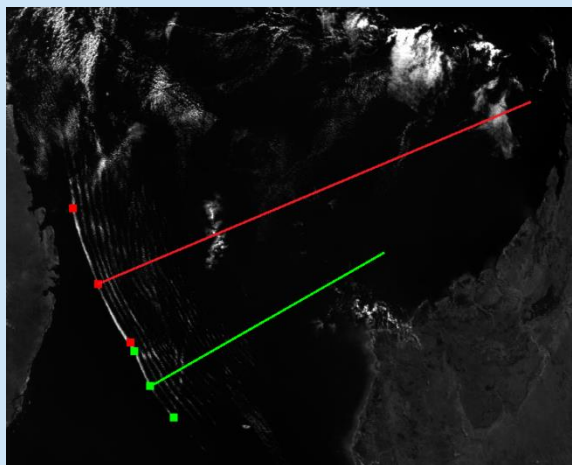
Атмосферные волны (методика восстановления характеристик)



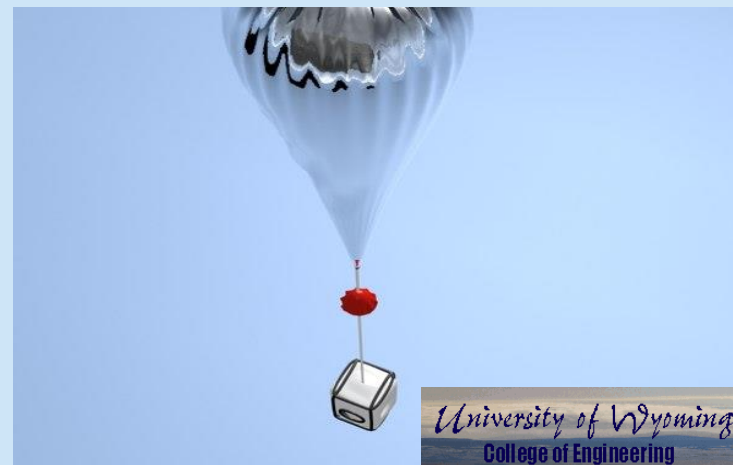
Определение площади и протяженности полос сигнатур атмосферных волн



Определение числа и толщины полос, длины и периода атмосферных волн



Определение радиуса кривизны квазипараллельных полос и предполагаемого места возникновения атмосферных волн

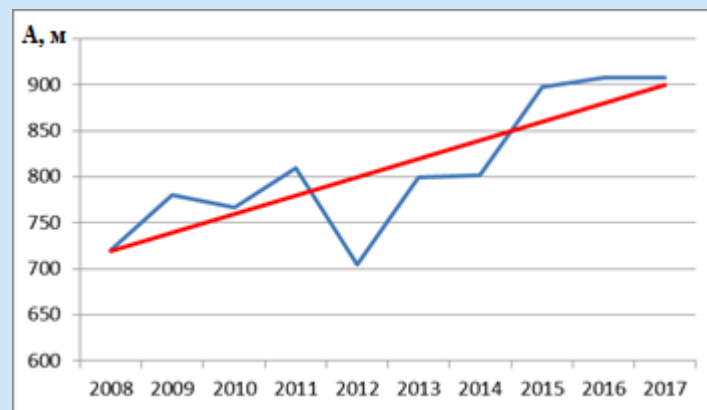


Определение амплитуды, скорости и направления распространения атмосферных волн на основе результатов аэрологического зондирования

