

ЛЕТНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАЧНОСТИ ДЛЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ MODIS

Астафуров В.Г., Скороходов А.В., Курьянович К.В.
astafurov@iao.ru, vazime@yandex.ru, ksuyain@mail.ru

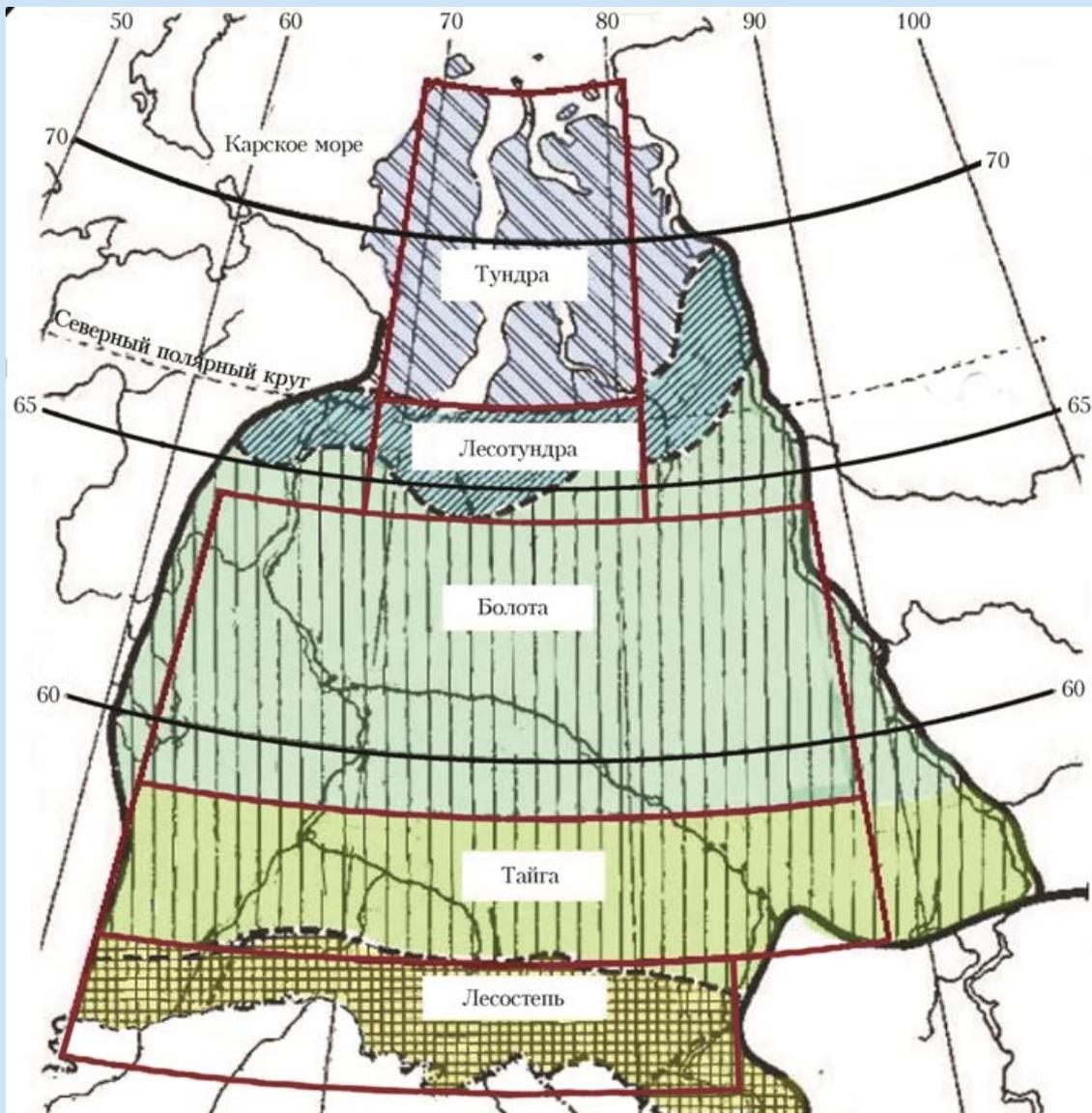
Работа выполнена в рамках государственного задания ИОА СО РАН (рег. № НИОКТР АААА-А17-117021310142-5).

