

Сопоставление спутниковых пассивных и наземных лидарных наблюдений зеркально отражающих слоёв облаков верхнего яруса

А. В. Скороходов, С. В. Насонов, А. В. Коношонкин

Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, Томск, 634055, Россия
E-mails: vazime@yandex.ru, nsvtsk@gmail.com, sasha_tvo@iao.ru

Представлены результаты сопоставления спутниковых пассивных и наземных лидарных наблюдений зеркально отражающих слоёв в облаках верхнего яруса. Рассмотрены эпизоды регистрации перистой, перисто-слоистой и перисто-кучевой облачности над Томском в период с 2015 по 2017 г. Выделены группы облаков с различным расположением ориентированных хаотически и преимущественно в горизонтальной плоскости частиц. Приведено описание эпизодов наблюдения зеркально отражающих слоёв в облачности верхнего яруса над Томском. Представлены результаты анализа метеорологической обстановки исследуемого региона на основе аэрологических данных метеостанций Колпашево и Новосибирска. Показана схема используемой лазерной системы «Лоза-С». Приведены записи лидарных сигналов и степень деполяризации для исследуемых эпизодов регистрации облаков верхнего яруса. Изложено описание используемых параметров облачности и тематических продуктов спутниковой съёмки. Обсуждаются результаты восстановления характеристик облаков в моменты наблюдения зеркально отражающих слоёв по спутниковым данным MODIS. Предлагаются перспективные пути развития данной работы, направленные на улучшение качества кластеризации выделенных групп облачности, а также понимания её роли в происходящих климатических изменениях. Выдвигаются предположения относительно возможности использования пассивных спутниковых методов для определения ориентации кристаллических частиц в облаках верхнего яруса.

Ключевые слова: лидарные измерения, микрофизические параметры, облачность верхнего яруса, ориентация частиц, солнечная радиация, спутниковые данные, характеристики облаков

Одобрена к печати: 22.10.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-263-271

Введение

Глобальное поле облачности покрывает около 70 % поверхности Земли ежедневно и является одним из основных составляющих её климатической системы. Облака влияют на различные процессы окружающей среды: гидрологический цикл, радиационный перенос, самоочищение атмосферы, прохождение электромагнитных волн и др. При этом степень воздействия на климат планеты зависит от высоты, количества и форм облачности. Оптически толстые облака нижнего яруса с капельной микроструктурой препятствуют выхолаживанию подстилающей поверхности и отражают значительную часть солнечного излучения назад в космическое пространство (Облака..., 1989). Облачность среднего яруса часто имеет смешанный состав и оказывает существенное влияние на радиационный перенос в моменты прохождения атмосферных фронтов над определённой территорией (Беспалов и др., 2011). Наибольшей неопределённостью оценок воздействия на климат обладают облака верхнего яруса, к которым относятся перистые, перисто-слоистые и перисто-кучевые (Маховер, Нудельман, 1989). С одной стороны, они задерживают исходящее длинноволновое излучение, что способствует усилению парникового эффекта. С другой стороны, облачность верхнего яруса рассеивает и ослабляет приходящую солнечную радиацию.

Перистые, перисто-слоистые и перисто-кучевые облака формируются на высотах 8–12 км в средних широтах, а горизонтальная протяжённость их полей может достигать нескольких тысяч километров. Облачность верхнего яруса состоит преимущественно из кристаллических частиц различных форм и размеров. Согласно современным теориям, от пространственной

ориентации этих кристаллов зависит степень пропускания и рассеяния солнечной радиации в атмосфере (Baum et al., 2014; Konoshonkin et al., 2017). Дистанционное определение положения частиц в облаках возможно с помощью метода лазерного поляризационного зондирования (Кауль, 2004). Эффект зеркального отражения кристаллической облачностью на основе рассматриваемого подхода впервые был описан в работе (Platt, 1978). Данный феномен связан с образованием слоя, состоящего из кристаллов, плоские грани которых преимущественно ориентированы в горизонтальной плоскости. При этом наблюдается сильное обратное рассеяние и слабая деполяризация зондирующего излучения. На основе экспериментов, проведённых в исследованиях (Балин и др., 2011; Самохвалов и др., 2012), было установлено, что рассматриваемые слои имеют вертикальную протяжённость несколько сотен метров, а время их существования колеблется от десятков минут до нескольких часов. При этом зеркально отражающий слой может находиться как в верхней части облака, так и в нижней. Горизонтальная ориентация частиц в этих слоях вызвана их гравитационным осаждением при минимальном влиянии турбулентности (Коношонкин, 2017).

