

# Структура многослойной облачности над Западной и Восточной Сибирью в летний и зимний сезоны за период 2006-2023 гг по данным CALIPSO

Скороходов А.В., Курьянович К.В.

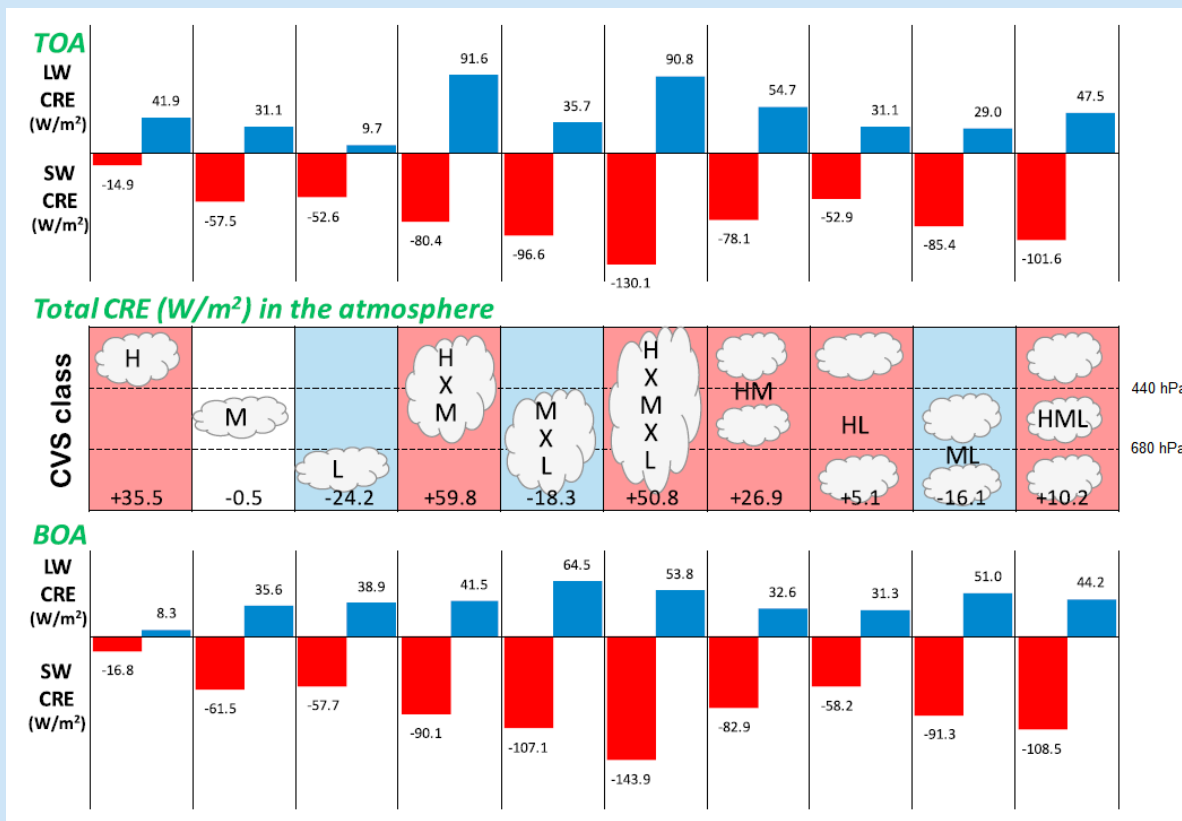
# Актуальность задачи

## Радиационные эффекты облаков

**1** Отдельные типы (одн.)

**2** Абстрактные типы (мног.)

Отдельные типы (мног.)



<sup>1</sup>Chen T., Rossow W. B., Zhang Y. Radiative effects of cloud-type variations //Journal of climate. 2000. V. 13(1). pp. 264-286. doi: 10.1175/1520-0442(2000)013<0264:REOCTV>2.0.CO;2

<sup>2</sup>Oreopoulos L., Cho N., Lee D. New insights about cloud vertical structure from CloudSat and CALIPSO observations // J. Geophys. Res. Atmos. 2017. V. 122. pp. 9280–9300. doi:10.1002/2017JD026629.

# Сложность задачи

## Наземные (локальные) инструменты



Сканирующие лидары

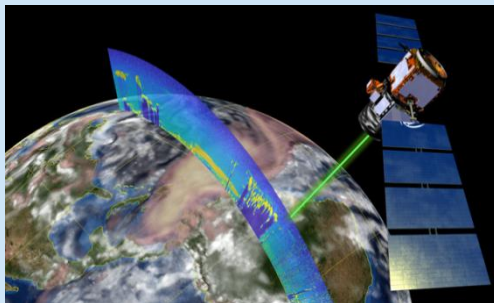


Доплеровские радиолокаторы

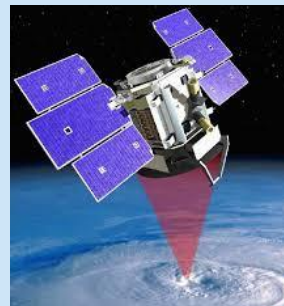


Метеозонды

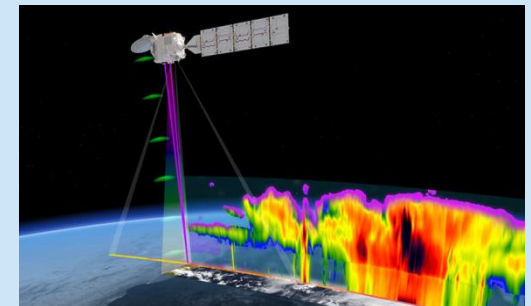
## Спутниковые (глобальные) инструменты



CALIPSO (2006 - 2023)