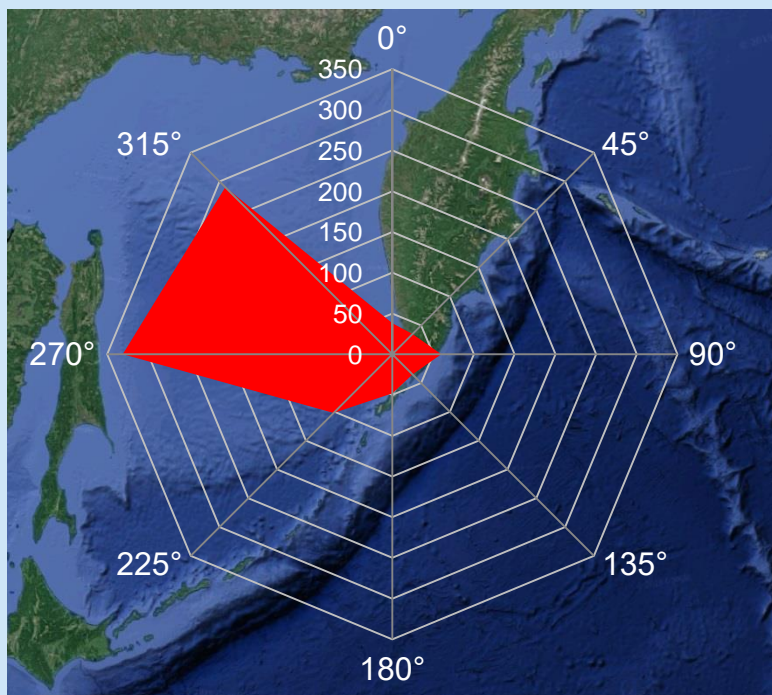
Атмосферные волны (результаты восстановления характеристик)

Характерные значения параметров атмосферных волн над акваторией Курильских островов за период с 2008 по 2017 год

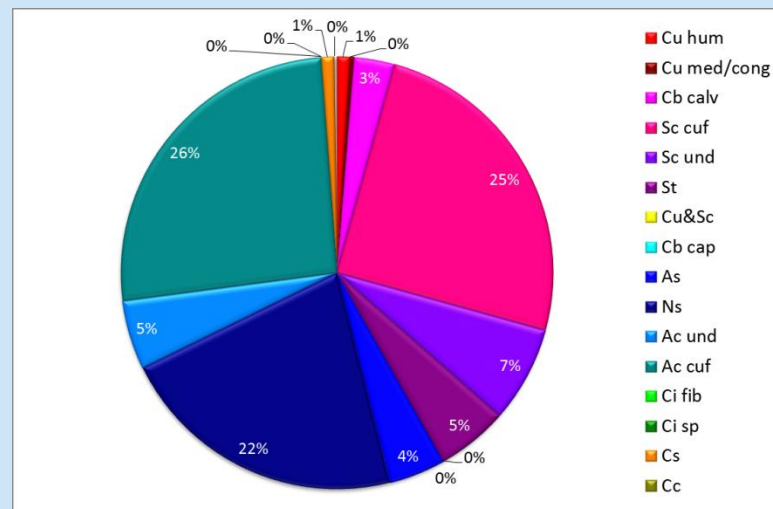
S , км ²	W , км	L , км	N	A , м	λ , км	T , ч
74193	3,48	323,16	9	810	7,61	0,10
v , км/ч	θ , °	T_{BG} , К	h_{BG} , м	p_{CT} , гПа	Q	T_S , °С
102,72	248,87	262,30	2409,75	756,57	Ac cuf	5,43



Многолетняя изменчивость амплитуды волн



Преобладающее направление распространения



Преобладающий тип облачности

Многолетние тренды параметров облачности (актуальность)

Основная цель:

Оценка изменения режима облачности над отдельно взятым регионом планеты, как маркера происходящих здесь климатических изменений.

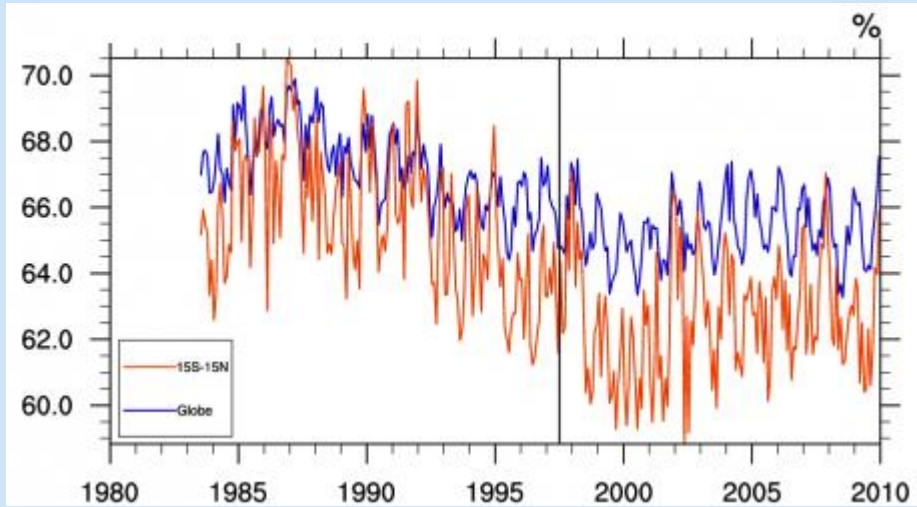
Факторы облакообразования:

- атмосферные фронты
- внутренние волны
- конвекция
- конвергенция
- рельеф
- циклоны

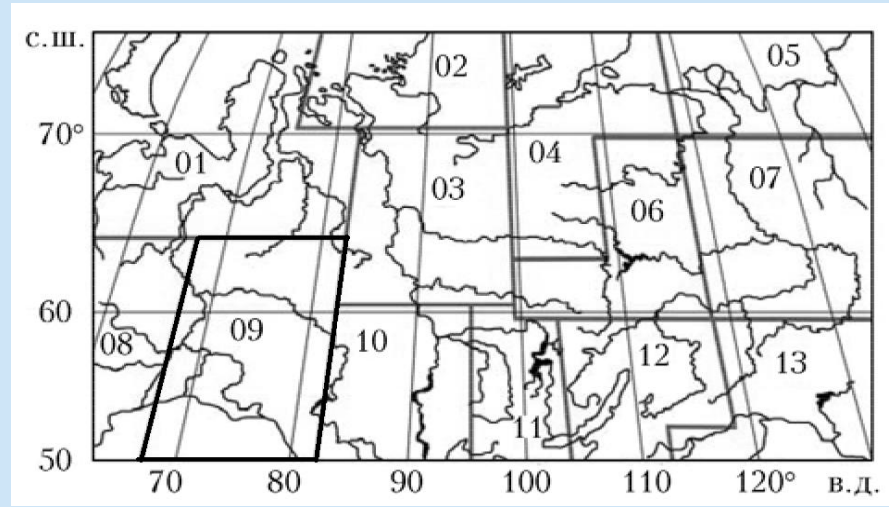
Причины изменения режима облачности:

- изменение режима атмосферной циркуляции
- увеличение концентрации аэрозоля в атмосфере
- усиление парникового эффекта
- изменение альbedo подстилающей поверхности

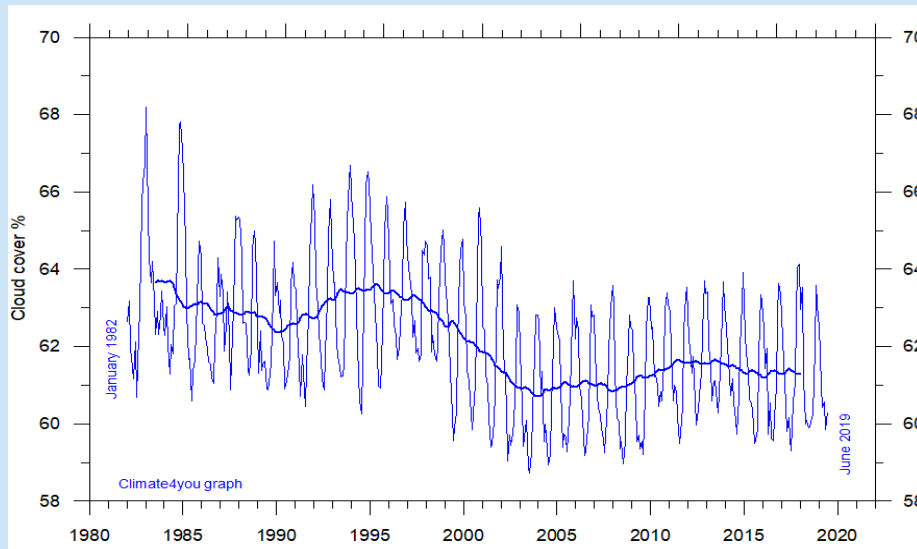
Многолетние тренды параметров облачности (глобальный и региональный масштаб)