Повторяемость облаков с зеркально отражающими слоями может достигать 30 % от общего числа наблюдений разновидностей облачности верхнего яруса (Насонов, 2015). Поэтому рассматриваемый эффект необходимо учитывать при оценке влияния кристаллических облаков на перенос солнечной радиации. Можно предположить, что степень воздействия зеркально отражающих слоёв на приходящее и уходящее излучение зависит от их положения в поле облачности, что также необходимо учитывать при их обнаружении. Лазерное поляризационное зондирование является эффективным подходом к исследованию рассматриваемого эффекта. Однако его основной недостаток, заключающийся в локальности измерений, существенно ограничивает область применения. Поэтому в настоящее время актуальной задачей является выявление характерных признаков и условий, способствующих обнаружению облаков с зеркально-отражающими слоями с помощью других средств дистанционного зондирования. Одним из перспективных подходов является использование результатов спутниковой съёмки активными и пассивными методами. В первом случае используются лазерные системы аналогичные наземным (CALIOP) (Winker et al., 2009). Вторая группа методов основана на измерении отражённого и собственного излучения объектов подстилающей поверхности и облаков в различных спектральных диапазонах (Дейвис и др., 1983). Последний подход представляет наибольший интерес для исследователей из-за большого числа радиометров, находящихся на орбите Земли, которые позволяют покрывать снимками всю территорию планеты с высокой периодичностью.

Целью данной работы является сопоставление результатов спутниковых пассивных и наземных активных наблюдений облаков верхнего яруса с зеркально отражающими слоями над территорией Томской обл. и выявление их характерных признаков и условий окружающей среды.

Исходные данные

Регулярные наблюдения за облаками верхнего яруса над Томском осуществляются в Институте оптики атмосферы им. В. Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук с использованием стационарного многоволнового поляризационного лидара «Лоза-С» (Балин и др., 2017). Оптическая схема сканирующей системы приведена на *рис. 1* (см. с. 265). Здесь L1 и L2 — приёмный телескоп с диафрагмой поля зрения F, NF — заградительные фильтры на указанную длину волны, DP — дихроичные зеркала (справа указана длина волны преимущественно отражённого излучения/длина волны проходящего излучения), а LD — неселективные спектроделители. В качестве передатчика применяется Nd:YAG лазер LOTIS-2135, с помощью которого зондирование осуществляется в зенит. При этом используются три длины волны: 1064 нм (энергия 140 мДж), 532 нм (120 мДж) и 355 нм (40 мДж). Диаметр лазерного пучка равен 50 мм, а его расходимость — 0,5 мрад. Приёмная часть состоит из двух телескопов: основного (диаметр 300 мм) и вторичного (20 мм). Это позволяет регистрировать сигналы в большом высотном диапазоне от 50 до 12 000 м, не выходя за пределы динамического диапазона фотоприёмников.

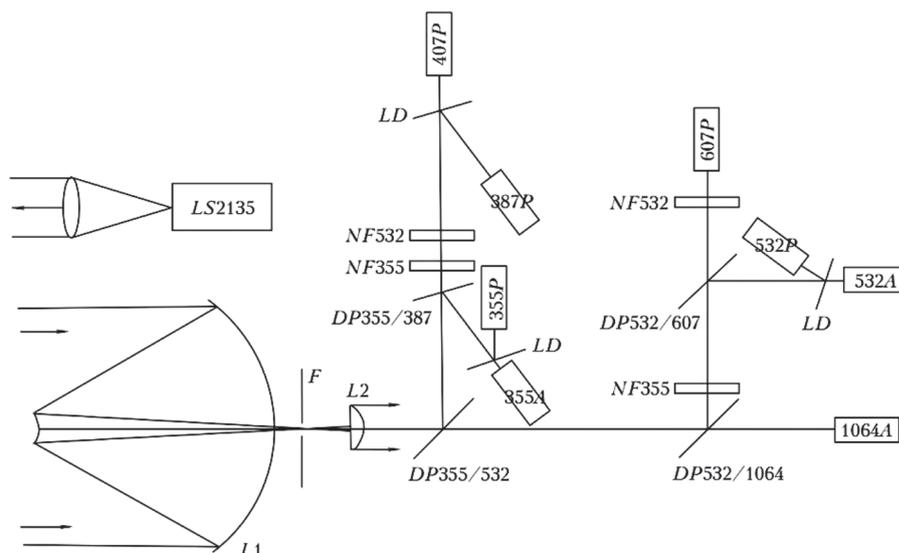


Рис. 1. Оптическая схема лидара «Лоза-С»

Рассматриваемая лазерная система позволяет регистрировать сигналы упругого рассеяния на указанных выше длинах волн, а также спонтанного комбинационного рассеяния на молекулах азота (387 и 607 нм) и в водяном паре (407 нм). Для длины волны 532 нм реализована возможность регистрации поляризационных компонент рассеянного излучения. Всё это позволяет восстанавливать большое число оптических и микрофизических характеристик аэрозоля и облачности.

Сопоставление наземных наблюдений осуществлялось с результатами съёмки из космоса радиометром MODIS, установленным на борту спутников Terra и Aqua. Его основными преимуществами являются возможность сканирования подстилающей поверхности в 36 спектральных диапазонах от 0,4 до 14,4 мкм с пространственным разрешением 250, 500 и 1000 м, ежедневное покрытие одной и той же территории 2–4 снимками (для средних широт) в дневное время суток, наличие тематических продуктов (MOD06_12 и MYD06_12, MOD35 и MYD35), содержащих информацию об оптических и физических характеристиках облаков, а также удобство сервиса поиска и получения его данных (Menzel, 2006). При этом возможность съёмки с пространственным разрешением 250 м в видимом диапазоне спектра (0,62–0,67 мкм) позволяет более детально оценивать структуру наблюдаемых облачных полей. Для анализа отбирались данные наземных и спутниковых измерений, хорошо согласованных по времени, в период с 2015 по 2018 г. Общее количество эпизодов наблюдения зеркально отражающих слоёв в облаках верхнего яруса составило 30, основная часть из которых приходится на месяцы с марта по июнь. Это в первую очередь связано со временем жизни рассматриваемых явлений, а также с затратами на функционирование лазерной системы.