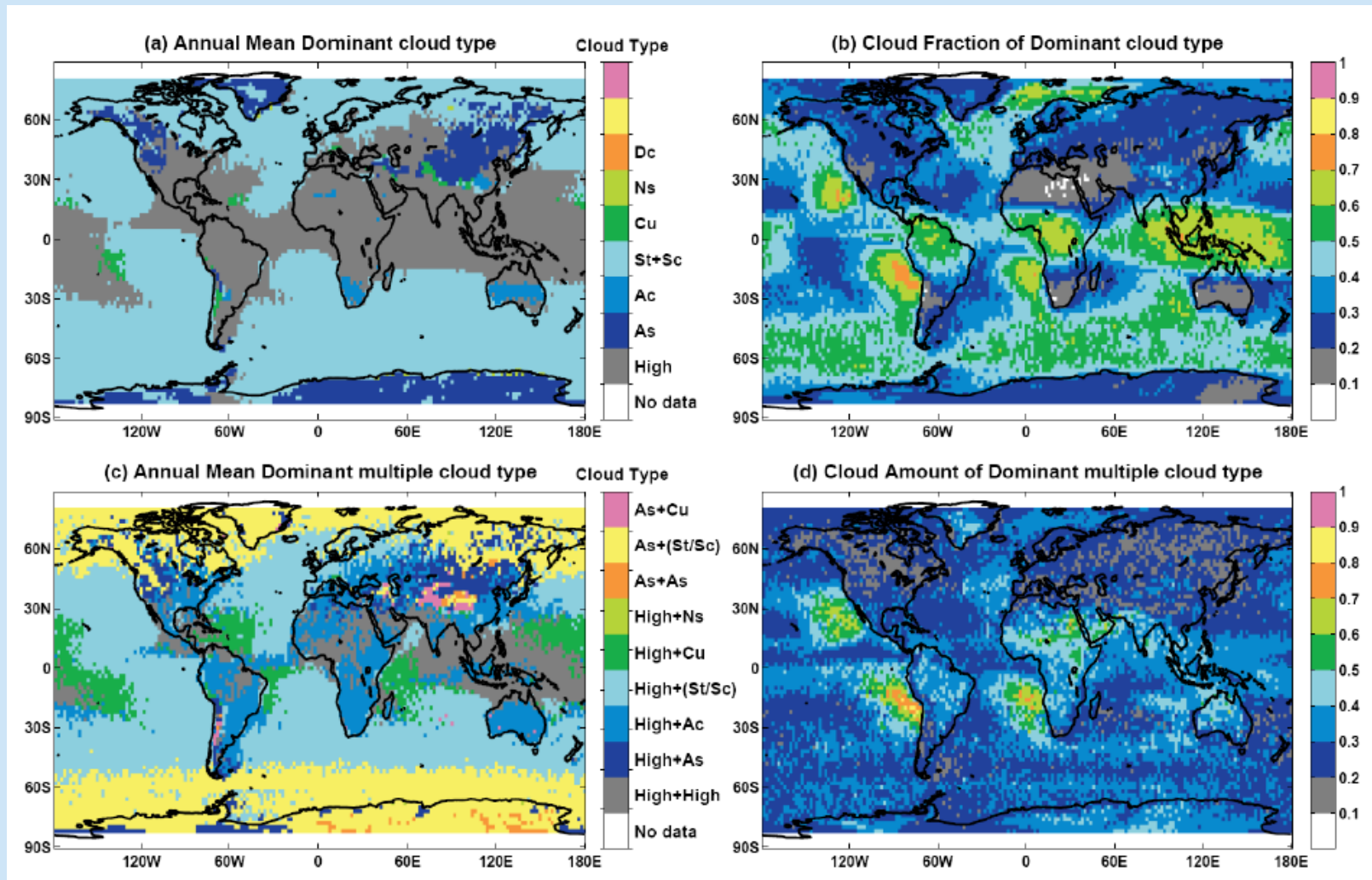


CloudSat (2006 - 2023)



EarthCARE (2024 - н.в.)

