



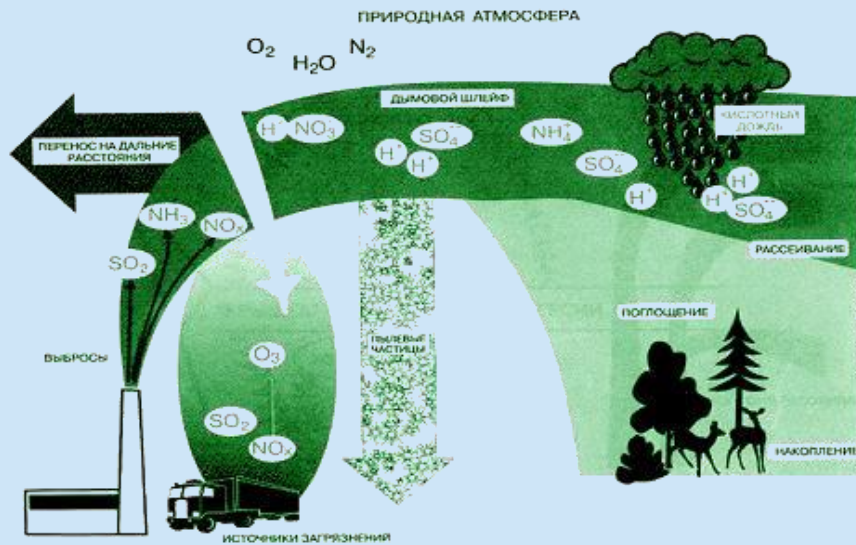
ИНСТИТУТ ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ
ИМЕНИ В.Е. ЗУЕВА СО РАН

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЗОННО-ШИРОТНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ОБЛАЧНОСТИ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАД ТЕРРИТОРИЕЙ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Астафуров В.Г., Скороходов А.В., Митрофаненко Я.К.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта
№ 16-37-60019 мол_а_дк

Глобальное поле облачности



Типы облачности

Код	Нижний ярус	Код	Средний ярус	Код	Верхний ярус
1	Кучевые плоские (Cu hum)	1	Высокослоистые (As)	1	Перистые когтевидные (Ci unc)
2	Кучевые средние и мощные (Cu med/cong)	2	Слоисто-дождевые (Ns)	2	Перистые хлопьевидные (Ci floc)
3	Кучево-дождевые лысые (Cb calv)	3	Высококучевые просвечивающие (один слой) (Ac trans)	3	Перистые, образовавшиеся из навален кучево-дождевых (Ci ing)
4	Слоисто-кучевые кучевообразные (Sc cuf)	4	Высококучевые неоднородные и чечевицеобразные (Ac inh/lent)	4	Перистые перепутанные и хребтовидные (Ci int/vert)
5	Слоисто-кучевые волнистообразные (Sc und)	5	Высококучевые (несколько слоев) (Ac_5)	5	Перисто-слоистые (распространяются по небу и уплотняются) (Cs_5)
6	Слоистые (St)	6	Высококучевые, образовавшиеся из кучевых и кучево-дождевых (Ac cug/vir)	6	Перисто-слоистые (высота сплошной пелены над горизонтом > 45°) (Cs_6)
7	Слоистые разорвано-дождевые (St frnb)	7	Высококучевые непросвечивающие (один слой) (Ac op)	7	Перисто-слоистые (10 баллов) (Cs_7)
8	Кучевые и слоисто-кучевые, наблюдаемые одновременно (Cu & Sc)	8	Высококучевые башенковидные и хлопьевидные (Ac cast/floc)	8	Перисто-слоистые (не распространяются по небу) (Cs_8)
9	Кучево-дождевые волосатые (Cb cap)	9	Высококучевые при хаотическом виде неба (Ac_9)	9	Перисто-кучевые (Cc)

