

Исследование количества пространственных ориентаций атмосферных частиц на сходимость решения задачи рассеяния света в приближении геометрической оптики

Кан. Н.В.^{1,2}, Кустова Н.В.^{1,2}, Шишко В.А.^{1,2}, Коношонкин А.В.^{1,2}

¹Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

²НИ Томский государственный университет, г. Томск, Россия



Национальный
исследовательский
**Томский
государственный
университет**



**ИНСТИТУТ
ОПТИКИ АТМОСФЕРЫ
им. В.Е. ЗУЕВА СО РАН**



**Российский
научный
фонд**

Исследование выполнено за
счет гранта Российского
научного фонда № 25-17-00087

Актуальность

Для понимания механизма прохождения солнечного света через перистые облака и повышения точности работы спутников системы ГЛОНАСС необходимо провести детальное исследование процесса рассеяния света от ледяных кристаллов, присутствующих в облаках. Особое внимание следует уделить особенностям рассеяния света в конусе направления вперед, поскольку именно в этой области наблюдаются наиболее сложные и значимые оптические эффекты. Они оказывают существенное влияние на качество спутниковых наблюдений и требуют детального изучения для повышения точности калибровки орбит. Таким образом, проведение всестороннего исследования процессов рассеяния света на ледяных кристаллах с акцентом на область рассеяния вперед является необходимым условием для успешного решения поставленных задач и обеспечения высокой точности функционирования системы ГЛОНАСС.

Цель исследования

Для проведения исследования необходимо разработать оптическую модель перистых облаков, включающую ледяные кристаллы размером от 10 до 1000 мкм и учитывающую их хаотическое и квазигоризонтальное распределение по пространственным ориентациям. Модель будет адаптирована для работы с лазерным излучением, применяемым Роскосмосом.

Для создания такой модели будут выполнены предварительные расчеты с использованием приближения геометрической оптики, которые позволят определить оптимальную пространственную сетку для последующих исследований с использованием метода физической оптики.

В данном докладе представлены результаты расчетов матрицы рассеяния света для различных форм кристаллических частиц, выполненных с применением метода геометрической оптики. Были рассмотрены типичные формы частиц, такие как столбики, пластинки, буллиты и дроксталлы с размерами от 10 до 1000 мкм. Расчеты проводились для длин волн света 0,355, 0,4, 0,532, 0,85, 1,064 и 1,55 мкм.

	D (мкм)	Длина волны λ (мкм)	Количество преломлений (Itr)	Число ориентаций (N _{orient})
RC	10 - 56	0.355;0.4;0.85;0.532;1.064;1.55	14	5 000 000
	63 - 100		12	
	112 - 1000		11	

Таблица 1. Гексагональный столбик

	L (мкм)	Длина волны λ (мкм)	Количество преломлений (Itr)	Число ориентаций (N _{orient})
RP	10 - 56	0.355;0.4;0.85;0.532;1.064;1.55	8	5 000 000
	63 - 141		12	
	158 - 281		16	
	316 - 562		24	
	631 - 1000		29	