# Современное состояние



## Цель работы

Исследование многолетней изменчивости структуры многослойной облачности над Западной ( $49 - 77^\circ$  с.ш. и  $62 - 90^\circ$  в.д.) и Восточной ( $49 - 77^\circ$  с.ш. и  $90 - 132^\circ$  в.д.) Сибирью в летний и зимний сезоны по данным CALIPSO за период 2006-2023 гг. в дневное время суток

### Пояснения и ограничения:

- результаты сканирования CloudSat не используются из-за их более низкого (480 м) вертикального разрешения по сравнению с CALIPSO (30/60 м), а также большого количества пропусков в данных вследствие часто возникающих аномалий оборудования на нем;
- под многослойной облачностью в данной работе понимается наличие расположенных друг под другом слоев облаков, между которыми присутствуют безоблачные участки;
- рассматривается многослойная облачность с оптической толщиной меньше 15 из-за ограниченных возможностей лазерного зондирования;
- данные CALIPSO приведены к единому вертикальному разрешению – 60 м.

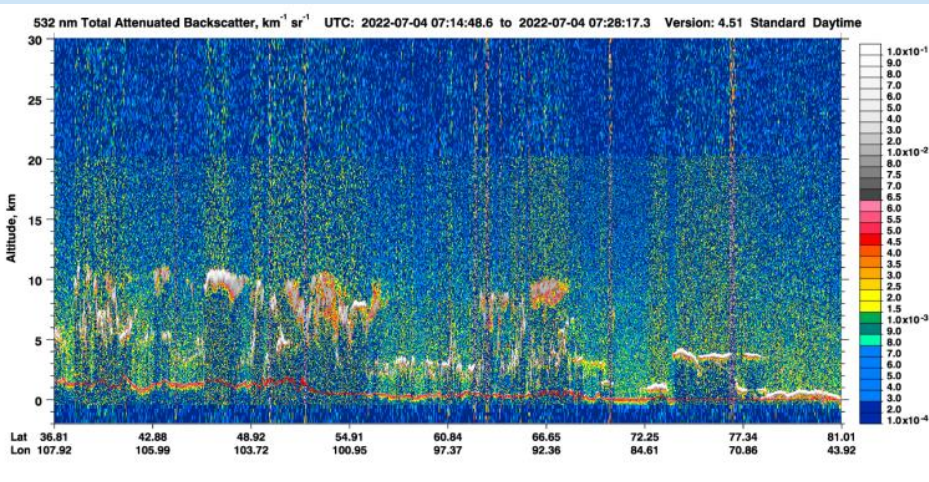


## Используемая классификация облачности

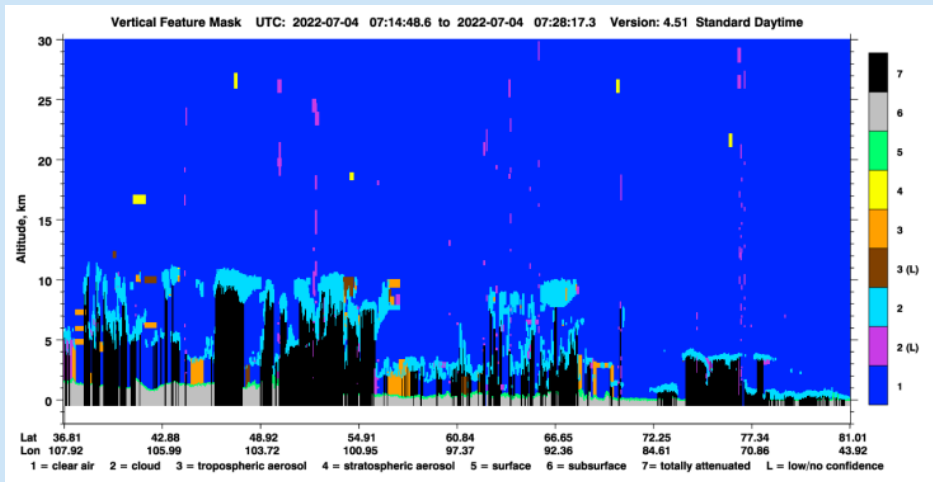


Код	Название (продукт CAL_LID_L2_VFM-Standard-V4-51)
0	Сплошная просвечивающая облачность нижнего яруса
1	Сплошная непросвечивающая облачность нижнего яруса
2	Просвечивающие слоисто-кучевые облака
3	Низколежащие кучевые разорванные облака
4	Просвечивающие высококучевые облака
5	Непросвечивающие высокослоистые облака
6	Просвечивающие облака верхнего яруса
7	Облака глубокой конвекции