Одной из основных составляющих климатической системы Земли является глобальное поле облачности, характеристики которого зависят от региона и его природных условий. Западная Сибирь охватывает одновременно несколько зон, включая тундру, лесотундру, болота, тайгу и лесостепь, климатические условия которых существенно отличаются, что сказывается на характеристиках и структуре облачных полей. Представлены статистические модели различных типов облачности в летнее время для двух регионов Западной Сибири: «север» – территория выше 65° северной широты и «юг» – ниже 60° северной широты.

Целью работы является исследование статистических характеристик физических параметров и текстурных признаков различных типов облачности в летнее время для южной и северной зон Западной Сибири по данным MODIS и построение модели.

Исследуемый регион

Характеристики различных типов облачного покрова над территорией Западной Сибири получены в летние месяцы (июнь, июль и август) для 14 типов облаков по ежедневным данным MODIS за 2010 – 2019 г. Для каждого типа облачности сформированы фрагменты изображений размером 20x20 пикселей, по которым рассчитаны значения 132 текстурных признаков и одновременно определены соответствующие значения 12 физических параметров.



Статистическая модель

Статистическая модель построена на основе двухпараметрических распределений.

Распределение		Распределение	
Вейбулла	I(...)	Эрланга	XII(...)
Гамма	II(...)	Накагами	XIII(...)
Коши	III(...)	Обратное гауссовское	XIV(...)
Лог-логистическое	IV(...)	Хи-квадрат	XV(...)
Логнормальное	V(...)	Экспоненциальное	XVI(...)
Нормальное	VI(...)	Гиперболического синуса	XVII(...)
Релея	VII(...)	Фреше	XVIII(...)
Минимального значения	VIII(...)	Максимального значения	XIX(...)
Лог-Гамма	IX(...)	Райса	XX(...)
Логистическое	X(...)	Парето	XXI(...)
Пирсона	XI(...)		

Фрагмент статистической модели физических параметров

В таблице приведены подобранные по гистограммам распределения с учетом принятых обозначений и их параметры, а также во второй строчке оценки среднего и среднеквадратического отклонения

Облака:			τ	$P, \text{г/м}^2$	$h_{ВГ}, \text{м}$	$r_{эфф}, \text{мкм}$
вертикаль ного развития	<i>Cu cong</i>	С	II(4,79; 13,9) 66,2 / 30,5	XIV(2780; 918) 916 / 518	II(24,5; 169) 4150 / 837	IV(4,78; 14,9) 16,6 / 7,68
		Ю	V(0,41; 4,16) 69,9 / 28,8	IX(159; 0,04) 566 / 589	V(0,17; 8,31) 3079 / 1293	XVIII(3,90; 13,3) 13,9 / 7,08
нижнего яруса	<i>Sc und</i>	С	IX (16,9; 0,16) 18,7 / 14,1	IX (37,9; 0,12) 130 / 102	I(4,13; 1825) 1660 / 428	I (5,35; 11,4) 10,6 / 2,38
		Ю	V (0,66; 2,63) 17,1 / 11,4	V (0,76; 4,35) 104 / 88,1	X (234; 1661) 1660 / 425	IV (6,92; 8,8) 9,14 / 2,54
среднего яруса	<i>Ns</i>	С	XVIII (3,2; 43,8) 57,1 / 26,0	XVIII (3,32; 363) 470 / 212	VI (1020; 3360) 3360 / 1020	IV (7,61; 12,9) 13,3 / 3,26
		Ю	XVIII (3,84; 46,4) 57,1 / 21,4	XVIII (3,5; 366) 450 / 183	VI (1052; 3310) 3310 / 1052	IV (7,81; 12,2) 12,6 / 3,15
верхнего яруса	<i>Ci fib</i>	С	XIII(2,45; 6,21) 2,35 / 0,80	II (5,30; 10,2) 53,7 / 22,8	XIV (7,4E+5; 8,7E+3) 8,7E+3 / 943	VI(11,6; 37,9) 37,5 / 12,2
		Ю	VI(0,66; 2,60) 2,60 / 0,66	XIII (4,70; 4,5E+3) 65,6 / 15,7	XII (40; 234) 9,4E+3 / 1,5E+3	IV (9,56; 41,1) 41,9 / 7,44