Механизмы образования облаков

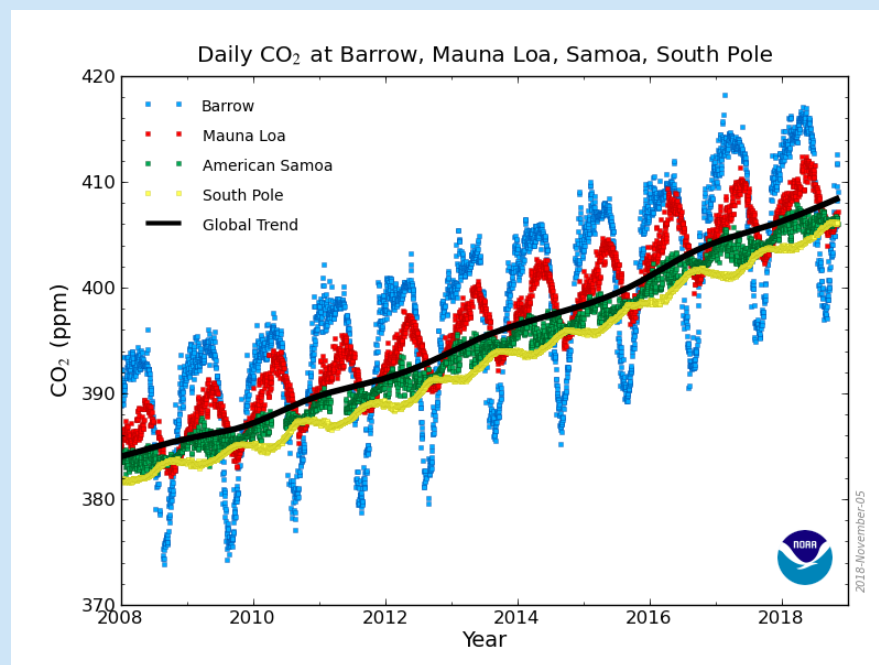
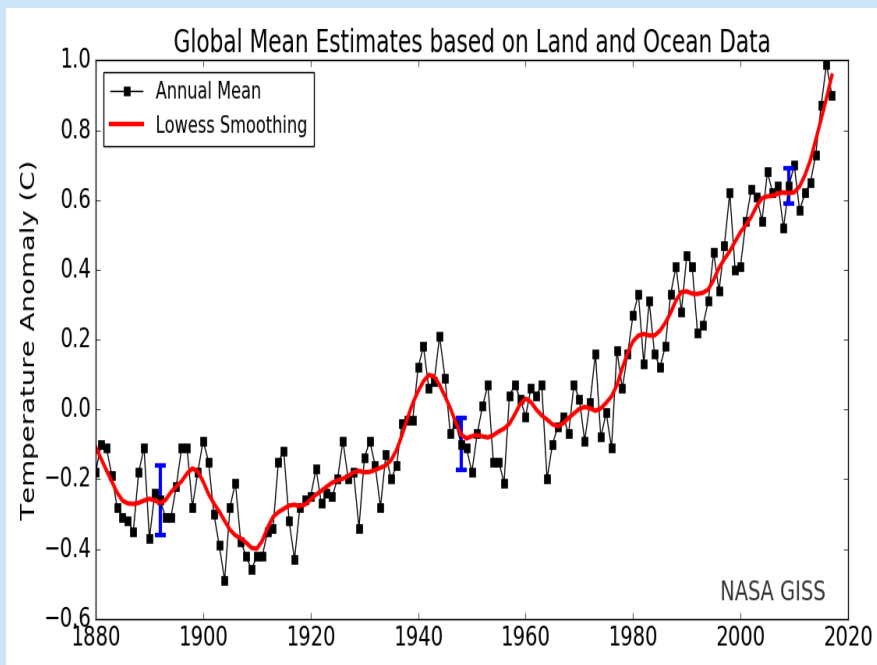
Тип облачности	Механизм образования
Кучевые	Конвекция, слабая неустойчивость атмосферы и турбулентные вихри
Кучево-дождевые	Конвекция, сильная неустойчивость атмосферы и турбулентные вихри
Слоистые	Охлаждение теплого воздуха от подстилающей поверхности, радиационное выхолаживание в ночное время суток, турбулентное перемешивание водяного пара
Слоисто-кучевые	Возникновение волновых движений в слоях инверсий (Sc und) и растекание кучевых облаков в слое под инверсиями (Sc cuf)
Слоисто-дождевые	Развитие атмосферного фронта и разрушение кучево-дождевых облаков
Высокослоистые	Утончение слоисто-дождевых или утолщение перисто-слоистых облаков в процессе развития атмосферного фронта
Высококучевые	Возникновение волновых движений под инверсиями и над горными препятствиями (Ac und), а также конвекции (Ac cuf)
Перистые	Адиабатическое охлаждение воздуха при восходящем движении и распад вершин кучево-дождевых облаков
Перисто-слоистые	Адиабатическое охлаждение воздуха при восходящем движении преимущественно при развитии атмосферных фронтов
Перисто-кучевые	Волновые и конвективные движения в верхней тропосфере

Влияние облаков на климат

Облака **нижнего** яруса со значительной вертикальной протяженностью препятствуют выхолаживанию подстилающей поверхности и отражают значительную часть солнечной радиации назад в космическое пространство.

Облака **верхнего** яруса рассеивает приходящее излучение, усиливая тем самым парниковый эффект.

Облака **среднего** яруса оказывают существенное влияние на радиационный баланс при прохождении атмосферных фронтов над конкретной территорией.

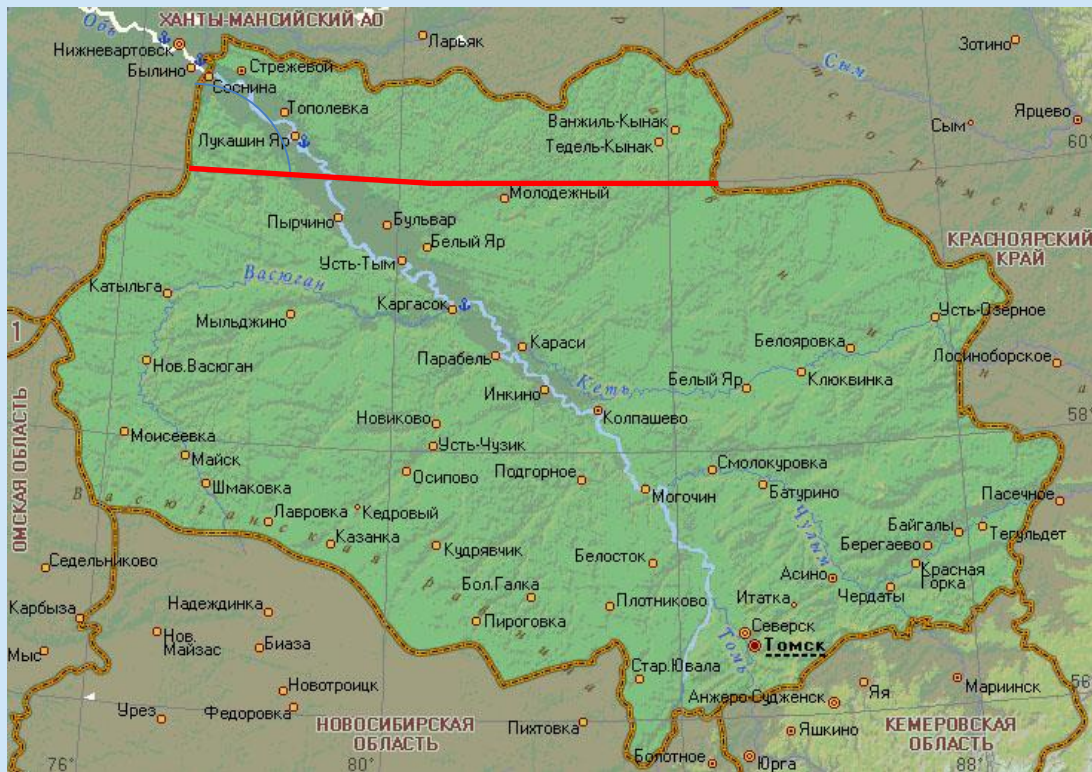


С одной стороны усиление парникового эффекта может привести к **уменьшению** относительной влажности и постепенному сокращению количества облаков.