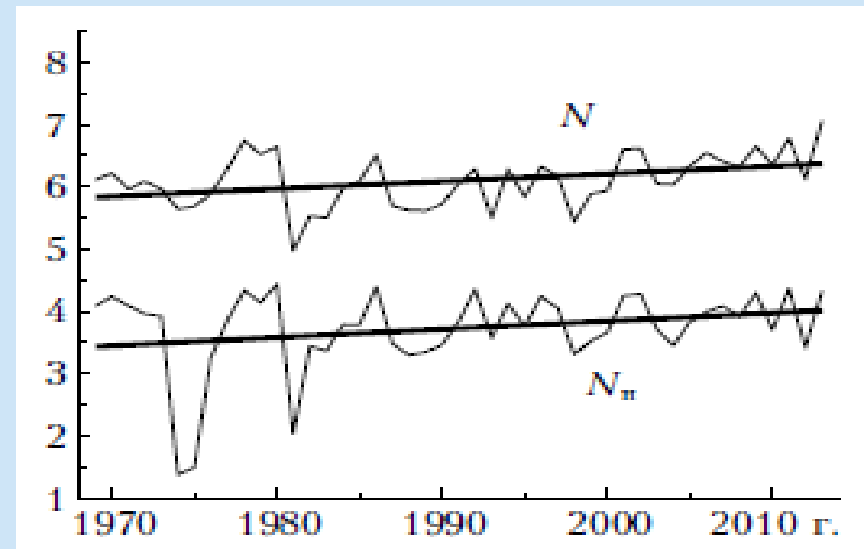
Изменение общей облачности (данные ISCCP)



Районирование Западной Сибири по режиму общей облачности

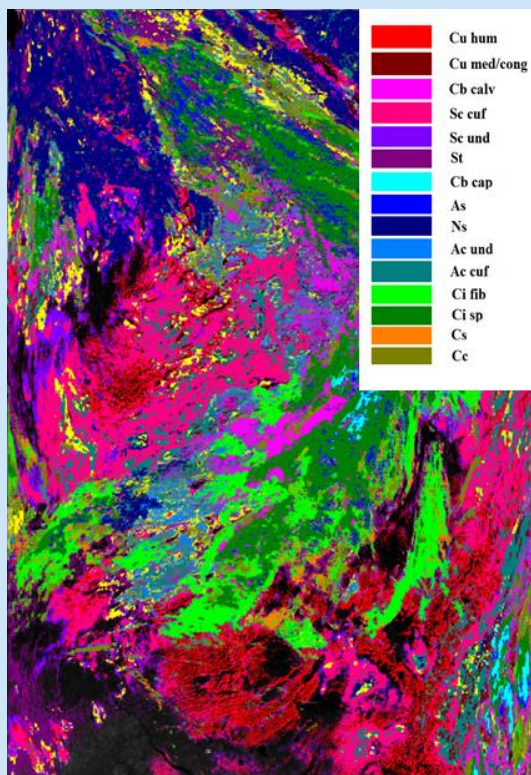


Изменение общей облачности (данные CM-SAF)

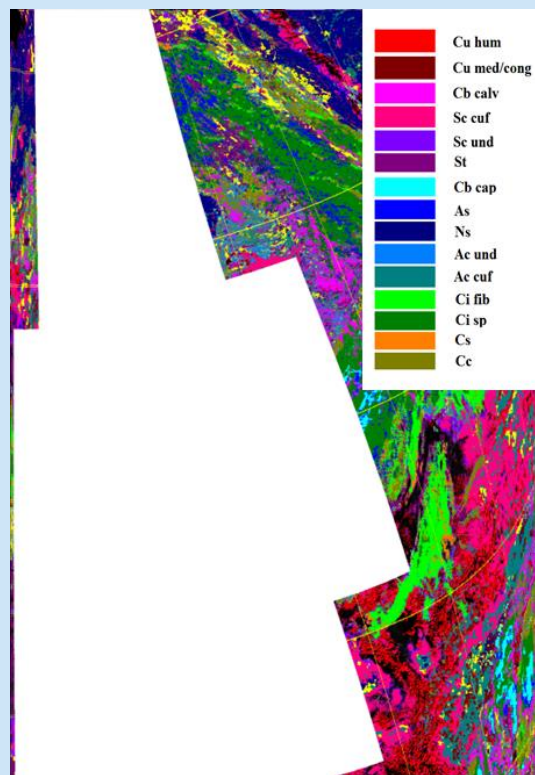


Изменение общей (N) и нижней (N_n) облачности в районе 9

Многолетние тренды параметров облачности (методика анализа)



Результаты классификации
облачности над Западной Сибирью
за период с 2001 по 2019 год
с июня по август



Наложение маски исследуемых
районов Западной Сибири

Северная зона ($>65^\circ$ с.ш.)