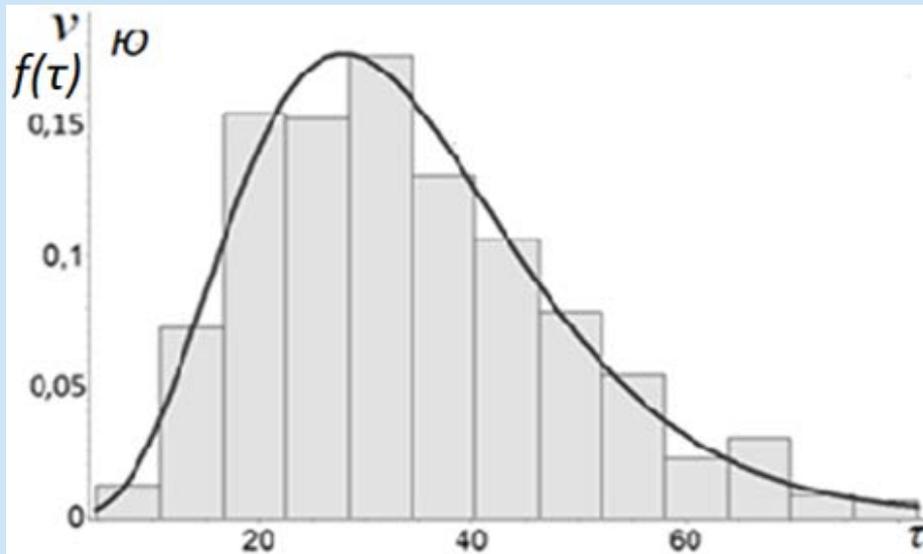
Фрагмент статистической модели текстурных признаков

В таблице приведены подобранные по гистограммам распределения с учетом принятых обозначений и их параметры, а также во второй строчке оценки среднего и среднеквадратического отклонения

Облака:			Энтропия 0° (GLCM)	Контраст 90° (GLDV)	Корреляция 90° (SADH)
нижнего яруса	<i>Sc cuf</i>	С	V(0,48; -2,89) 0,59 / 0,12	XI(2,72; 0,08) 0,04 / 0,03	XIV (205; 0,82) 0,82 / 0,05
		Ю	I(9,10; 0,73) 0,69 / 0,09	VI(0,12; 0,59) 0,06 / 0,03	I (17,6; 0,88) 0,86 / 0,06
	<i>Sc und</i>	С	XIII(1,14; 1,9E-3) 0,51 / 0,10	IV(3,65; 0,027) 0,03 / 0,02	I (8,49; 0,79) 0,75 / 0,10
		Ю	I(5,80; 0,61) 0,57 / 0,11	XIII(7,20; 0,27) 0,04 / 0,02	I (13,6; 0,83) 0,80 / 0,07
среднего яруса	<i>Ns</i>	С	XIV(0,022; 8,68E-3) 0,31 / 0,11	XIV(0,02; 0,01) 0,01 / 0,01	I (11,1; 0,82) 0,79 / 0,08
		Ю	VI(0,11; 0,31) 0,31 / 0,11	I(2,92; 0,35) 0,01 / 0,01	VIII (0,06; 0,85) 0,82 / 0,08
	<i>As</i>	С	XIII(2,82; 0,089) 0,28 / 0,09	XIX(2,0E-3; 4,5E-3) 0,01 / 0,003	VIII (0,07; 0,90) 0,85 / 0,09
		Ю	II(14,5; 0,025) 0,36 / 0,09	XI(4,37; 0,025) 0,01 / 4,1E-3	VIII (4,13; 0,93) 0,90 / 0,05