С другой стороны глобальное потепление способствует увеличению испаряемости и **росту** общей облачности.

Цель работы

Разработка методики исследования региональных и сезонных вариаций распределения облаков различных типов и их физических характеристик над произвольной территорией на основе результатов спутниковой съемки и реализация ее в виде программной системы. Апробация методики была выполнена на основе спутниковых снимков MODIS территории Томской области, полученных за 2017 год.



Классификация облачности

Тип облачности	Отсутствие снежного покрова	Наличие снежного покрова
Кучевые плоские (Cu hum)	+	–
Кучевые средние и мощные (Cu med/cong)	+	–
Кучево-дождевые лысые (Cb calv)	+	–
Кучево-дождевые волосатые (Cb cap)	+	–
Слоисто-кучевые кучевообразные (Sc cuf)	+	+
Слоисто-кучевые волнистообразные (Sc und)	+	+
Слоисто-дождевые (Ns)	+	+
Сочетание кучевых и слоисто-кучевых (Cu & Sc)	+	+
Высокослоистые (As)	+	+
Высококучевые волнистообразные (Ac und)	+	+
Высококучевые кучевообразные (Ac cuf)	+	+
Перистые волокнистые (Ci fib)	+	+
Перистые плотные (Ci sp)	+	+
Перисто-слоистые (Cs)	+	+
Перисто-кучевые (Cc)	+	+

¹Астафуров В.Г., Курьянович К.В., Скороходов А.В. Статистическая модель текстуры изображений облачного покрова по спутниковым данным // Метеорология и гидрология. 2017. № 4. С. 53-66.

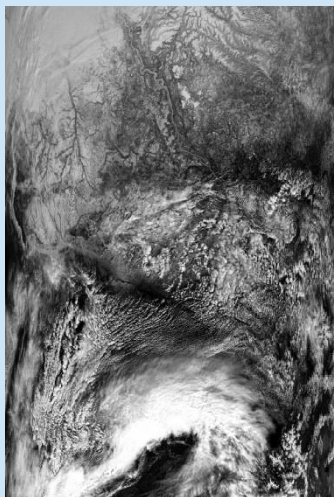
²Астафуров В.Г., Скороходов А.В. Статистическая модель физических параметров облачности на основе тематических продуктов MODIS // Исследование Земли из космоса. 2017. №5. С. 66-81.

Классификационные характеристики облаков

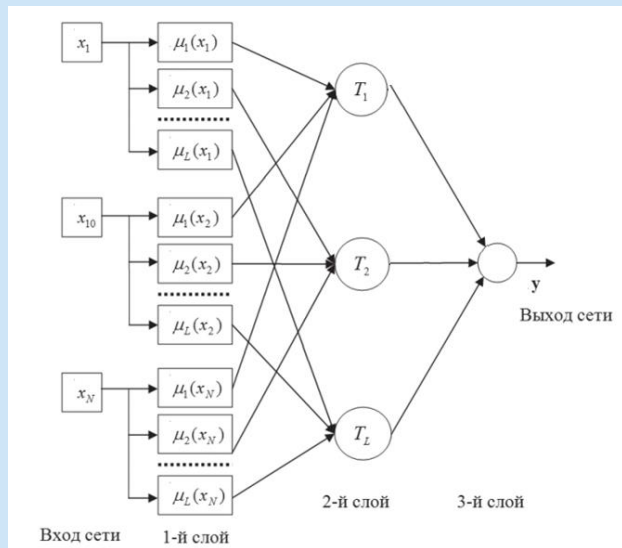
Обозначение	Признаки	Обозначение	Признаки
GLCM		$T_{97} - T_{100}$	Стандартное отклонение
$T_1 - T_4$	Второй угловой момент	$T_{101} - T_{104}$	Второй угловой момент
$T_5 - T_8$	Энтропия	$T_{105} - T_{108}$	Контраст
$T_9 - T_{12}$	Максимальная вероятность	$T_{109} - T_{112}$	Корреляция
$T_{13} - T_{16}$	Локальная однородность	$T_{113} - T_{116}$	Энтропия
$T_{17} - T_{20}$	Инверсия	$T_{117} - T_{120}$	Локальная однородность
$T_{21} - T_{24}$	Дисперсия	$T_{121} - T_{124}$	Кластерное затенение
$T_{25} - T_{28}$	Контраст	$T_{125} - T_{128}$	Кластерная рельефность
$T_{29} - T_{32}$	Суммарное среднее	ODSH	
$T_{33} - T_{36}$	Суммарная дисперсия	T_{129}	Первый начальный момент
$T_{37} - T_{40}$	Суммарная энтропия	T_{130}	Энтропия
$T_{41} - T_{44}$	Дифференциальная дисперсия	T_{131}	Энергия
$T_{45} - T_{48}$	Дифференциальная энтропия	T_{132}	Вариация
$T_{49} - T_{52}$	Корреляция	Физические параметры	
$T_{53} - T_{56}$	Информационная мера -1	T_{133}	Оптическая толщина
$T_{57} - T_{60}$	Информационная мера -2	T_{134}	Эффективный радиус частиц
GLDV		T_{135}	Водозапас
$T_{61} - T_{64}$	Математическое ожидание	T_{136}	Фазовый состав (Оптика)
$T_{65} - T_{68}$	Стандартное отклонение	T_{137}	Фазовый состав (ИК)
$T_{69} - T_{72}$	Второй угловой момент	T_{138}	Коэффициент отражения
$T_{73} - T_{76}$	Энтропия	T_{139}	Высота верхней границы
$T_{77} - T_{80}$	Локальная однородность	T_{140}	Температура верхней границы
$T_{81} - T_{84}$	Контраст	T_{141}	Давление на верхней границе
$T_{85} - T_{88}$	Кластерное затенение	T_{142}	Эффективная излучательная способность
$T_{89} - T_{92}$	Кластерная рельефность	T_{143}	Температура нижней границы
SADH		T_{144}	Испаряемость
$T_{93} - T_{96}$	Математическое ожидание		