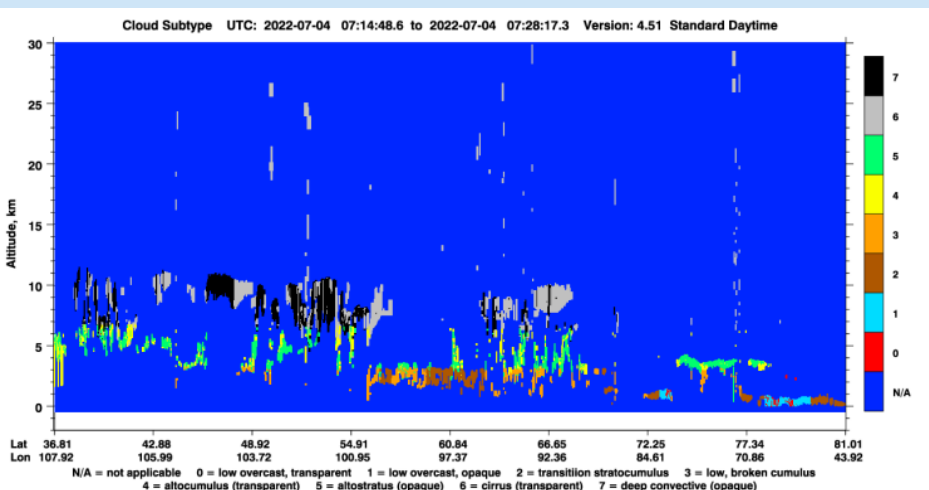
# Методика анализа



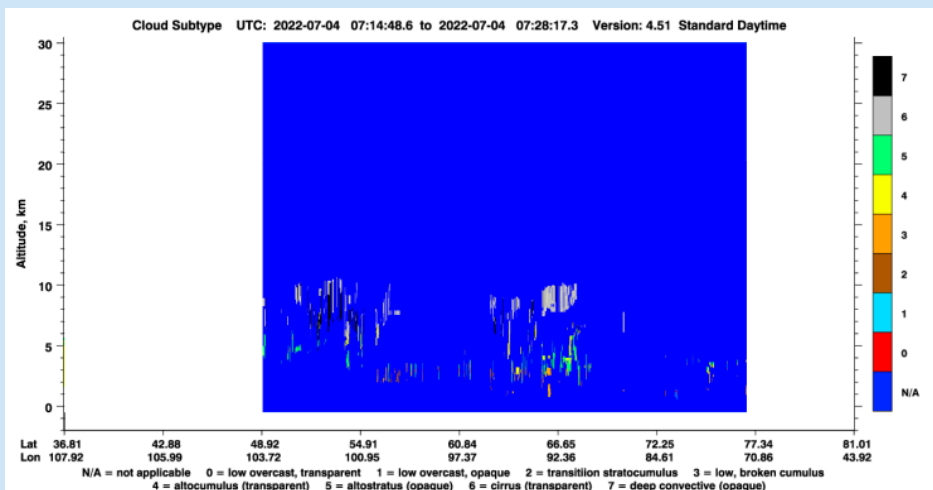
Полное обратное рассеяние



Маска вертикальных слоев атмосферы



Маска типов облачности



Результат выделения многослойной облачности над целевыми регионами

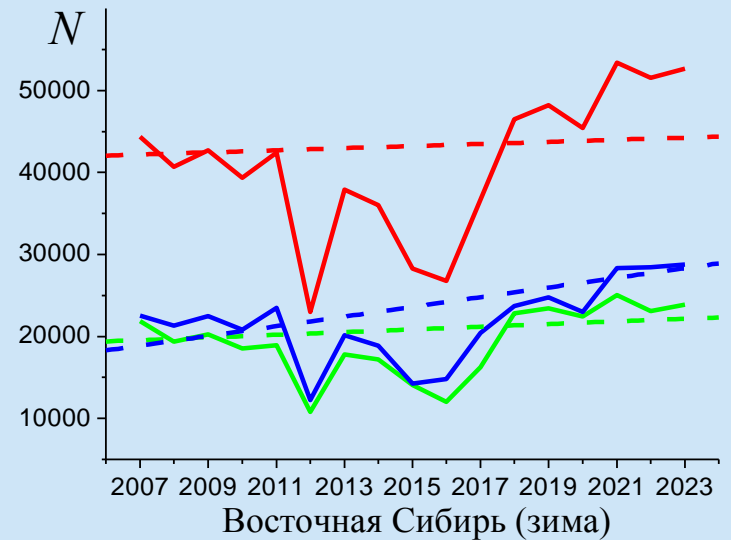
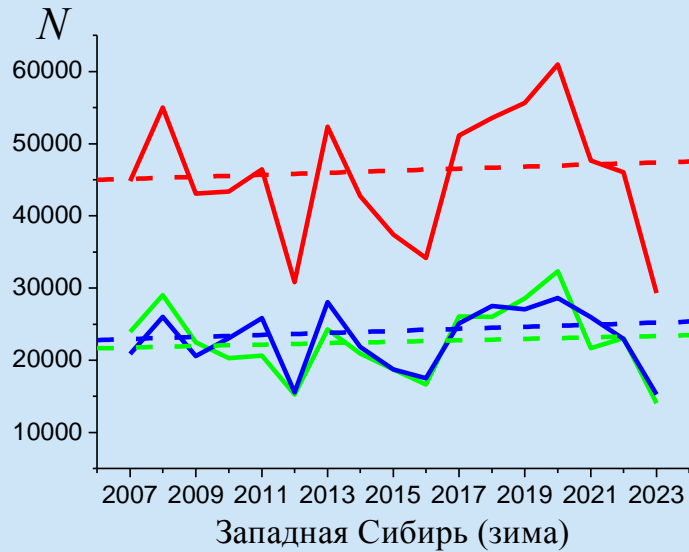
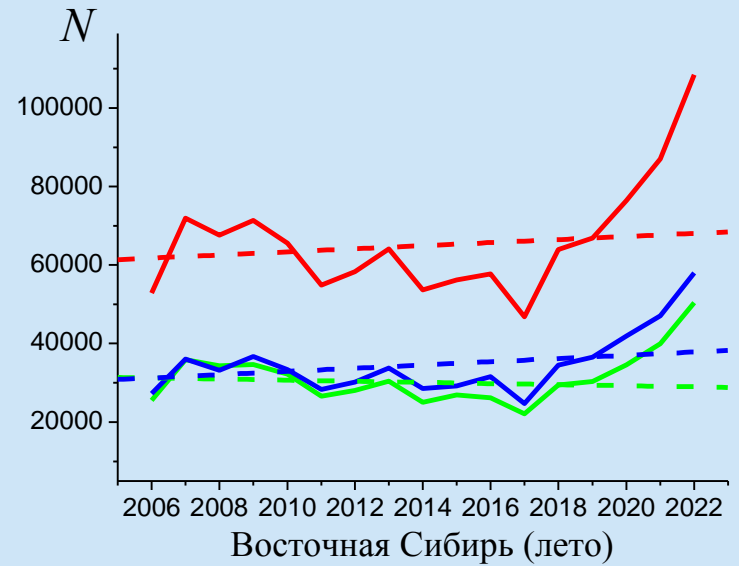
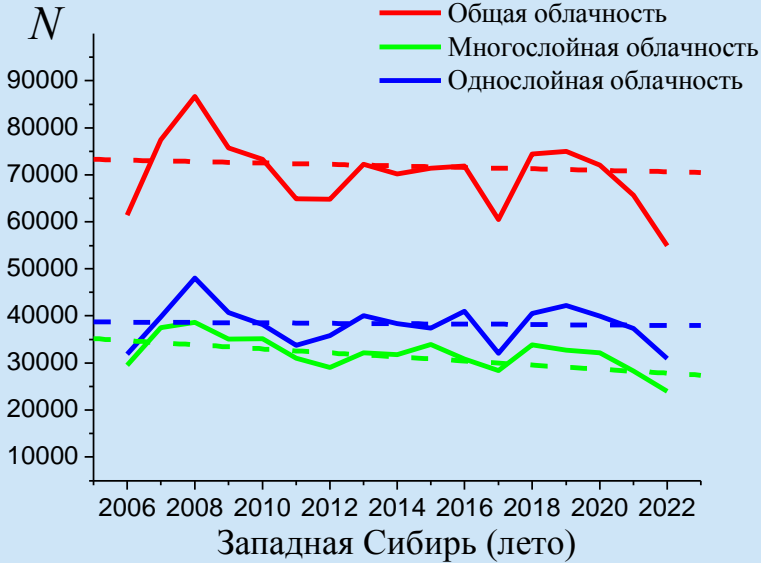
- 1) Образцы многослойной облачности группируются по сезонам и годам;
- 2) Вычисляются сезонные значения количества наблюдений однослойной ( $N_S$ ), многослойной ( $N_M$ ) и общей ( $N_A$ ) облачности, сезонные доли покрытия целевых регионов облаками  $v_i = n_i / N_M * 100\%$  с числом слоев  $i = 2, \dots, 5$ , а также сезонные доли всех возможных сочетаний разновидностей облаков в многослойной облачности  $v(mix) = n(mix) / N_M * 100\%$ , где  $n_i$  и  $n(mix)$  - количество наблюдений соответствующих групп облаков;
- 3) Строятся временные ряды этих характеристик, определяются тренды  $v(mix)$ , оценивается их значимость с помощью непараметрического теста Манна-Кендалла, а также находятся оценки этих трендов по