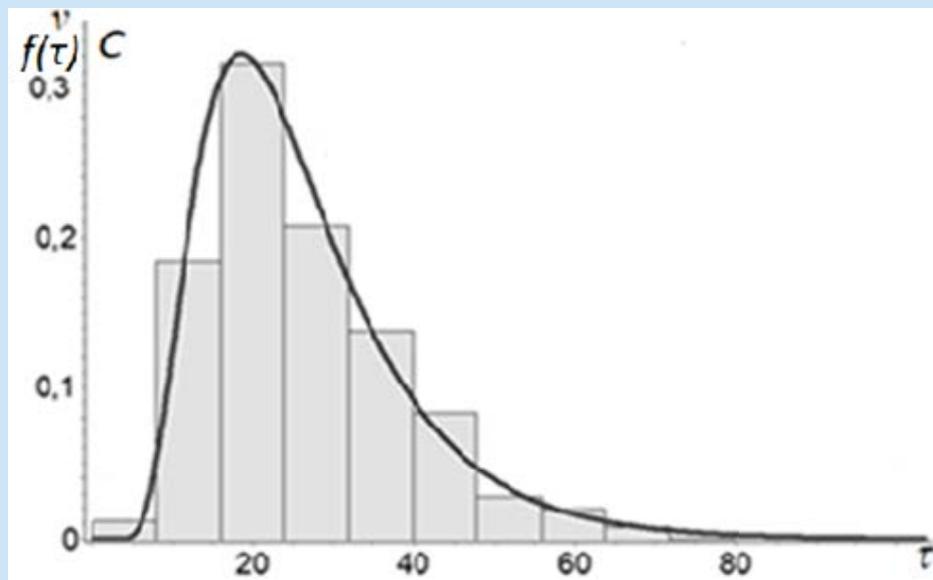
Статистическая модель оптической толщины кучевых средних (*Ci med*) облаков



v – относительная частота,
 $f(x)$ – плотность вероятностей

Гамма $\Pi(5,54; 6,15)$
 $m_1 = 34,1 / \sigma = 14,5$

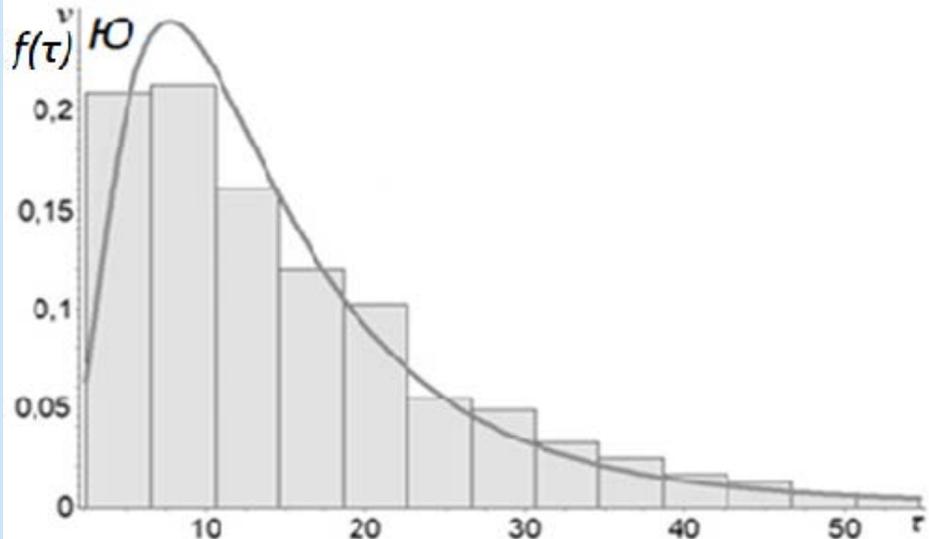
Обратное гауссовское $XIV(109; 26,3)$
 $m_1 = 26,3 / \sigma = 12,9$