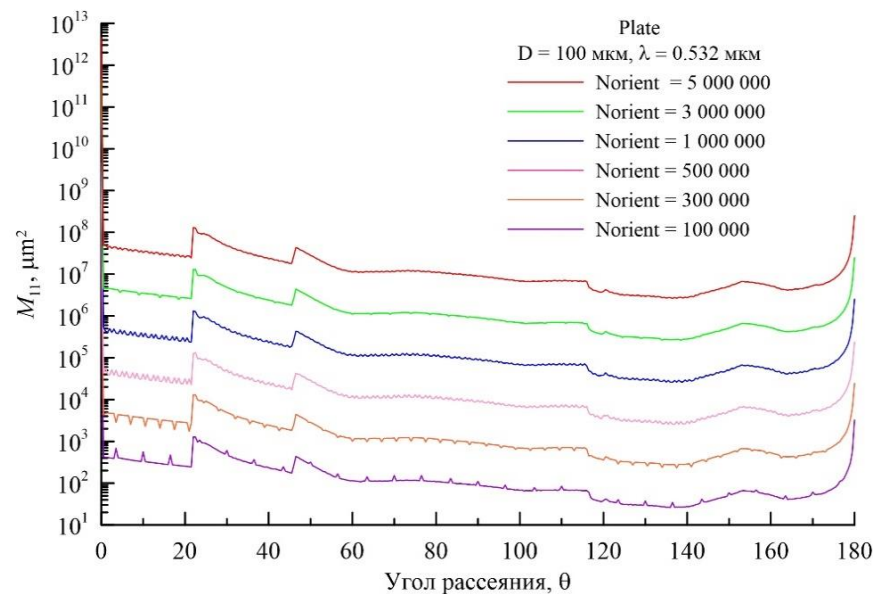
Таблица 2. Гексагональная пластинка

	L (мкм)	Длина волны λ (мкм)	Количество преломлений (Itr)	Число ориентаций (N _{orient})
Bullet	10 - 56	0.355;0.4;0.85;0.532;1.064;1.55	8	5 000 000
	63 - 141		12	
	158 - 281		16	
	316 - 562		24	
	631 - 1000		29	

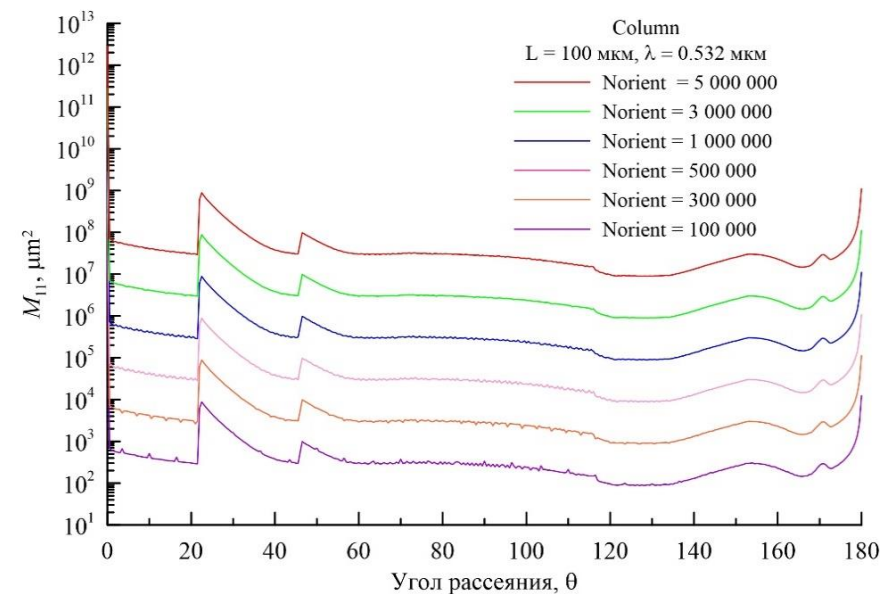
Таблица 3. Буллиты

Результаты

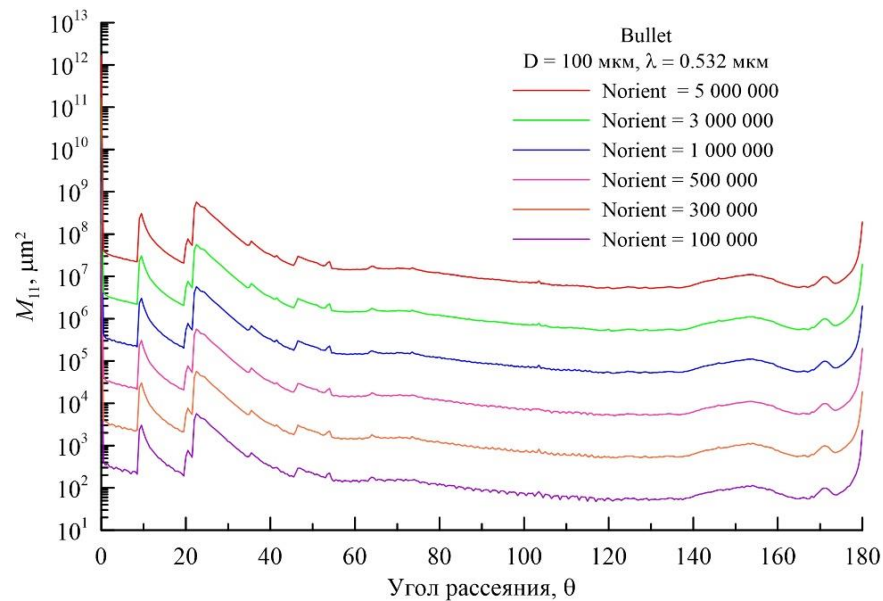
Первым этапом являлся подбор числа ориентации на одном размере для ледяных частиц. На данном слайде представлены результаты расчетов матрицы рассеяния света по всем направлениям для пластинок (a), столбиков (b), буллитов (c), дроксталлов (d) размером $D = 100$ мкм на длине волны 0.532 мкм. Подбор ориентации осуществлялся методом фиксированного шага.