Процент покрытия региона
каждым типом облачности и
средние значения его
характеристик

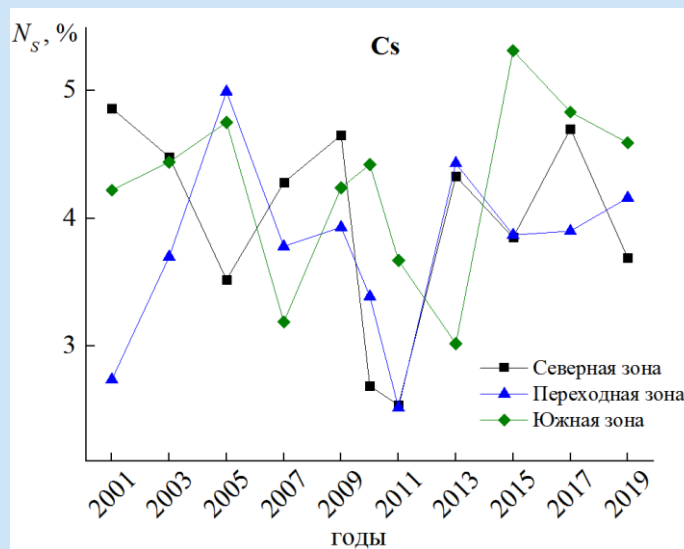
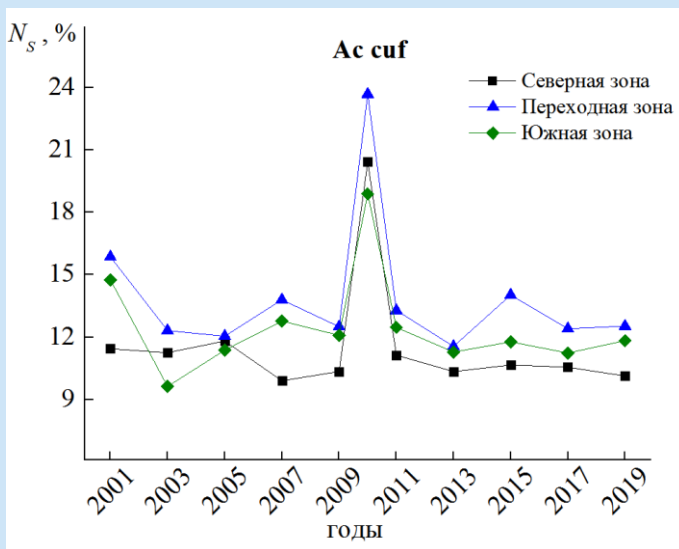
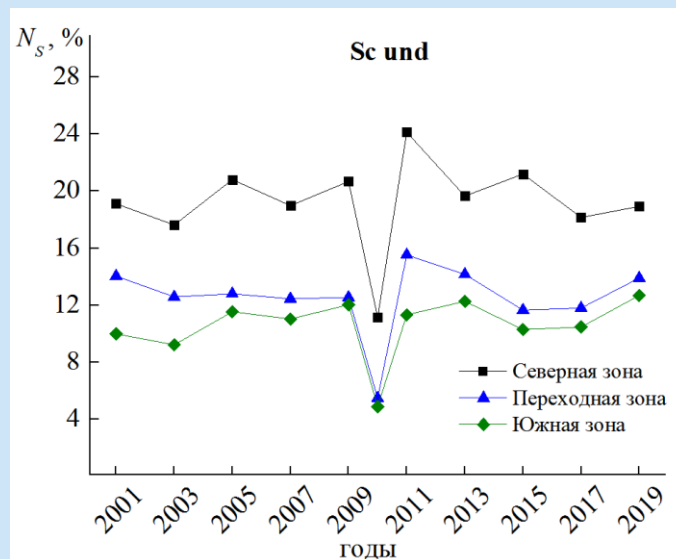
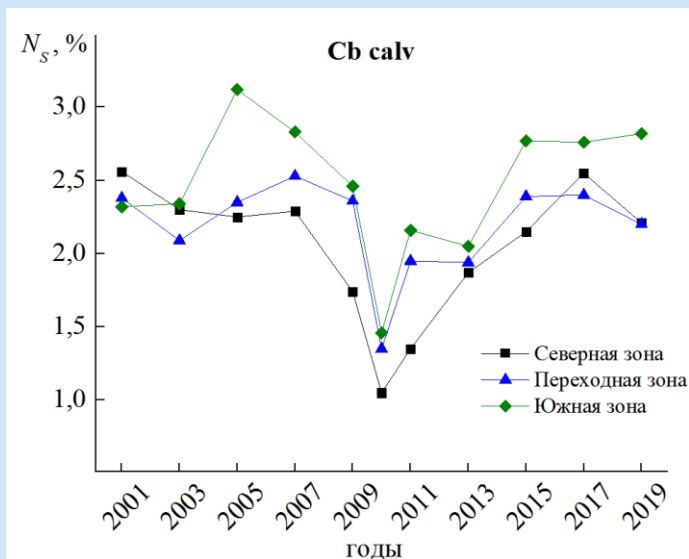
Переходная зона ($60-65^\circ$ с.ш.)