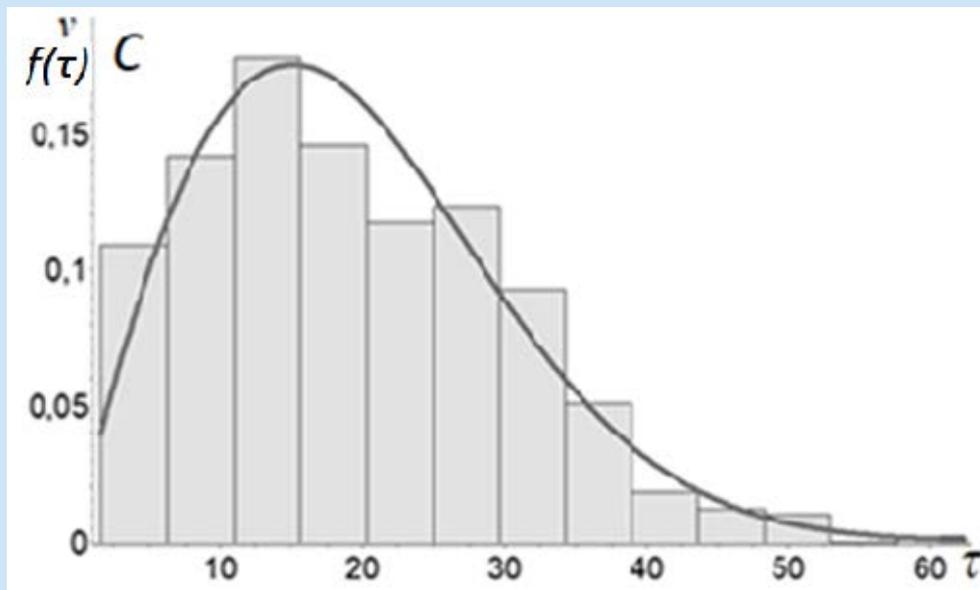
Статистическая модель оптической толщины высокослоистых (A_s) облаков

ν относительная частота, $f(x)$ – плотность вероятностей



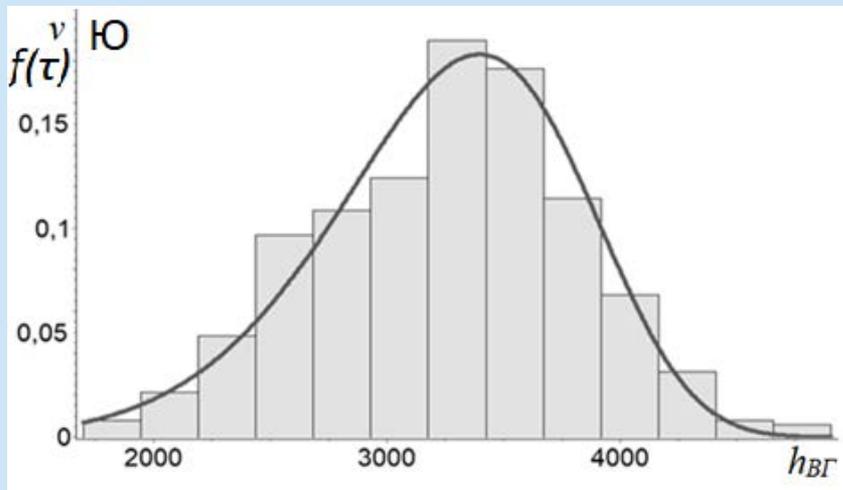
Логнормальное $V(0,67; 2,5)$
 $m_1 = 15,2 / \sigma = 10,2$