Оценка условий формирования зеркально отражающих слоёв и локализация облачных полей на спутниковых снимках, наблюдаемых при лидарном зондировании, осуществлялись путём привлечения результатов аэрологических измерений на станциях Колпашево и Новосибирск. Несмотря на значительное их удаление от Томска, метеорологическая обстановка на высотах близких к тропопаузе отличается незначительно при отсутствии атмосферных фронтов над регионом (Пчелко, 1957). При этом рассматривались такие метеопараметры, как профили влажности и температуры воздуха, а также направления и скорости ветра. Привлечение последних двух характеристик позволило определить местоположения облаков, зафиксированных при лидарном зондировании. Для выделенных участков облачности из тематических продуктов MODIS извлекалась информация о следующих её параметрах: оптическая толщина, эффективный радиус частиц, водозапас, фазовый состав, высота, давление и температура на верхней границе, коэффициент отражения и эффективная излучательная способность.

Анализ наземных наблюдений облаков верхнего яруса

На основе анализа результатов лидарного зондирования атмосферы над Томском выделено три группы наблюдаемой облачности верхнего яруса. В первой из них зеркально отражающий слой кристаллических частиц расположен в нижней части облака. На *рис. 2* показаны примеры таких экспериментальных данных, полученных 09.06.2016 и 23.03.2017. Для обоих эпизодов выбран промежуток времени с 11:00 до 15:00. На *рис. 2а* и *в* приведены записи лидарных сигналов для $\lambda = 532$ нм в единицах отношения рассеяния (параллельная составляющая), а на *рис. 2б* и *г* — степень деполяризации в процентах. Из *рис. 2* видно, что зеркально отражающие слои, для которых характерно сильное обратное рассеяние (белый цвет на *рис. 2а* и *в*) и минимальная деполяризация рассеянного излучения (синий цвет на *рис. 2б* и *г*), располагались на высоте 8–9 км 09.06.2016 и 7–8 км 23.03.2017. Температура воздуха в первом случае на соответствующих высотах была равна $-30...-35$ °С, а относительная влажность принимала средние значения 40–50 %. Во втором случае аналогичные показатели составляли $-37...-45$ °С, а относительная влажность воздуха — 30–40 %. Согласно работе (Волковицкий и др., 1984), при таких условиях в облаках преобладают пластинчатые и столбчатые формы кристаллов, а также пучки столбиков.

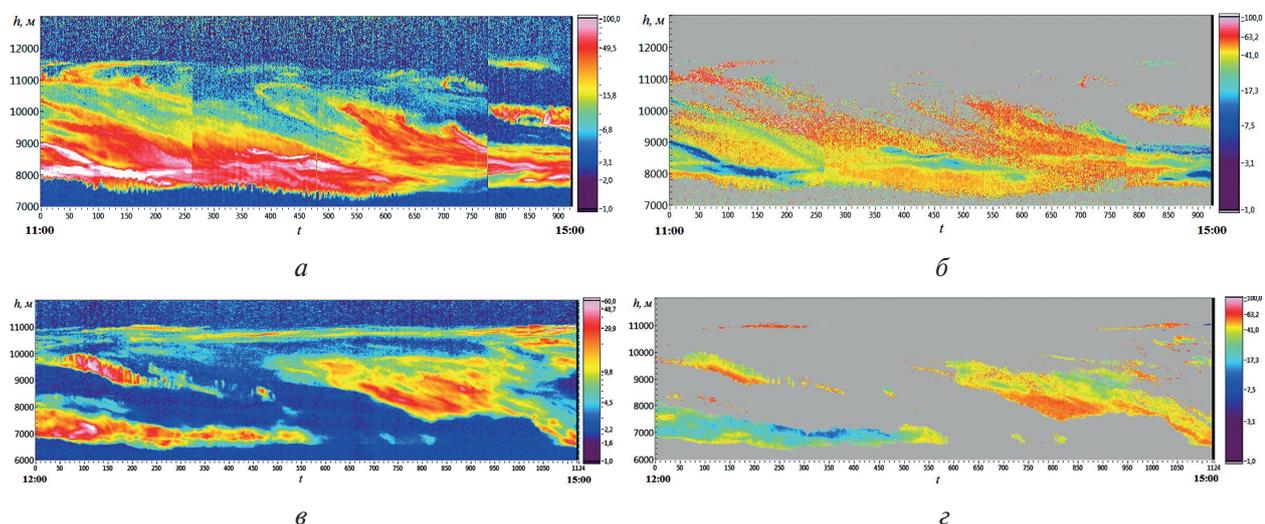


Рис. 2. Записи лидарных сигналов и степень деполяризации, полученные 09.06.2016 (*а, б*) и 23.03.2017 (*в, г*)