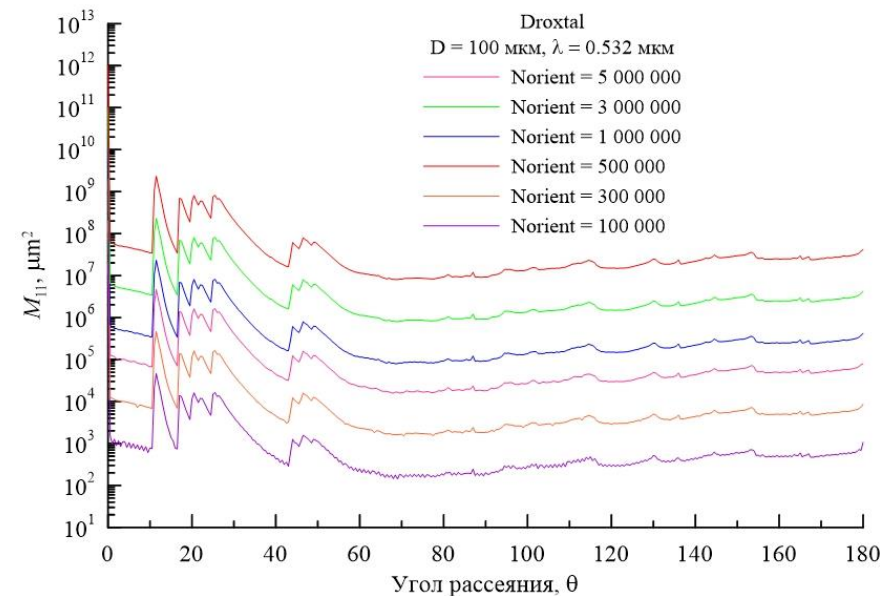
(a)



(b)



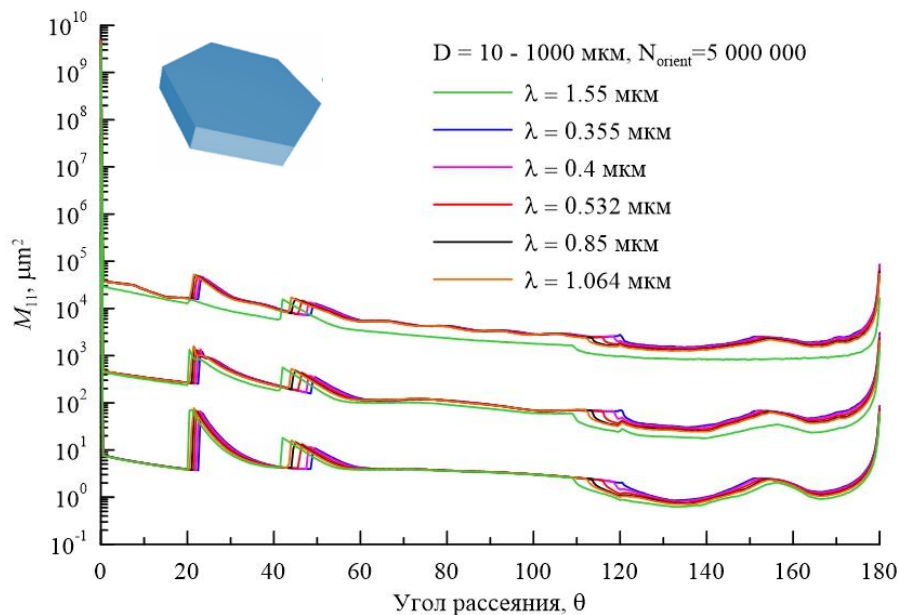
(c)