$$\Delta_v(mix) = \frac{a_v \Delta t}{\langle v(mix) \rangle},$$

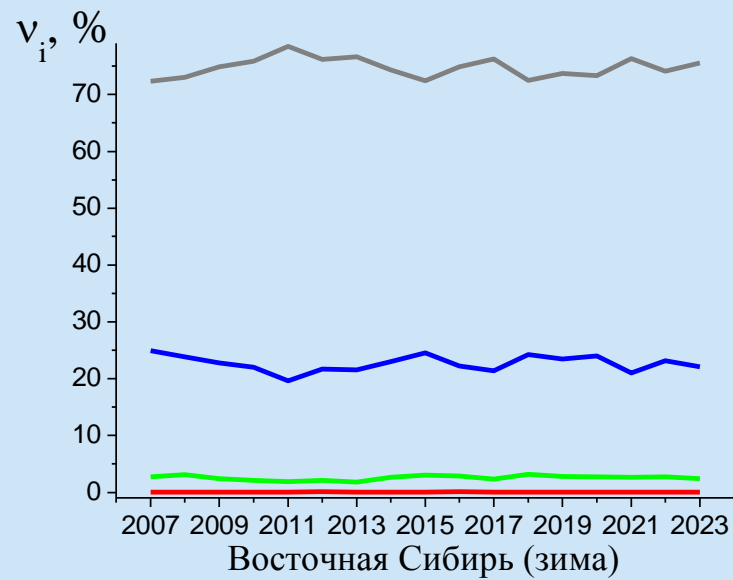
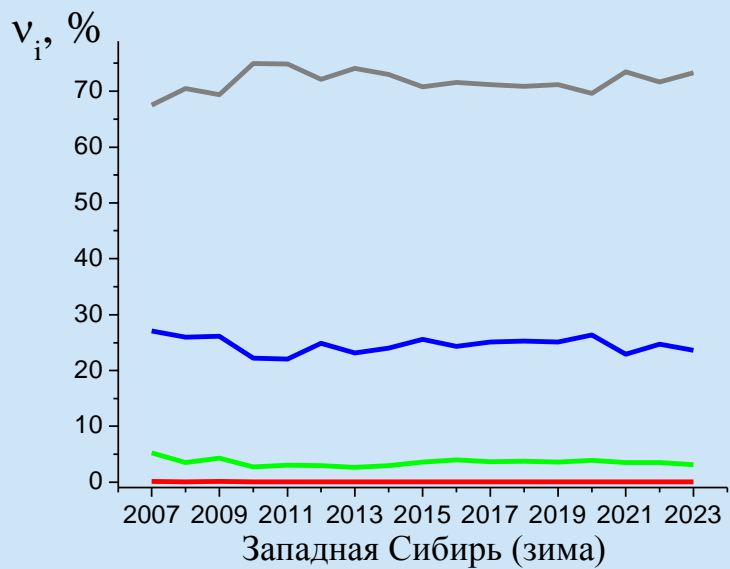
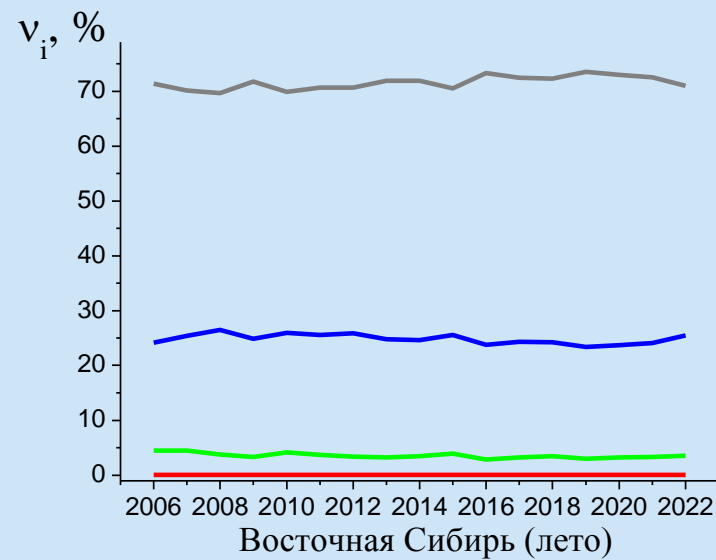
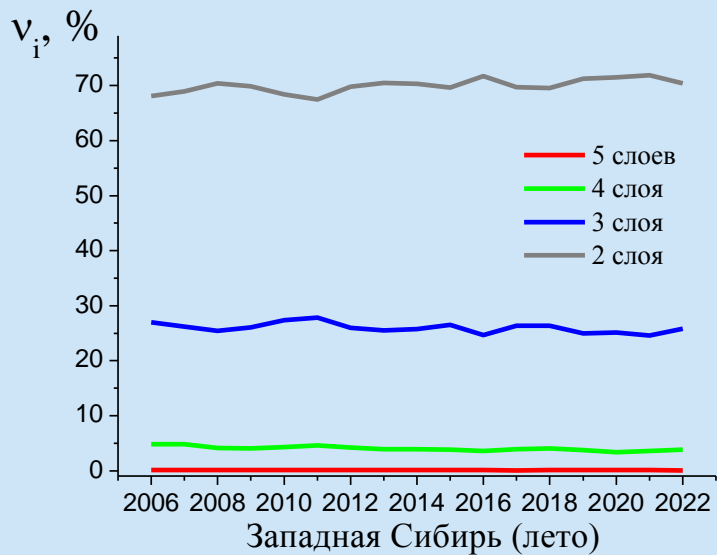
где  $a_v$  - угловые коэффициенты линейного тренда, найденные методом Тейла-Сена на основе многолетних данных  $v(mix)$ , а  $\langle v(mix) \rangle$  - оценка среднего за исследуемый промежуток времени. По стандартам Росгидромета  $\Delta t = 10$  лет.