Во второй группе облаков зеркально отражающие слои располагаются в верхней их части. На *рис. 3* (см. с. 267) представлены примеры таких экспериментальных данных для 24.03.2017 (*рис. 3а* и *б*) и 27.05.2017 (*рис. 3в* и *г*). Тонкий зеркально отражающий слой наблюдался 24.03.2017 на высоте 11 км при температуре $-37...-45$ °С и достаточно низких значениях относительной влажности воздуха 10–30 %. Кроме этого, низкая деполяризация наблюдается на высоте 8,5 км, что свидетельствует о преимущественной ориентации кристаллических частиц в горизонтальной плоскости. Аналогичный эффект 27.05.2017 наблюдался на высоте 10,5–11,5 км. При этом температура воздуха на указанных высотах составляет -62 °С, а относительная влажность воздуха — 30–40 %. Следует отметить, что рассматриваемая группа облаков верхнего яруса располагалась под тропопаузой.

К третьей группе относятся облака, не содержащие зеркально отражающие слои, в которых кристаллы льда ориентированы хаотически. На *рис. 4* (см. с. 267) показаны примеры таких экспериментальных данных, полученных 24.06.2015 (*рис. 4а* и *б*) и 12.03.2017 (*рис. 4в* и *г*). На высоте 8–10 км 24.06.2015 наблюдалась разорванная облачность верхнего яруса со степенью деполяризации близкой к 100 %. Температура воздуха на нижней границе облаков равнялась -26 °С, а на верхней — -48 °С. Относительная влажность воздуха составляла 30–40 %.

На высоте 10,5 км 12.03.2017 было зафиксировано тонкое облако, которое, предположительно, является конденсационным следом. На указанной высоте температура воздуха была равна -70°C при относительной влажности воздуха 30–40 %.

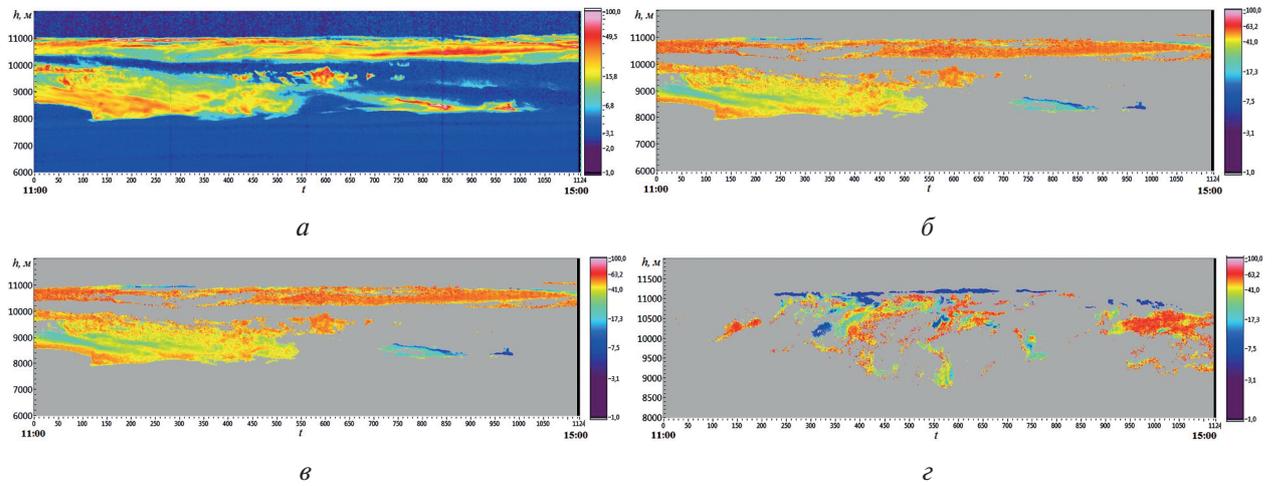


Рис. 3. Записи лидарных сигналов и степень деполяризации, полученные 24.03.2017 (а, б) и 27.05.2017 (в, г)