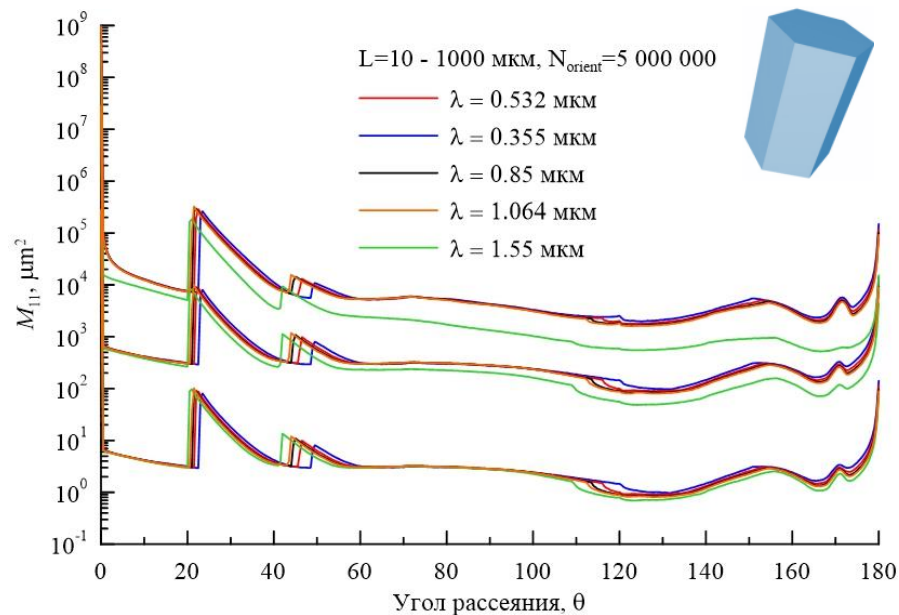
(d)

Результаты

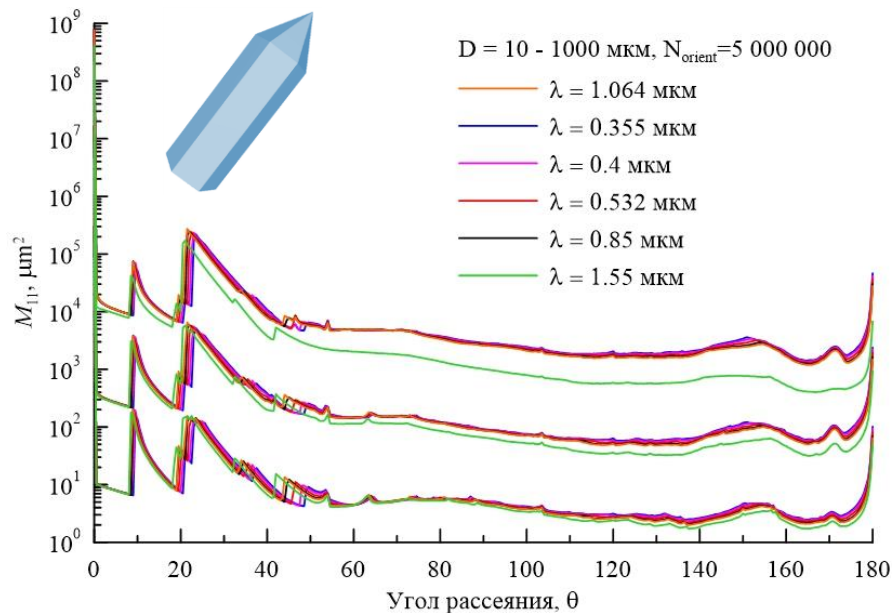
На данном слайде представлены результаты расчетов матрицы рассеяния света по всем направлениям для пластинок (а), столбиков (b), буллитов (c), дроксталлов (d) с размерами от 10 – 1000 мкм, для длин волн 1.55 мкм, 0.355 мкм, 0.4 мкм, 0.532 мкм, 0.85 мкм, 1.064 мкм.