Методика исследования характеристик облачности

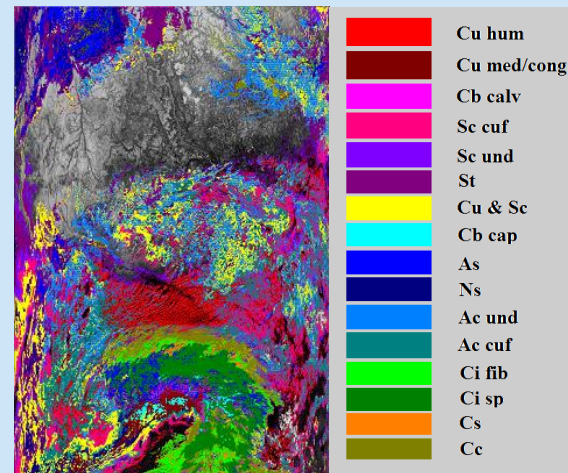
1) Выполняется процедура классификации облачности по спутниковым снимкам MODIS выбранного региона, полученных за продолжительный период времени.



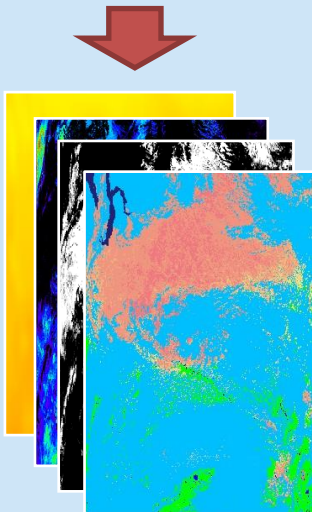
Исходное изображение



Нейро-нечеткий классификатор



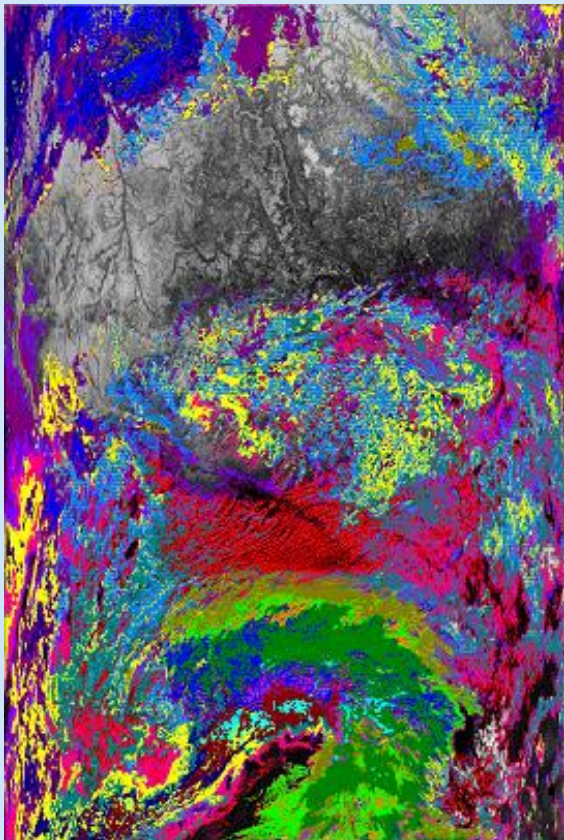
Результат классификации



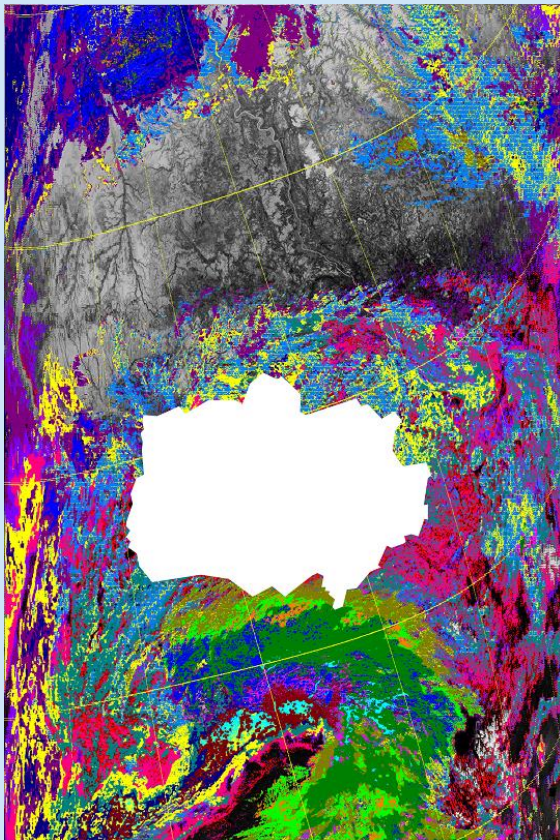
«Летняя» модель
облаков
«Зимняя» модель
облаков