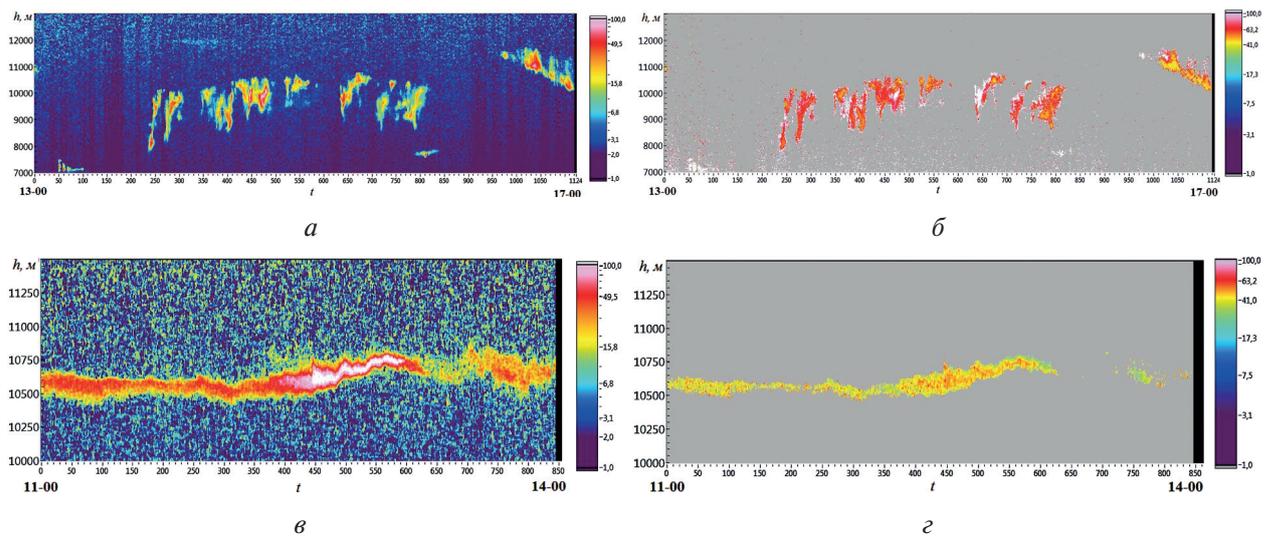


Рис. 4. Записи лидарных сигналов и степень деполяризации, полученные 24.06.2015 (а, б) и 12.03.2017 (в, г)

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о сходстве значений температуры воздуха и его относительной влажности для всех рассматриваемых в данной работе групп облаков. Поэтому исследование причин образования зеркально отражающих слоёв на различных высотах перистой, перисто-слоистой и перисто-кучево-облачности требует привлечения дополнительной информации и большего объёма экспериментальных данных.

Результаты сопоставления наземных и спутниковых данных

Сопоставление наземных лидарных измерений с результатами спутниковой съёмки MODIS осуществлялось на основе учёта значений скорости и направления ветра, полученных в результате аэрологических измерений на метеостанциях Колпашево и Новосибирска. Для каждого из рассмотренных выше эпизодов наблюдений облаков верхнего яруса было подобрано

2–3 изображения из космоса, на которых было локализовано их местоположение. Далее на основе тематических продуктов MOD06_12 и MYD06_12, а также MOD35 и MYD35 были найдены соответствующие поля облачности и восстановлены значения их оптических и физических характеристик (Astafurov, Skorokhodov, 2018). В таблице приведены полученные параметры исследуемых облаков в моменты наблюдения зеркально отражающих слоёв на различных высотах и при их отсутствии.

Характеристики облачности в моменты наблюдения зеркально отражающих слоёв или при их отсутствии

Дата	Время	τ	$r_{эф}$, мкм	P , г/м ²	ρ	$H_{ВГ}$, м	$T_{ВГ}$, °С	$p_{ВГ}$, гПа	ϵ	v , м/с	θ , град
09.06.2016	12:10	2,08	32,53	42	0,17	8150	-32,5	360	0,80	8	230
	13:55	2,59	27,47	43	0,15	9050	-39,32	315	0,69	12	245
23.03.2017	13:05	1,46	31,39	28	0,15	7600	-42,52	375	0,56	43	315
	13:15	1,70	45,94	48	0,23	7800	-45,85	360	0,44	43	315
	14:50	0,58	17,77	6	0,10	10600	-64,75	235	0,19	55	329
24.03.2017	12:10	0,60	29,18	11	0,09	11500	-66,57	200	0,15	29	290
	13:45	0,48	15,55	5	0,18	8500	-49,08	330	0,49	43	291
	13:55	1,06	20,66	13	0,18	8450	-49,09	330	0,37	43	291
27.05.2017	12:10	0,96	12,36	7	0,07	11250	-56,89	225	0,21	48	300
	13:45	0,95	35,21	20	0,07	10550	-56,38	245	0,31	54	300
	13:55	0,70	35,27	15	0,07	10900	-56,36	235	0,27	54	300
24.06.2015	12:50	3,28	36,67	74	0,08	7000	-17,07	425	0,32	45	290
	14:40	2,31	32,90	47	0,12	10100	-42,44	275	0,31	43	295
12.03.2017	11:45	0,91	23,21	13	0,12	10750	-65,97	225	0,44	31	315
	13:20	0,87	28,72	15	0,13	10750	-65,57	225	0,30	31	315

Здесь τ — оптическая толщина, $r_{эф}$ — эффективный радиус частиц, P — водозапас, ρ — коэффициент отражения, $H_{ВГ}$ — высота верхней границы, $T_{ВГ}$ — температура верхней границы, $p_{ВГ}$ — давление на верхней границе, ϵ — эффективная излучательная способность, v — скорость ветра на высоте верхней границы, а θ — его направление. Проанализировав таблицу, можно сделать ряд выводов. Низкие значения τ свидетельствуют о наблюдении перистых тонких облаков. Характерных тенденций $r_{эф}$ и P для рассматриваемых групп облачности не выявлено. Значения коэффициента отражения ρ для облаков, у которых зеркально-отражающий слой находится сверху, в целом ниже, чем у остальных. При этом данный факт не связан с высотой верхней границы $H_{ВГ}$. Температура $T_{ВГ}$ и давление $p_{ВГ}$ на верхней границе облачности хорошо согласуется с её высотой. Для облаков, зеркально-отражающий слой которых расположен внизу, наблюдаются более высокие значения эффективной излучательной способности ϵ в целом. Скорость ветра варьируется в достаточно широком диапазоне.