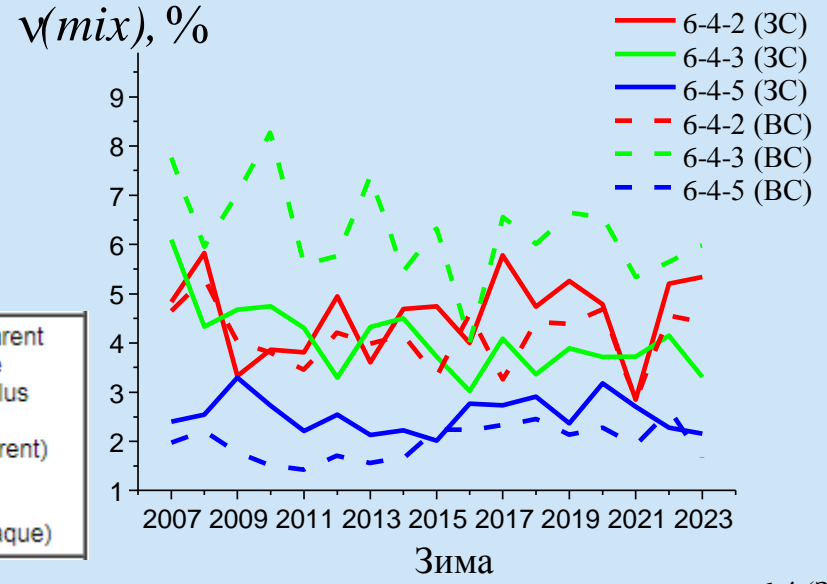
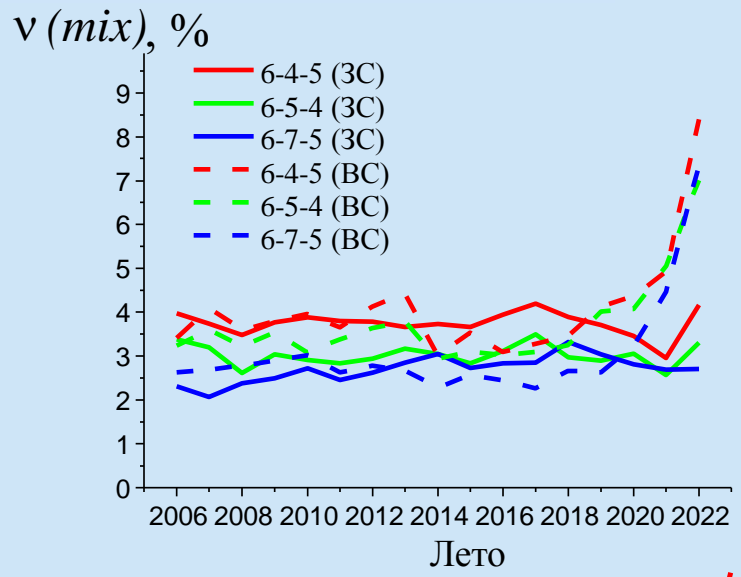
## Результаты анализа (облачность в целом)



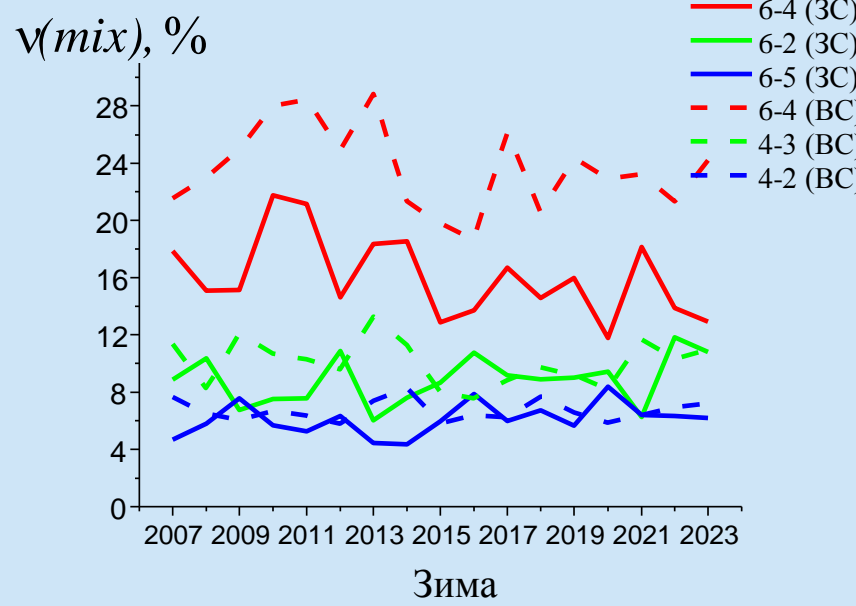
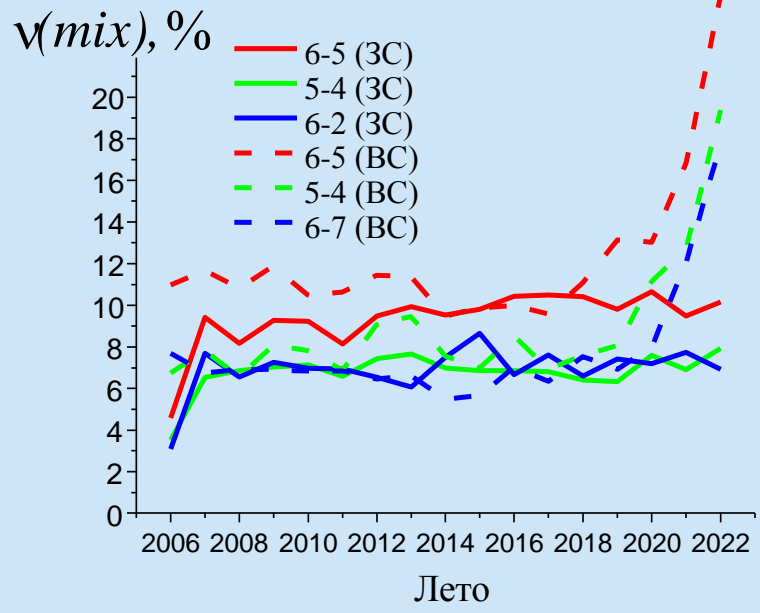
## Результаты анализа (облачность по слоям)