Фреше XVIII(0,93; 496)
 $m_1 = 19,2 / \sigma = 10,9$





Статистическая модель высоты верхней границы кучевых средних (*Ci med*) облаков



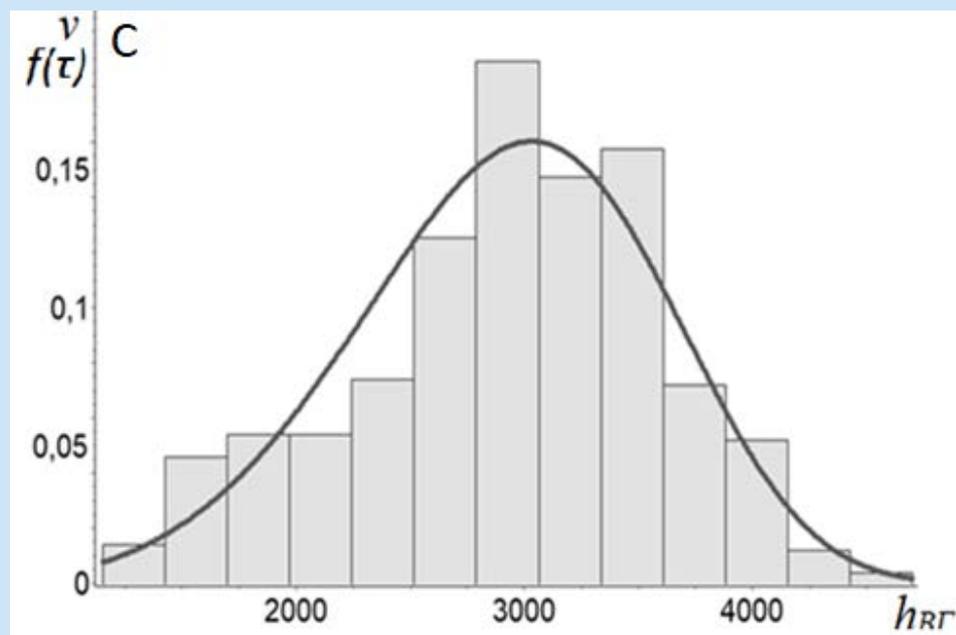
ν – относительная частота,
 $f(x)$ – плотность вероятностей

Вейбулла I(6,95; 3472)

$m_1 = 3230 / \sigma = 550$

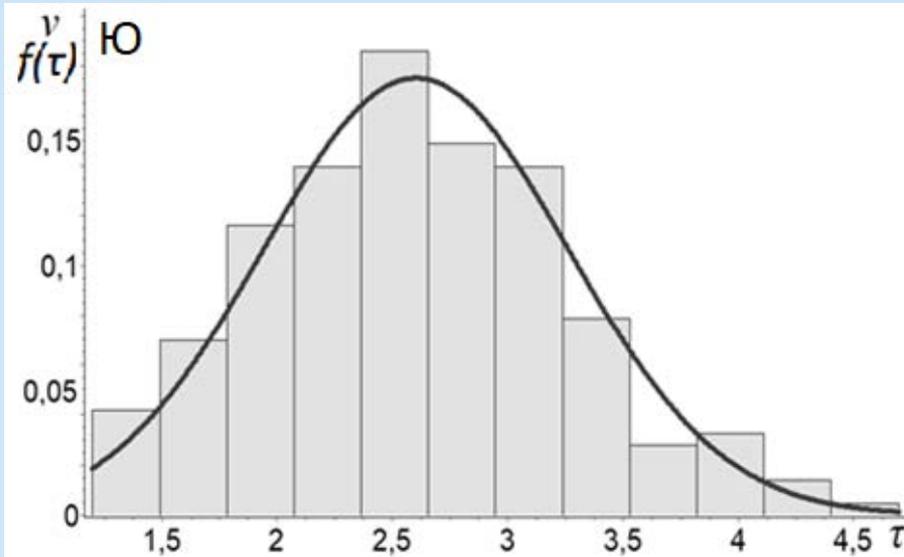
Вейбулла I(4,95; 3172)