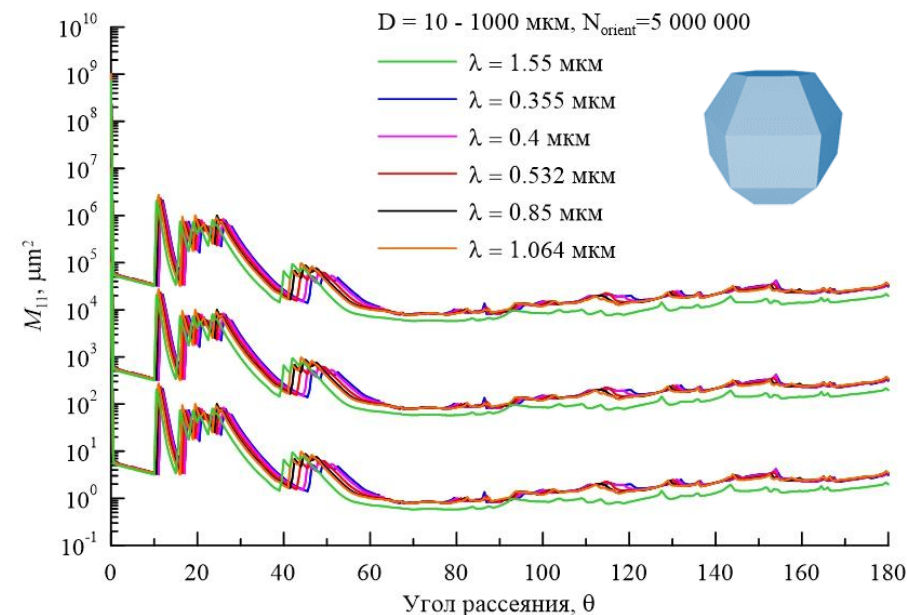
(a)



(b)



(c)



(d)

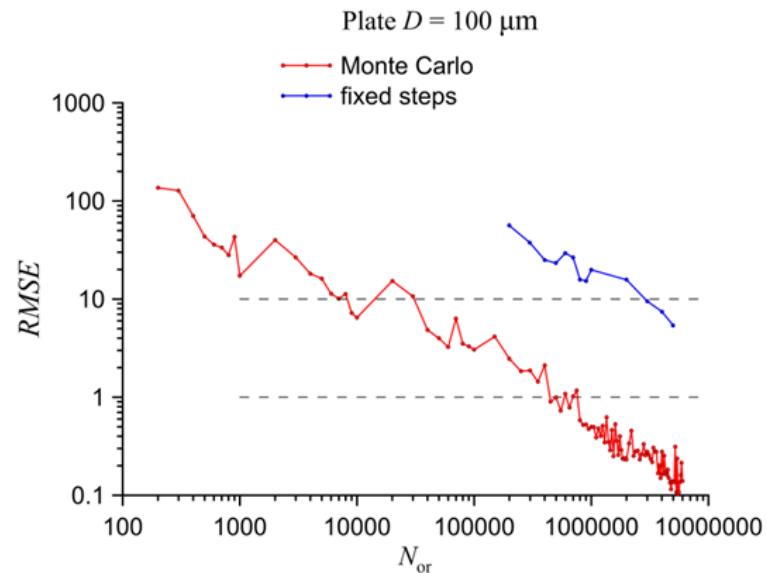
Результаты

Данный слайд демонстрирует результаты статистического анализа, где проводилось сравнение расчетов, полученных с применением метода Монте-Карло и метода фиксированного шага для подбора числа ориентаций. Эти методы были применены для вычисления матрицы рассеяния света на кристаллических ледяных частицах таких форм как , пластинки (а), столбики (b), буллиты (c) и дроксталлы (d).

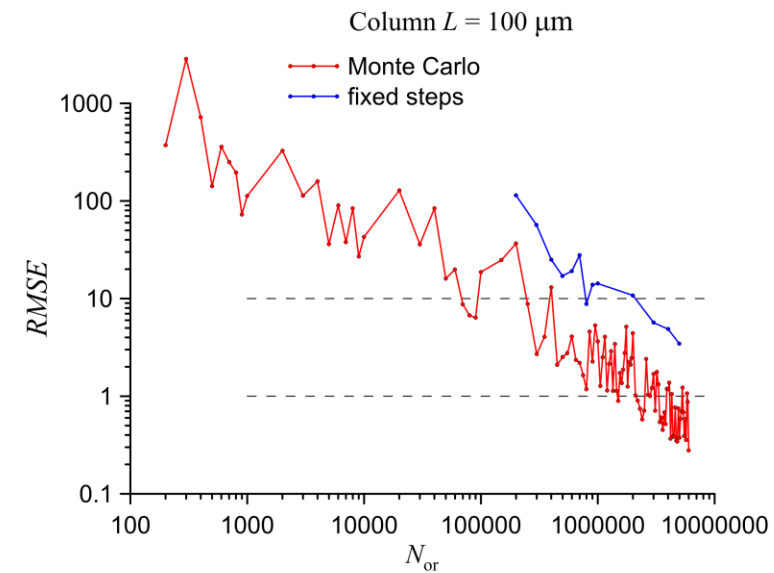
Для анализа использовалась формула :