Интересной особенностью является практически одинаковое направление ветра во всех рассматриваемых эпизодах за исключением 09.06.2016. На рис. 5 (см. с. 268) сгруппированы эпизоды наблюдения зеркально-отражающих слоёв и их отсутствия. Красным цветом обозначены ситуации, когда ориентированные преимущественно

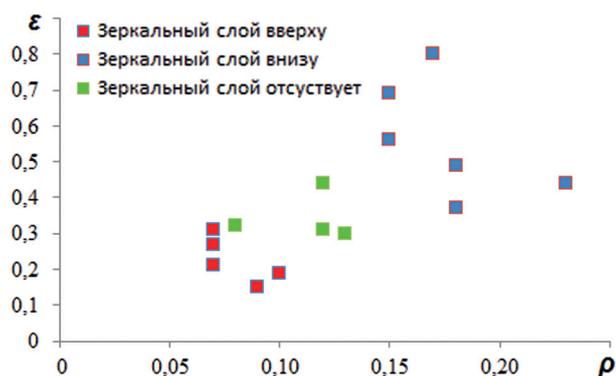


Рис. 5. Значения коэффициента отражения и эффективной излучательной способности для трёх групп облачности

в горизонтальной плоскости частицы находятся в верхней части облака, синим — в нижней, а зелёным — где они отсутствуют. На *рис. 5* видно, как различаются значения ρ и ϵ у рассматриваемых групп облачности. Таким образом, в исследуемых эпизодах облака с расположенным внизу зеркальным слоем обладают лучшей отражательной способностью и пропускают меньшее количество исходящего излучения, чем другие группы облачности. Данная особенность может стать характерным признаком при определении пространственной ориентации кристаллических частиц облаков верхнего яруса. Однако различия значений рассматриваемых характеристик у оставшихся двух групп облачности не столь существенны, что требует проведения дополнительных исследований для их дифференциации.

Заключение

Определение ориентации кристаллических частиц облаков верхнего яруса дистанционными методами является сложной задачей. Однако её решение необходимо для улучшения понимания роли облаков в происходящих климатических изменениях. В данной работе была предпринята попытка выявления характерных признаков и условий окружающей среды для обнаружения облаков, содержащих зеркально-отражающие слои, по спутниковым данным. На основе результатов анализа лидарных измерений над Томском были выделены три группы облачности: 1) ориентированные преимущественно в горизонтальной плоскости частицы находятся в верхней части облачности; 2) в нижней части облачности; 3) отсутствуют. Сопоставление полученной наземными средствами информации со спутниковой съёмкой позволило определить характеристики облаков и окружающей среды в моменты наблюдения зеркально-отражающих слоёв, которые приведены в *таблице*. В результате анализа этих данных было установлено, что коэффициент отражения ρ и эффективная излучательная способность ϵ имеют более высокие значения у облаков с ориентированными преимущественно в горизонтальной плоскости частицами в нижней их части, чем у других групп облачности, что видно на *рис. 5*. Данный факт может быть использован в качестве характерного признака для выявления наличия зеркально-отражающих слоёв в облаках по спутниковым данным. Однако характеристики облачности, состоящей из хаотически ориентированных частиц и ориентированных преимущественно в горизонтальной плоскости кристаллов в верхней её части, имеют сходные значения. Поэтому для их дифференциации требуется проведение дополнительных исследований с привлечением вспомогательной информации. Перспективным направлением развития данной работы является детальный анализ спутниковых данных, полученных в различных диапазонах спектра: от видимого до дальнего инфракрасного.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 18-77-10035).

Литература

1. *Балин Ю. С., Кауль Б. В., Коханенко Г. П.* Наблюдения зеркально отражающих частиц и слоев в кристаллических облаках // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 4. С. 293–299.
2. *Балин Ю. С., Коханенко Г. П., Клемашева М. Г., Пеннер И. Э., Насонов С. В., Самойлова С. В., Чайковский А. П.* «Лоза-С» — базовый лидар российского сегмента лидарных станций сети СНГ (CIS LiNet) // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30. № 12. С. 1065–1068.
3. *Беспалов Д. П., Девяткин А. М., Довгалюк Ю. А., Кондратюк В. И., Кулешов Ю. В., Светлова Т. П., Суворов С. С., Тимофеев В. И.* Атлас облаков. СПб.: Изд-во Д'АРТ, 2011. 248 с.
4. *Волковицкий О. А., Павлова Л. Н., Петрушин А. Г.* Оптические свойства кристаллических облаков. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 198 с.
5. *Дейвис Ш. М., Ландгребе Д. А., Филлипс Т. Л., Свейн Ф. Х., Хоффер Р. М., Ланденлауб Д. С., Сиева Ле Р. Ф.* Дистанционное зондирование: количественный подход / пер. с англ. М.: Недра, 1983. 415 с.
6. *Кауль Б. В.* Оптико-локационный метод поляризационных исследований анизотропных аэрозольных сред: дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск: ИОА СО РАН, 2004. 219 с.