Для оптически тонких облаков над снегом используется «зимняя» классификация, для остальных – «летняя»

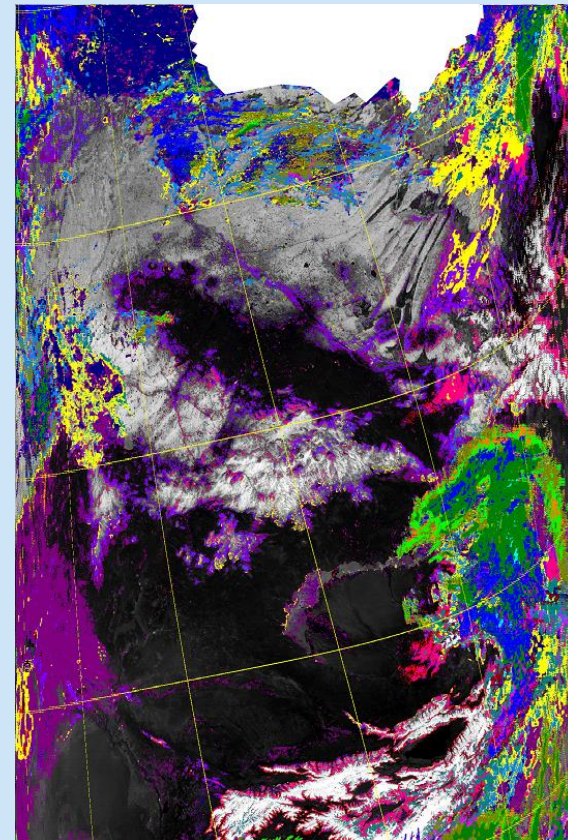
2) На этом этапе на проклассифицированный снимок накладывается маска рассматриваемого региона, используя файлы геопривязки MOD03/MYD03 и его точечных координат.



Результат классификации



Результат наложения контура
(регион полностью на снимке)



Результат наложения контура
(регион частично на снимке)

3) Выполняется оценка повторяемости различных типов облачности в пределах границ исследуемого региона для заданных участков и вычисляются средние значения ее характеристик в каждом из них. Повторяя шаги 1 – 3, обрабатываются все выборочные данные, и формируется сводная база данных с характеристиками различных разновидностей облаков над рассматриваемыми участками целевого региона за год

CloudParameter - [MOD02QKM.A2008124.0550.006.2014222015239]

Файл Подгрузка Улучшение Анализ Фронты Атмосферные волны Вид Окно Справка

Характеристики облаков

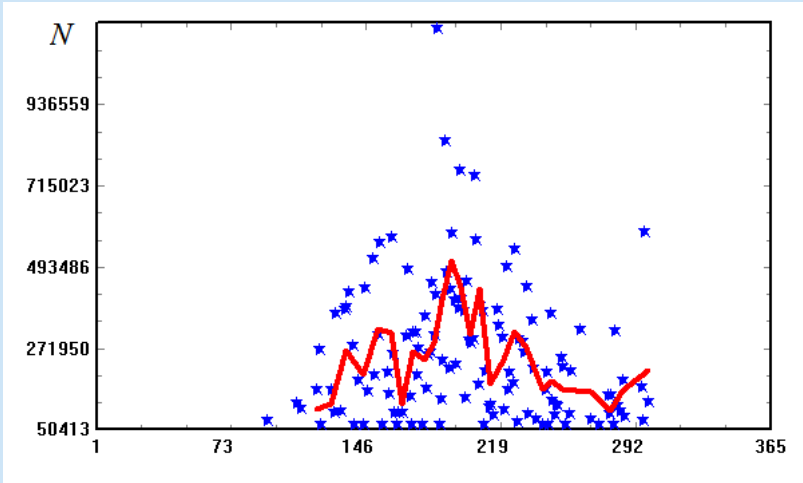
Дата(дд.мм.гггг)	Регион наблюдения	Тип облачности	Повторяемость	Оптическая толщина	Эффективный радиус (мкм)	Водозапас (г/м ²)	Фазовый состав (Оптика)	Фазовый сос
01.01.2017	50°-60°	Высокослоистые	98557	9.10	21.42	486.22	2.74	4.79
01.01.2017	50°-60°	Слоисто-дождевые	115018	28.92	12.52	341.54	2.26	4.93
02.01.2017	50°-60°	Слоисто-кучевые волнистообразные	60885	16.59	9.08	84.85	2.02	1.00
02.01.2017	50°-60°	Высокослоистые	139384	7.54	17.94	646.10	2.76	4.82
02.01.2017	50°-60°	Слоисто-дождевые	208956	32.47	10.47	393.53	2.10	2.65
03.01.2017	50°-60°	Высокослоистые	250975	11.98	24.83	173.65	2.97	3.81
03.01.2017	50°-60°	Слоисто-дождевые	157810	24.94	14.63	245.17	2.89	5.34
03.01.2017	50°-60°	Перисто-слоистые	131179	5.98	30.93	92.16	3.01	2.44
04.01.2017	50°-60°	Высокослоистые	233014	5.00	34.82	170.62	3.01	2.89
04.01.2017	50°-60°	Слоисто-дождевые	154286	22.63	13.75	303.38	2.32	5.47
05.01.2017	50°-60°	Слоисто-кучевые волнистообразные	58737	15.92	9.54	84.37	2.00	1.00
05.01.2017	50°-60°	Высокослоистые	91107	4.04	23.79	478.73	2.89	4.32
05.01.2017	50°-60°	Слоисто-дождевые	141252	13.22	13.36	335.89	2.23	2.42
06.01.2017	50°-60°	Слоистые	454618	8.66	27.89	123.84	2.82	4.82
07.01.2017	50°-60°	Перисто-слоистые	99207	6.35	26.39	98.69	3.00	2.00
08.01.2017	50°-60°	Высокослоистые	475968	3.10	34.53	192.97	3.03	3.79
08.01.2017	50°-60°	Слоисто-дождевые	55355	11.63	20.31	444.42	2.84	4.68
08.01.2017	50°-60°	Перисто-слоистые	55198	1.77	29.36	31.34	3.02	2.28
09.01.2017	50°-60°	Высокослоистые	402277	7.52	33.11	693.27	3.11	3.95
09.01.2017	50°-60°	Слоисто-дождевые	116634	18.74	15.83	1030.08	3.23	5.02
10.01.2017	50°-60°	Высокослоистые	66498	2.97	30.11	364.11	2.89	5.30
10.01.2017	50°-60°	Слоисто-дождевые	57839	7.75	30.45	715.24	3.03	5.15
11.01.2017	50°-60°	Высокослоистые	149058	3.93	26.57	223.84	2.93	3.84
11.01.2017	50°-60°	Слоисто-дождевые	131295	17.30	12.65	196.91	2.31	3.51
12.01.2017	50°-60°	Высокослоистые	148539	6.16	30.28	844.71	3.06	5.87
12.01.2017	50°-60°	Слоисто-дождевые	313246	8.22	13.10	316.30	2.38	5.69
12.01.2017	50°-60°	Высококучевые волнистообразные	122238	11.03	28.88	146.18	2.68	5.96