$m_1 = 2912 / \sigma = 669$





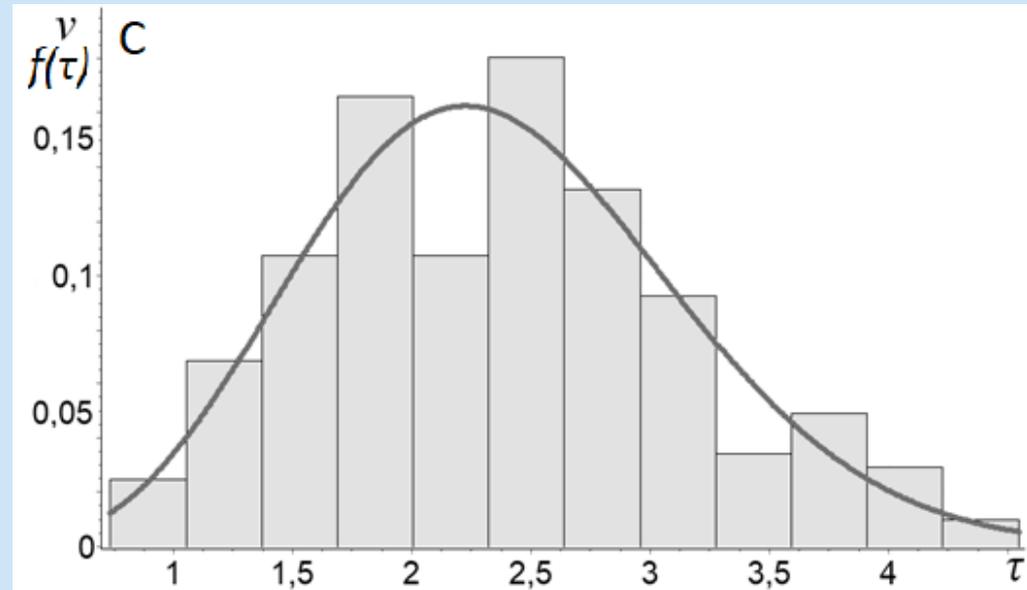
Статистическая модель оптической толщины перистых волокнистых (*Ci fib*) облаков



v – относительная частота,
 $f(x)$ – плотность вероятностей

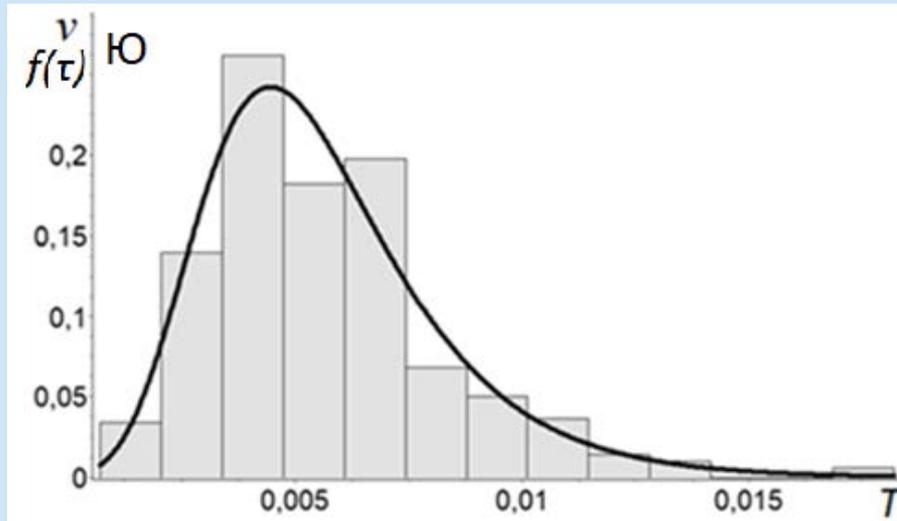
Нормальное $VI(0,66; 2,60)$
 $m_1 = 2,60 / \sigma = 0,66$