Южная зона ($<60^\circ$ с.ш.)

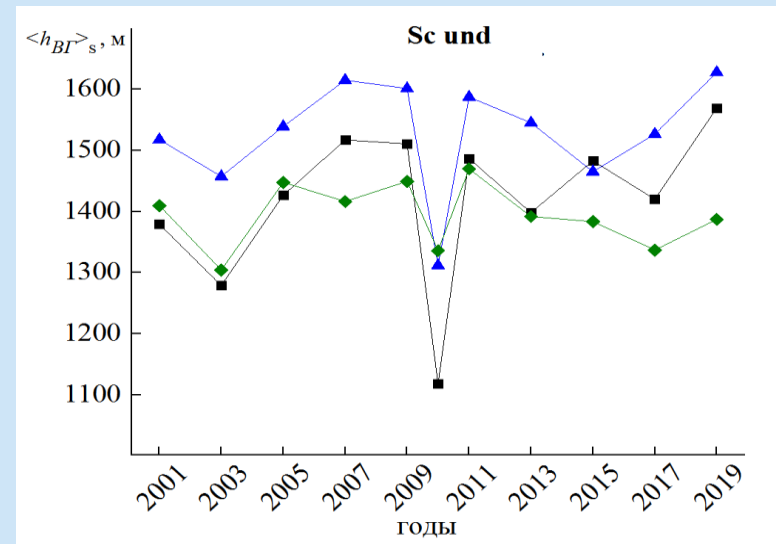
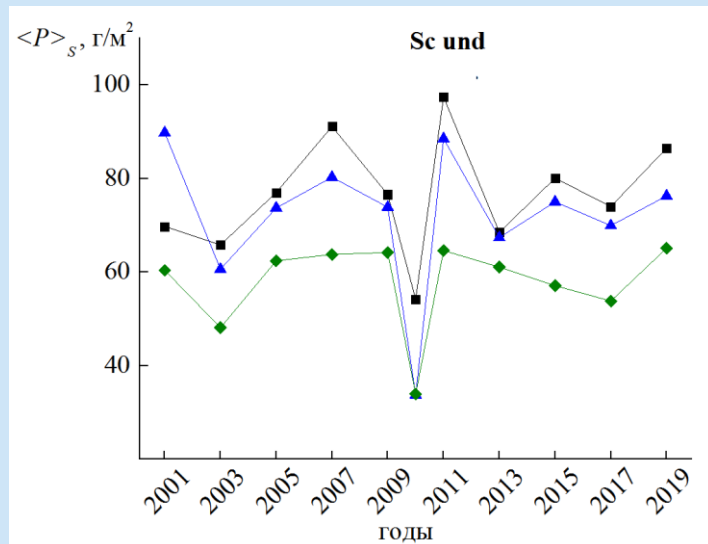
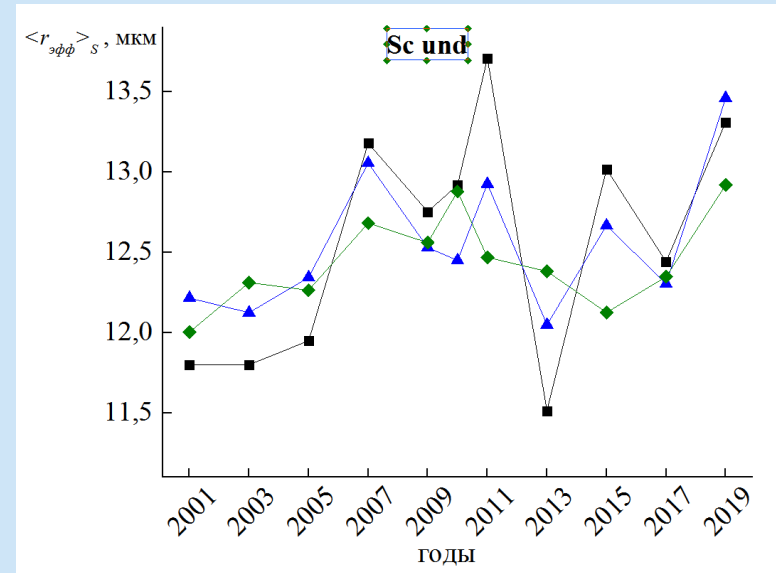
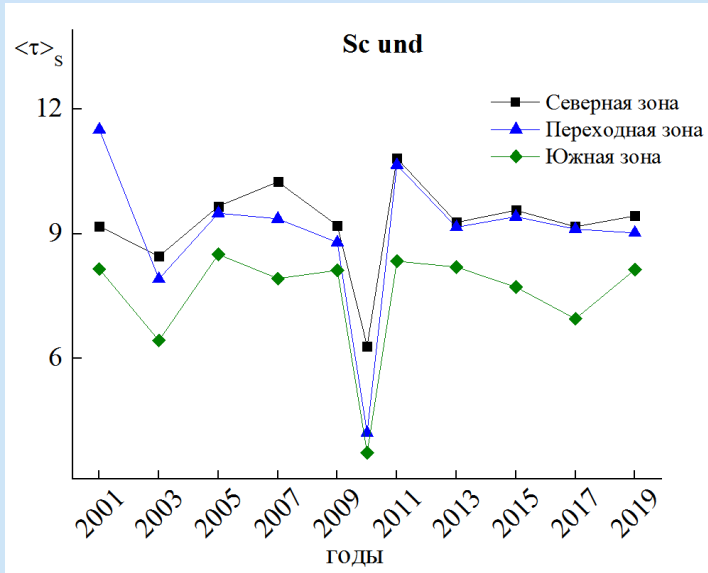
Анализируются пиксели
однослойной облачности



Многолетние тренды параметров облачности (результаты анализа – доля покрытия)



Многолетние тренды параметров облачности (результаты анализа – физические параметры)



Многолетние тренды параметров облачности (результаты анализа - выводы)

В результате исследований выявлено:

- 1) Увеличение **доли покрытия** однослойной облачности нижнего и верхнего ярусов и сокращение доли покрытия для среднего яруса по всей Западной Сибири. Облака вертикального развития характеризуются нейтральным трендом этого параметра;
- 2) Истончение облаков нижнего и среднего ярусов и утолщение облаков среднего по всей Западной Сибири в целом. **Оптическая толщина** конвективной облачности имеет нейтральный тренд;
- 3) Уменьшение **водозапаса** конвективной облачности и облаков нижнего яруса и его увеличение данного параметра у среднего и верхнего в целом по всей Западной Сибири;
- 4) Увеличение **высоты верхней границы** конвективной облачности и облаков нижнего яруса. Остальная облачность характеризуется нейтральным трендом этого параметра;
- 5) Аномальные выбросы сезонных значений всех рассматриваемых параметров у некоторых типов облачности в 2010 году, что говорит о существенном влиянии продолжительных атмосферных блокировок на режим облачности.