Год: [] Регион: [] Тип облачности: []

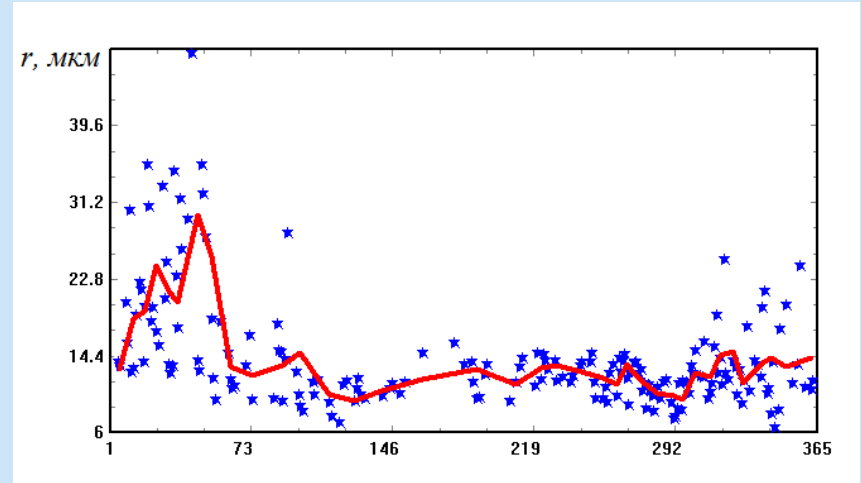
Сохранить данные в текстовый файл Построить график Закрыть