## Результаты анализа (облачность по слоям и типам)



0 = low overcast, transparent  
 1 = low overcast, opaque  
 2 = transition stratocumulus  
 3 = low, broken cumulus  
 4 = altocumulus (transparent)  
 5 = altostratus (opaque)  
 6 = cirrus (transparent)  
 7 = deep convective (opaque)



## Результаты анализа (характеристики трендов)

Сочетание облаков	$\Delta_v(\text{mix}) / \langle v(\text{mix}) \rangle, \% / \sum n(\text{mix})$			
	Западная Сибирь		Восточная Сибирь	
	Лето	Зима	Лето	Зима
6-4-2	–	H / 4.6 / 17693	–	H / 4.1 / 13359
6-4-3	–	-0.19 / 4.1 / 15800	–	-0.13 / 6.2 / 20642
6-4-5	0.02 / 3.8 / 20384	H / 2.5 / 9861	0.15 / 4.1 / 21786	0.20 / 2.0 / 6541
6-5-4	H / 3.0 / 16397	–	0.16 / 3.7 / 19832	–
6-7-5	0.16 / 2.7 / 14655	–	0.07 / 3.1 / 16255	–
0-1	-0.12 / 2.6 / 14533	–	–	–
1-0	-0.09 / 3.3 / 18872	0.09 / 2.0 / 7581	–	–
4-2	-0.03 / 4.3 / 24411	0.02 / 5.9 / 22546	0.09 / 2.8 / 14711	H / 6.7 / 22119
4-3	0.06 / 3.1 / 17188	-0.03 / 5.5 / 21256	0.20 / 3.5 / 18808	-0.05 / 10.1 / 33429
4-5	0.04 / 5.6 / 31455	0.12 / 2.5 / 9529	0.35 / 6.6 / 34968	0.08 / 2.4 / 7867
5-3	–	–	0.24 / 2.5 / 13102	–
5-4	0.12 / 6.8 / 38047	0.15 / 3.3 / 12321	0.29 / 8.9 / 47269	0.09 / 3.3 / 10846
6-1	–	H / 4.5 / 17267	–	–
6-2	0.06 / 6.9 / 38693	0.18 / 8.9 / 33832	0.13 / 5.3 / 28473	H / 6.6 / 21280
6-3	0.09 / 4.0 / 21995	-0.07 / 3.2 / 12380	0.24 / 4.5 / 24132	0.08 / 3.8 / 12388
6-4	0.06 / 5.1 / 28568	-0.18 / 16.1 / 61951	0.06 / 6.5 / 35045	-0.04 / 23.7 / 77618
6-5	0.13 / 9.4 / 52348	0.11 / 6.1 / 23510	0.11 / 12.2 / 65074	0.09 / 4.0 / 13082
6-7	0.28 / 5.6 / 31404	0.03 / 5.2 / 20184	0.08 / 7.8 / 41127	0.10 / 5.1 / 16613
7-6	0.24 / 3.7 / 20446	0.03 / 2.4 / 9132	0.11 / 4.4 / 23118	0.08 / 2.9 / 9496

**Примечание:**

«–» обозначает низкую повторяемость, если  $\langle v(\text{mix}) \rangle < 2\%$

«H» обозначает нейтральный тренд повторяемости, если  $|\Delta_v(\text{mix})| < 0,02$

0 = low overcast, transparent  
 1 = low overcast, opaque  
 2 = transition stratocumulus  
 3 = low, broken cumulus  
 4 = altocumulus (transparent)  
 5 = altostratus (opaque)  
 6 = cirrus (transparent)  
 7 = deep convective (opaque)

## Основные выводы

- 1) Статистически значимо увеличивается только число многослойных облаков летом над Западной Сибирью;
- 2) Доля двухслойных облаков в многослойной облачности в обоих регионах составляет 70% летом и 75% зимой, трехслойных - 25% в оба сезона, а четырех- и пятислойных - меньше 5% вместе взятых;
- 3) Наиболее повторяющиеся комбинации типов облаков в трехслойной облачности совпадают в обоих регионах, а в двухслойной – различаются. При этом самыми распространенными типами облаков в этих комбинациях являются просвечивающие перистые и высококучевые;
- 4) Статистически значимо летом над Западной Сибирью увеличивается доля многослойной облачности, включающую облака верхнего яруса, а над Восточной Сибирью – среднего яруса;
- 5) В целом над обоими регионами наблюдается увеличение числа наиболее повторяющихся в каждом из них сочетаний облаков, за исключением зимнего сезона в Восточной Сибири.

Скороходов Алексей Викторович [vazime@yandex.ru](mailto:vazime@yandex.ru), тел. +7 923 401 60 70

Курьянович Ксения Викторовна [ksuyain@mail.ru](mailto: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*