7. Коношонкин А. В. Рассеяние света на атмосферных ледяных кристаллах при лазерном зондировании: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск: ИОА СО РАН, 2017. 43 с.
8. Маховер З. М., Худельман Л. А. Климатология облаков верхнего яруса. Обзор их микрофизических и оптических свойств. Радиационные свойства перистых облаков: сб. ст. / под ред. Е. М. Фейгельсон. М.: Наука, 1989. С. 6–31.
9. Насонов С. В. Оптические характеристики облаков верхнего яруса и их связь с метеорологическими параметрами атмосферы: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Томск: ИОА СО РАН, 2015. 23 с.
10. Облака и облачная атмосфера: справ. / под ред. Мазина И. П., Хргиана А. Х. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 647 с.
11. Пчелко И. Г. Метеорологические условия полетов на больших высотах. Л.: Гидрометеиздат, 1957. 56 с.
12. Самохвалов И. В., Кауль Б. В., Насонов С. В., Животенюк И. В., Брюханов И. Д. Матрица обратного рассеяния света зеркально отражающих слоев облаков верхнего яруса, образованных кристаллическими частицами, преимущественно ориентированными в горизонтальной плоскости // Оптика атмосферы и океана. 2012. Т. 25. № 5. С. 403–411.
13. Astafurov V. G., Skorokhodov A. V. Statistical model of physical parameters of clouds based on MODIS thematic data // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2018. V. 54. No. 9. P. 1202–1213.
14. Baum B. A., Yang P., Heymsfield A. J., Bansemer A., Cole B. H., Merrelli A., Schmitt C., Wang C. Ice cloud single-scattering property models with the full phasematrix at wavelengths from 0.2 to 100 μm // J. Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2014. V. 146. P. 123–139.
15. Konoshonkin A., Borovoi A., Kustova N., Okamoto H., Ishimoto H., Grynko Y., Förstner J. Light scattering by ice crystals of cirrus clouds: From exact numerical methods to physical-optics approximation // J. Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. 2017. V. 195. P. 132–140.
16. Menzel W. P. Remote sensing applications with meteorological satellites. NOAA satellite and information service. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin, 2006. 307 p.
17. Platt C. M. R. Some microphysical properties of an ice cloud from lidar observation of horizontally oriented crystals // J. Applied Meteorology. 1978. Vol. 17. P. 1220–1224.
18. Winker D. M., Vaughan M. A., Omar A., Hu Y., Powell K. A. Overview of the CALIPSO Mission and CALIOP Data Processing Algorithms // J. Atmospheric and Oceanic Technology. 2009. V. 26. P. 2310–2323.

Comparison of passive satellite data with ground-based lidar observations of specularly reflecting layers in high-level clouds

A. V. Skorokhodov, S. V. Nasonov, A. V. Konoshonkin

V. E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk 634055, Russia
E-mails: vazime@yandex.ru, nsvtsk@gmail.com, sasha_tvo@iao.ru

A comparison of the results of passive satellite data and ground-based lidar observations of specularly reflecting layers in the high-level clouds is presented. The registration episodes of cirrus, cirrostratus and cirrocumulus clouds over Tomsk in the period from 2015 to 2017 are considered. Cloud groups with different locations of randomly and mostly oriented in the horizontal plane particles are distinguished. The description of observation episodes for specularly reflecting layers in high-level clouds above Tomsk is given. The analysis results of the meteorological situation in the studied region based on the aerological data of the weather stations Kolpashevo and Novosibirsk are presented. The scheme of the laser system Loza-S used in the observations is shown. The lidar signal records and the degree of depolarization for the studied registration episodes of high-level clouds are presented. The cloud parameters description and thematic products of satellite imagery is described. The results of obtaining cloud characteristics at the moments of observation of specularly reflecting layers from MODIS satellite data are discussed. Promising directions for the development of this work are proposed with the aim to improve the quality of clustering of selected cloud groups, as well as understanding its role in ongoing climate change. Assumptions are made regarding the possibility of using passive satellite methods to determine the orientation of crystalline particles in the high-level clouds.