Готово NUM

Результаты применения методики

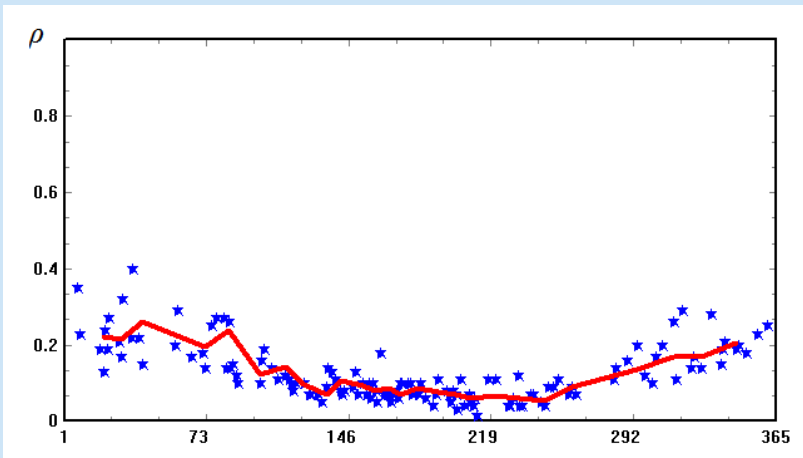


Годовой ход повторяемости Cu hum

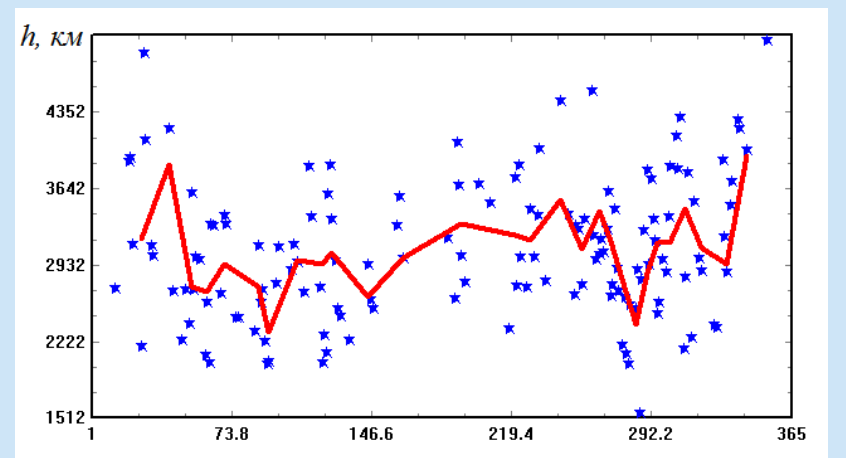


Годовой ход эффективного радиуса частиц Ns

50° – 60°



Годовой ход коэффициента отражения Cs



Годовой ход высоты верхней границы As und

Результаты применения методики

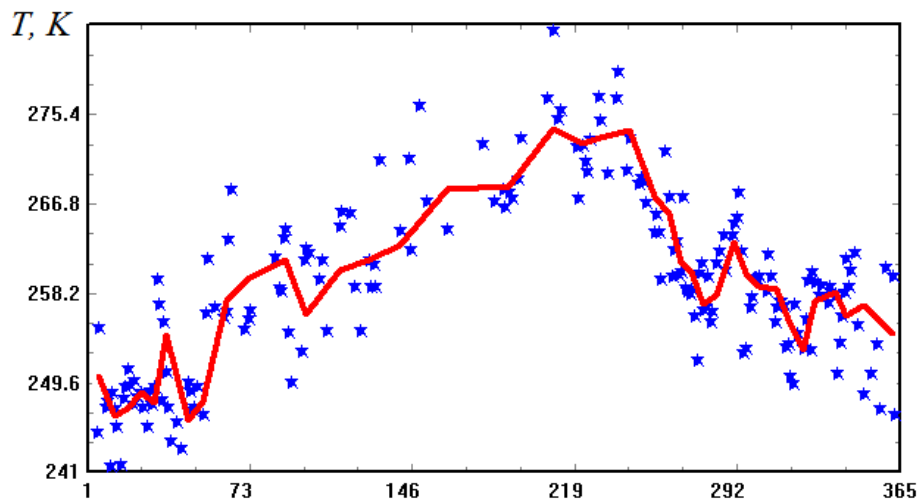
Наиболее повторяющиеся типы облачности над Томской областью в 2017 году

Зона (50°–60°)	Зона (60°–70°)
Слоисто-дождевые (191 день)	Слоисто-дождевые (65 дней)
Слоисто-кучевые кучевообразные (155)	Высокослоистые (37)
Высококучевые волнистообразные (141)	Кучевые плоские (33)
Перисто-слоистые (134)	Слоисто-кучевые кучевообразные (30)
Кучевые плоские (131)	Перисто-слоистые (20)

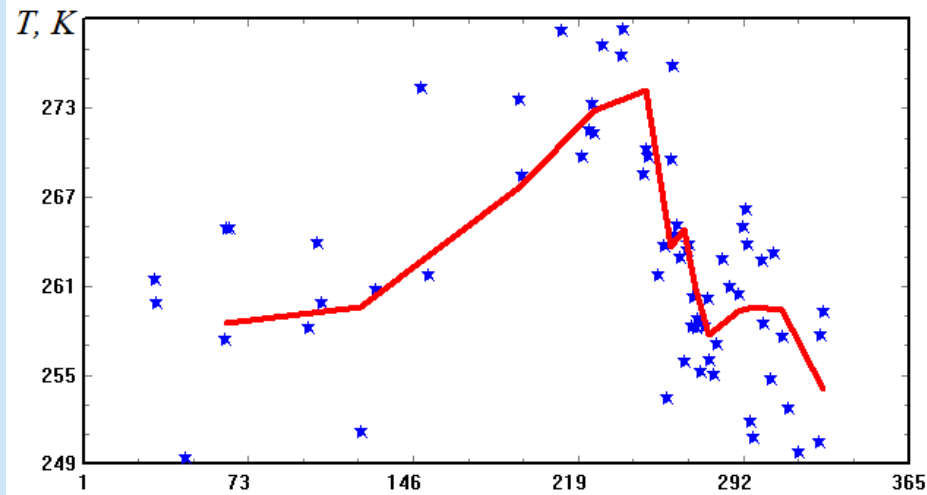
Выводы:

- высокая повторяемость облаков слоисто-образных форм свидетельствует о преобладании процессов медленного поднятия воздушных масс и их растекания;
- значительное количество дней наблюдения высококучевых волнистообразных облаков указывает на регулярную генерацию волн Кельвина-Гельмгольца, несмотря на отсутствие в регионе больших перепадов высот;
- тенденция встречаемости облачности различных типов достаточно хорошо согласуется для широтных зон 50° – 60° и 60° – 70°;
- можно предположить, что высокая повторяемость слоисто-дождевых и высокослоистых облаков связана с регулярным прохождением атмосферных фронтов.