Накагами XIII(2,45; 6,21)
 $m_1 = 2,35 / \sigma = 0,80$





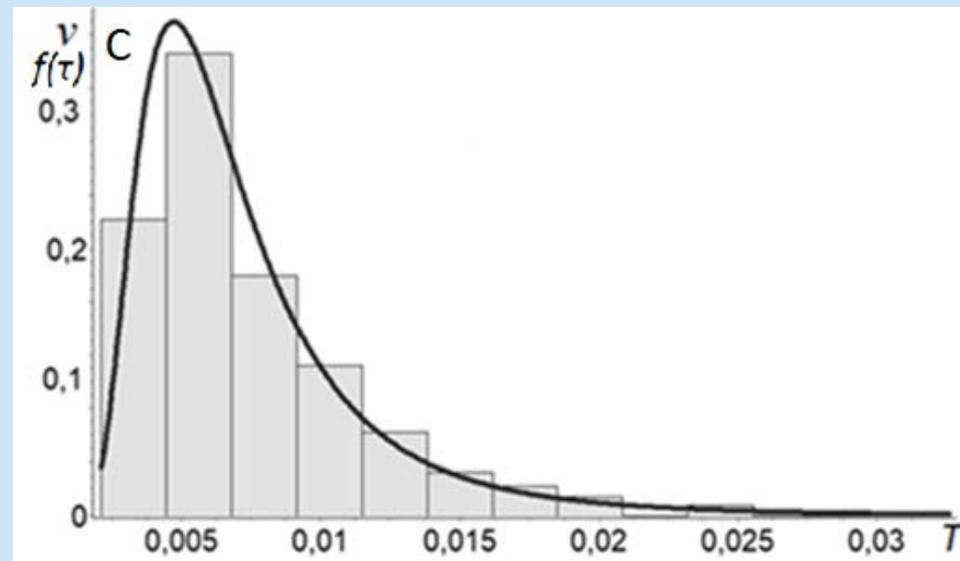
Статистическая модель контраста высокослоистых (A_s) облаков



v – относительная частота,
 $f(x)$ – плотность вероятностей

Пирсона $XI(4,37; 0,025)$
 $m_1 = 0,01 / \sigma = 4,1E-3$

Максимального значения
 $XIX(2,0E-3; 4,5E-3)$
 $m_1 = 0,01 / \sigma = 0,003$



1) Построена статистическая модель физических параметров и текстурных признаков облачности для различных ярусов облачности южной и северной зон Западной Сибири в летние месяцы.

2) В целом по всем типам облачности средние значения оптической толщины и эффективного радиуса частиц, водозапаса больше на севере, чем на юге, а высоты и температуры верхней границы облаков – наоборот.

3) Форма распределений оптической толщины, эффективного радиуса частиц и водозапаса в общем по модели близка к логнормальному, а высоты и температуры верхней границы близки к нормальному.

4) В количественном отношении средняя разница оптической толщины между севером и югом составляет 4, эффективного радиуса частиц 1.7 мкм, водозапаса 11,6 г/м², высоты верхней границы облаков 325,3 м и температуры верхней границы облаков 3,4 К.

5) Полученные модели могут быть использованы при решении задач климатологии и метеорологии, например, для более эффективной настройки алгоритмов распознавания типов облачности при исследовании многолетних трендов характеристик физических параметров облачности, для решения задач метеорологии и климатологии.

Астафуров Владимир Глебович astafurov@iao.ru

Скороходов Алексей Викторович vazime@yandex.ru

Курьянович Ксения Викторовна ksuyain@mail.ru тел. +79138070094

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