Keywords: lidar measurements, microphysical parameters, high-level clouds, particle orientation, solar radiation, satellite data, cloud characteristics

Accepted: 22.10.2019

DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-6-263-271

References

1. Balin Yu. S., Kaul B. V., Kokhanenko G. P., Nablyudeniya zerkal'no otrazhayushchikh chastits i sloev v kristallicheskih oblakakh (Observations of specularly reflecting particles and layers in crystalline clouds), *Optika atmosfery i okeana*, 2011, Vol. 24, No. 4, pp. 293–299.
2. Balin Yu. S., Kokhanenko G. P., Klemasheva M. G., Penner I. E., Nasonov S. V., Samoiloa S. V., Chaikovskii A. P., “Loza-S” — bazovyi lidar rossiiskogo segmenta lidarnykh stantsii seti SNG (CIS LiNet) (“Loza-S” is the base lidar in the Russian segment of the CIS network lidar stations (CIS LiNet)), *Optika atmosfery i okeana*, 2017, Vol. 30, No. 12, pp. 1065–1068.
3. Bespalov D. P., Devyatkin A. M., Dovgalyuk Yu. A., Kondratyuk V. I., Kuleshov Yu. V., Svetlova T. P., Suvorov S. S., Timofeev V. I., *Atlas oblakov* (Cloud Atlas), Saint Petersburg: Izd. D’ART, 2011, 248 p.
4. Volkovitskii O. A., Pavlova L. N., Petrushin A. G., *Opticheskie svoystva kristallicheskih oblakov* (Optical properties of crystalline clouds), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984, 198 p.
5. Devis Sh. M., Landgrebe D. A., Phillips T. L., Svein F. Kh., Khoffer R. M., Landenlaub D. S., Sieva Le R. F., *Distantionnoe zondirovanie: kolichestvennyi podkhod* (Remote sensing: a quantitative approach), Moscow: Nedra, 1983, 415 p.
6. Kaul B. V., *Optiko-lokatsionnyi metod polarizatsionnykh issledovaniy anizotropnykh aerazol'nykh sred: Diss. dokt. fiz.-mat. nauk* (Optical-location method for polarization studies of anisotropic aerosol media, Dr. phys.-math. sci. thesis), Tomsk: IAO SB RAS, 2004, 219 p.
7. Konoshonkin A. V., *Rasseyanie sveta na atmosferynykh ledyanikh kristallakh pri lazernom zondirovanii: Avtoref. diss. dokt. fiz.-mat. nauk* (Light scattering by atmospheric ice crystals during laser sounding, Ext. abstract Dr. phys.-math. sci. thesis), Tomsk: IAO SB RAS, 2017, 43 p.
8. Makhover Z. M., Nudelman L. A., *Klimatologiya oblakov verkhnego yarusa. Obzor ikh mikrofizicheskikh i opticheskikh svoystv. Radiatsionnye svoystva peristykh oblakov* (Climatology of the high-level clouds. Overview of their microphysical and optical properties. Radiation properties of cirrus clouds), E. M. Feigelson (ed.), Moscow: Nauka, 1989, pp. 6–31.
9. Nasonov S. V., *Opticheskie kharakteristiki oblakov verkhnego yarusa i ikh svyaz' s meteorologicheskimi parametrami atmosfery: Avtoref. diss. cand. fiz.-mat. nauk* (Optical characteristics of the high-level clouds and their relationship with the meteorological parameters of the atmosphere, Cand. phys.-math. sci. thesis abstract), Tomsk: IAO SB RAS, 2015, 23 p.
10. *Oblaka i oblachnaya atmosfera* (Clouds and cloudy atmosphere), Mazin I. P., Khrgian A. Kh (eds.), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989, 647 p.
11. Pchelko I. G., *Meteorologicheskie usloviya poletov na bol'shikh vysotakh* (Meteorological conditions for flights at high altitudes), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1957, 56 p.
12. Samokhvalov I. V., Kaul B. V., Nasonov S. V., Zhivotenyuk I. V., Bryukhanov I. D., Matritsa obratnogo rassenyaniya sveta zerkal'no otrazhayushchikh sloev oblakov verkhnego yarusa, obrazovannykh kristallicheskimichastitsami, preimushchestvenno orientirovannymi v gorizontol'noi ploskosti (Backscattering matrix of the mirror-reflecting upper-level cloud layers formed by horizontally oriented crystal particles), *Optika atmosfery i okeana*, 2012, Vol. 25, No. 5, pp. 403–411.
13. Astafurov V. G., Skorokhodov A. V., Statistical model of physical parameters of clouds based on MODIS thematic data, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2018, Vol. 54, No. 9, pp. 1202–1213.
14. Baum B. A., Yang P., Heymsfield A. J., Bansemer A., Cole B. H., Merrelli A., Schmitt C., Wang C., Ice cloud single-scattering property models with the full phasematrix at wavelengths from 0.2 to 100 μm , *J. Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2014, Vol. 146, pp. 123–139.
15. Konoshonkin A., Borovoi A., Kustova N., Okamoto H., Ishimoto H., Grynkoy Y., Förstner J., Light scattering by ice crystals of cirrus clouds: From exact numerical methods to physical-optics approximation, *J. Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 2017, Vol. 195, pp. 132–140.
16. Menzel W. P., *Remote sensing applications with meteorological satellites*, NOAA satellite and information service, Madison, Wisconsin: University of Wisconsin, 2006, 307 p.
17. Platt C. M. R., Some microphysical properties of an ice cloud from lidar observation of horizontally oriented crystals, *J. Applied Meteorology*, 1978, Vol. 17, pp. 1220–1224.
18. Winker D. M., Vaughan M. A., Omar A., Hu Y., Powell K. A., Overview of the CALIPSO Mission and CALIOP Data Processing Algorithms, *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, 2009, Vol. 26, pp. 2310–2323.