Результаты применения методики



Годовой ход высоты верхней границы Ns над широтной зоной 50° – 60°

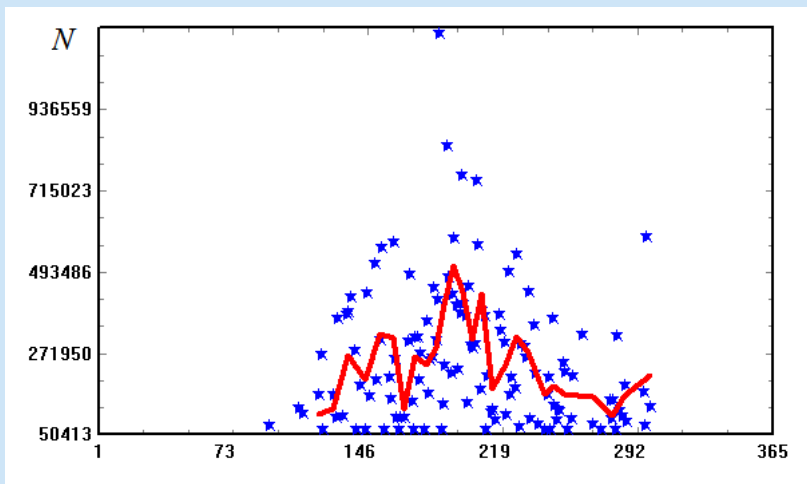


Годовой ход высоты верхней границы Ns над широтной зоной 60° – 70°

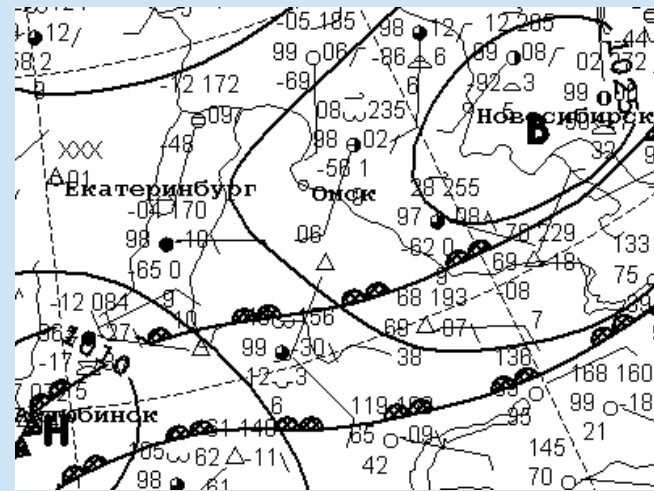
Выводы:

- значения температуры верхней границы Ns в среднем ниже на 2K в широтной зоне 60° – 70°, чем в 50° – 60°;
- для других наиболее повторяющихся типов облачности наблюдается аналогичная тенденция, что подтверждает результаты, проведенные в [1] для общей облачности.

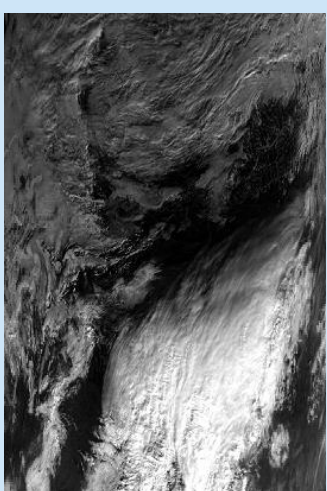
Результаты применения методики



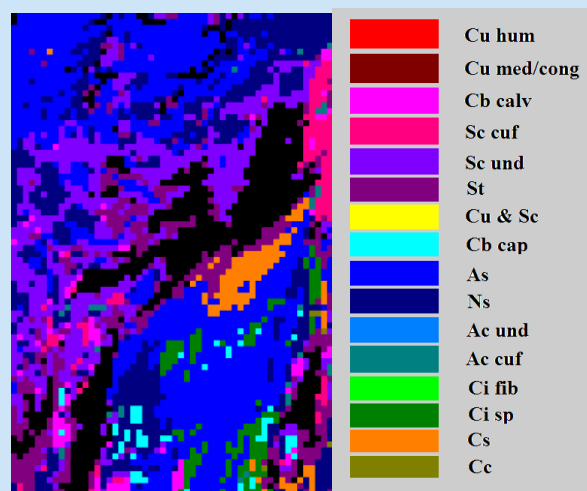
Годовой ход повторяемости Cu hum в зоне 50° – 60°



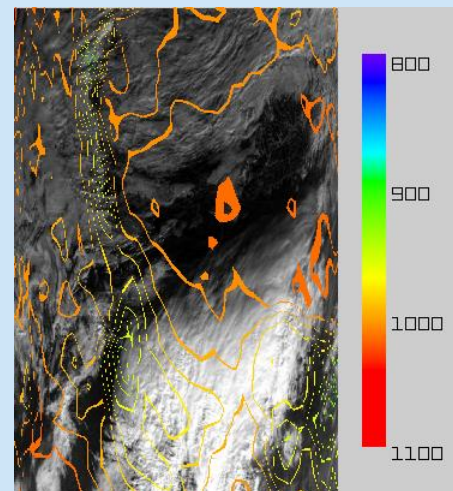
Фрагмент синоптической карты от 23.10.2017 г



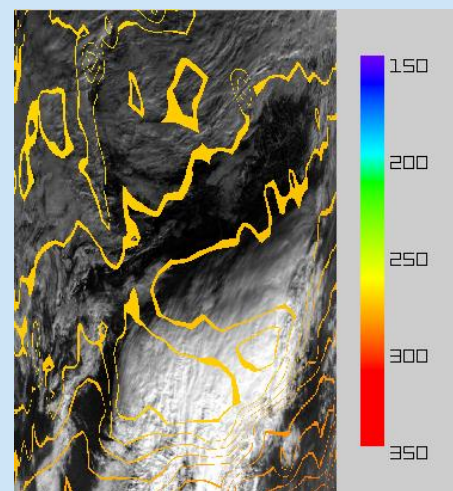
Исходный снимок



Типы облачности



Изобары



Изотермы

Выводы

- Предложена методика исследования региональных и сезонных вариаций повторяемости различных типов облачности и их характеристик над определенной территорией на основе результатов спутниковой съемки;
- Разработана программная система, которая позволяет выполнять полный цикл исследований, начиная от просмотра и визуализации спутниковых данных и заканчивая получением статистической информации о флуктуациях значений различных параметров облачности;
- Использование предложенной методики способствует определению межгодовой изменчивости структуры облачности над исследуемым регионом, что позволит оценить взаимосвязь между происходящими процессами в системе «атмосфера – подстилающая поверхность» и роль облаков в региональных климатических изменениях.
- Результаты применения методики для различных регионов планеты совместно с данными других измерений, например, лидарного зондирования способствует определению вклада каждого из них в климатическую систему Земли.

Скороходов Алексей Викторович

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

+7-923-401-60-70

E-mail: vazime@yandex.ru