Основные выводы

- 1) Предлагаемый алгоритм классификации изображений облачности дает возможность решать широкий круг задач метеорологии и климатологии;
- 2) Облака являются маркером различных феноменов окружающей среды, связанных с характеристиками воздуха и его движениями. Поэтому информация о параметрах облачности косвенно или напрямую дает возможность оценить некоторые характеристики таких процессов, как атмосферные внутренние волны или вихри фон Кармана;
- 3) Использование результатов классификации облачности позволяет детектировать мезосистемы облаков с повторяющейся структурой, например, фронтальных масс, что является полезным при решении задач численного прогноза погоды;
- 4) Установлен ряд особенностей изменения режима однослойной облачности над рассматриваемым регионом за исследуемый период времени;
- 5) Для улучшения глобальных и региональных климатических моделей необходима информация об изменчивости структуры глобального поля облачности, а не только о суммарном количестве облаков.

Астафуров Владимир Глебович astafurov@iao.ru

Скороходов Алексей Викторович vazime@yandex.ru, тел. +7 923 401 60 70

Курьянович Ксения Викторовна ksuyain@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН)

пл. Академика Зуева, 1, 634055, г. Томск, Россия

Оценки многолетней относительной изменчивости доли покрытия Δ_N различными типами облачности и ее средние значения $\langle N_S \rangle$ над различными широтными зонами Западной Сибири

Тип облачности	$\Delta_N / \langle N_S \rangle_{\Delta t}, \%$		
	Северная зона	Переходная зона	Южная зона
Cu hum	0,07 / 8	Н	-0,08 / 19
Sc cuf	-0,14 / 10	-0,15 / 13	-0,07 / 15
Sc und	Н	Н	0,15 / 11
St	0,07 / 10	–	–
Ns	0,07 / 15	0,21 / 7	–
Ac cuf	-0,25 / 8	-0,07 / 7	Н
Ac und	-0,10 / 11	-0,11 / 13	-0,08 / 12
Ci fib	–	–	0,12 / 6
Ci sp	0,12 / 6	–	Н
Cc	–	–	0,09 / 8

Примечание:

«–» обозначает, что $\langle N_S \rangle_{\Delta t} < 5\%$

«Н» обозначает нейтральный тренд при $|\Delta_N| < 0,05$

Оценки относительной многолетней изменчивости оптической толщины Δ_τ и водозапаса Δ_P различных типов облачности и их средние значения $\langle \tau \rangle_S$ и $\langle P \rangle_S$ для различных широтных зон Западной Сибири

Типы облачности	Северная зона	Переходная зона	Южная зона
	$\Delta_\tau / \langle \langle \tau \rangle_S \rangle_{\Delta_\tau}$		
Cu hum	H	-0,06 / 10	H
Cb calv	0,07 / 50	H	H
Sc cuf	0,08 / 10	H	H
Sc und	H	-0,08 / 9	H
St	-0,06 / 13	-0,27 / 11	-0,22 / 7
Ns	H	-0,05 / 24	-0,08 / 22
As	H	0,10 / 16	0,11 / 19
Ac und	0,06 / 9	0,05 / 8	0,07 / 7
Ci fib	0,13 / 3	0,12 / 3	0,13 / 3
Cs	0,29 / 2	0,23 / 2	0,23 / 2
Cc	0,05 / 4	0,13 / 4	0,09 / 4
	$\Delta_P / \langle \langle P \rangle_S \rangle_{\Delta_P}, \text{ г/м}^2$		
Cu hum	H	-0,08 / 91	H
Cb calv	H	H	-0,07 / 579
Cb cap	H	H	H
Sc cuf	-0,12 / 79	H	H
Sc und	0,12 / 79	-0,05 / 76	H
St	H	-0,20 / 85	-0,14 / 56
Ns	0,08 / 293	H	-0,09 / 324
As	0,10 / 183	-0,05 / 206	0,11 / 184
Ac und	0,09 / 80	0,05 / 71	0,11 / 64
Ci fib	0,14 / 62	0,09 / 66	0,06 / 63
Cs	0,23 / 58	0,17 / 57	0,15 / 51
Cc	H	0,08 / 59	H
Примечание: «Н» обозначает нейтральный тренд $\langle \tau \rangle_S$ или $\langle P \rangle_S$ при $ \Delta_\tau < 0,05$ или $ \Delta_P < 0,05$			