$$RMSE^{N_{or}^i} = \sqrt{\frac{1}{(N_{\theta}-1)} \sum_{j=2}^{N_{\theta}} \left[M_{11}^{N_{or}^i}(\theta_j) - M_{11}^{N_{or}^{i-1}}(\theta_j) \right]^2}$$

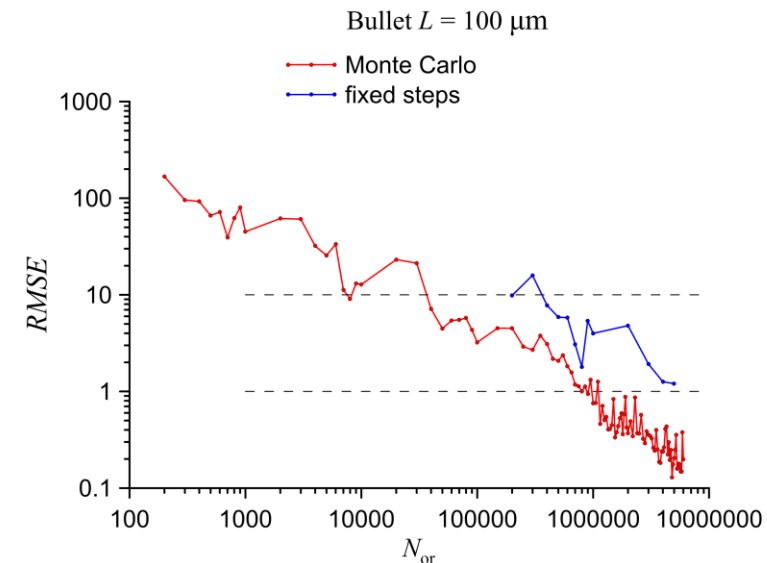
Анализ полученных результатов показал, что $N_{orient} = 5\,000\,000$ случайных пространственных ориентаций частиц является достаточным количеством для сходимости расчетов в приближении геометрической оптики для хаотически ориентированных частиц.



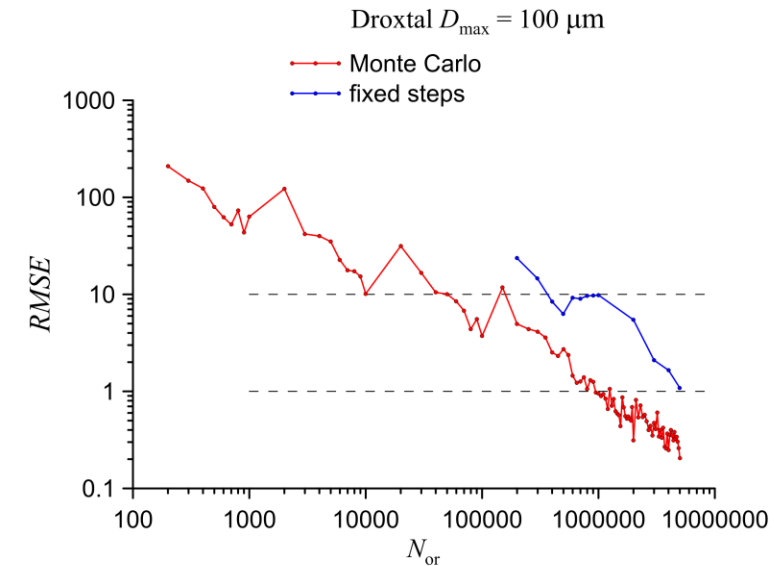
(a)



(b)



(c)



(d)