

О.Б. Васильев

О ПОГЛОЩЕНИИ ТРОПОСФЕРНЫМИ АЭРОЗОЛЯМИ КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИАЦИИ II. ВОДНЫЙ АЭРОЗОЛЬ, ОБЛАКА И МНОГОСЛОЙНЫЕ ВОЗДУШНЫЕ МАССЫ

На основе наблюдений спектральных потоков коротковолнового излучения на разных уровнях в тропосфере определены притоки лучистой энергии в воздушных массах различных типов. Настоящая работа является продолжением исследований, опубликованных в этом же номере журнала. Представлены результаты, полученные в воздушных массах, содержащих водный (или, точнее говоря, «обводненный») аэрозоль и облака, и в многослойных воздушных массах.

В первой части настоящей работы (стр. 227–233) были изложены результаты экспериментальных определений спектральной зависимости истинного поглощения коротковолновой солнечной радиации в «чистых» воздушных массах и в воздушных массах континентального происхождения. Во второй части рассматриваются результаты аналогичных экспериментов в случае наличия в атмосфере водного (или «обводненного») аэрозоля, в облаках и в многослойных воздушных массах.

1. Водный или «обводненный» аэрозоль

Водный или, по-видимому, правильнее сказать «обводненный» аэрозоль (так как водяные капельки могут содержать твердые частички — ядра конденсации) наблюдался в воздушных массах над акваториями Каспийского моря («КЭНЭКС–73»), Атлантического океана («АТЭП–74») и в других районах. Отметим сразу же, что над указанными акваториями далеко не всегда присутствовал именно так называемый «морской» аэрозоль — довольно часто наблюдался и пустынный аэрозоль, принесенный за тысячи километров, например, в район «АТЭП» из пустыни Сахары (что было прекрасно видно на космических снимках), а в район Каспийского моря — из пустынь Средней Азии.

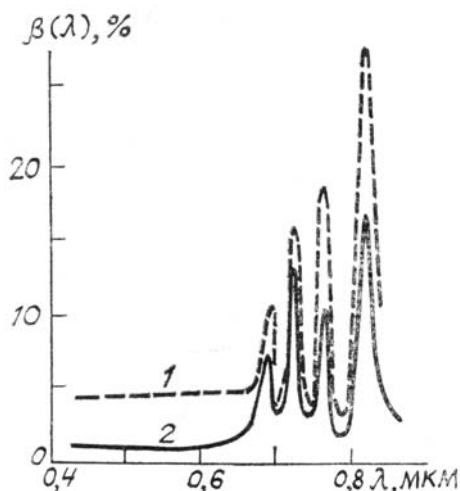


Рис. 1. Относительные спектральные притоки лучистой энергии над акваторией Каспийского моря в слое тропосферы от 0,5 до 7,2 км по наблюдениям 20 августа (1) и 22 августа 1970 г. (2)

На рис. 1 в качестве примеров приведены кривые спектральных лучистых притоков энергии, наблюдавшихся в зондируемом слое атмосферы (до высоты 4,2 км) над акваторией Каспийского моря 20 и 22 августа 1973 г. Эти притоки существенно меньше тех, которые наблюдаются при континентальном «сухом» аэрозоле — в «непрерывном» спектре они составляют лишь примерно 4 и 2% соответственно. Спектральный ход, по-видимому, близкий к нейтральному (имеющиеся на кривых колебания, учитывая погрешности измерений, являются статистически незначимыми). Аналогичные спектральные кривые для «морского» аэрозоля были получены и в районе АТЭП (будут представлены ниже, см. рис. 3, а).

Таким образом, воздушные массы, содержащие «морской» аэрозоль (капельки воды или раствора, возможно, содержащие твердые частички — ядра конденсации) обладают относительно низкой поглотительной способностью, достигающей 2—4%, с приблизительно нейтральной спектральной зависимостью в коротковолновом участке спектра.

2. Облака

Исследования поглотительной способности слоистообразной облачности велись начиная с 1971 г. Достаточно подробный обзор полученных данных приведен в монографии [1]. В качестве примера на рис. 2, *a* приведены спектральные кривые притока лучистой энергии в облачных слоях различной геометрической и оптической толщины [2]. Характеристики условий наблюдения приведены в таблице.

№ п/п	Дата, район работ, балльность и тип облачности	z град	Нижняя и верхняя границы облаков, км	Оптическая толщина	$\beta_{\text{ср.}}$, % (в непрерывном спектре, $\Delta\lambda = 400\text{—}700$ нм)
1	10.04. 1971 г. Черное море, 10 б St	55	0,4—0,85	20	12
2	01.10. 1972 г. Карское море, 10 б Sc	16	0,75—1,05	15	24
3	05.10. 1972 г. Азовское море, 10 б Sc	38	0,30—0,85	25	36
4	24.09.1972 г. Ладожское озеро, двухслойная облачность: 1 слой — 10 б St, Fg pb, туман 2 слой — 10 б Sc	26	0,3—1,5 2,0—3,9	90	65

Из рис. 2, *a* следует, что в приведенных случаях поглощение коротковолновой лучистой энергии в «непрерывном» спектре в диапазоне 400—700 нм достигало очень больших величин (в зависимости от геометрической и оптической толщин облаков), достигающих до 65%. Спектральный ход в указанном диапазоне спектра был нейтральным.

Сопоставляя приведенную поглотительную способность облачных слоев с поглотительной способностью «морского» (обводненного) аэрозоля, можно отметить их одинаковые спектральные зависимости. Разница заключается лишь в том, что поглощаемая лучистая энергия «морским» аэрозолем во всей толще тропосферы в облаках поглощается слоем в несколько сотен метров (очевидно, значительно большей оптической толщины, чем вся тропосфера в первом случае). За нейтральное поглощение в облаках, по-видимому, ответственны твердые нерастворимые аэрозольные частички, находящиеся на поверхности капель воды или между ними. Ввиду того, что реальный пробег фотонов в облаках значительно больше, чем в чистой атмосфере, величина поглощения лучистой энергии также в облаках существенно возрастает.

В диапазоне спектра от 400 до 700 нм жидкая вода слабо поглощает, поэтому спектральный ход поглощения в облачных слоях будет зависеть от спектральной зависимости поглотительной способности нерастворимого аэрозоля, присутствующего в облаках. Очевидно, что могут встретиться и такие случаи, когда поглощение в облачных слоях не будет столь нейтральным, как это показано на рис. 2, *a*. В таких случаях мы должны видеть с земной поверхности облака, имеющие ту или иную окраску — иногда синеватую, иногда розоватую или пурпурную (обычно эти оттенки соотносят с цветами сумеречного неба или зоревоего сегмента). По-видимому, чаще всего эта «подкраска» бывает столь слабой, что мы ее просто не замечаем.

Приведем примеры наблюдения таких облачных слоев. На рис. 2, *b* показаны кривые относительно-го притока лучистой энергии в облачных слоях, наблюдавшихся над Карским морем 29.05.1976 г. ($\Delta H = 0,2\text{—}8$ км) и над Ладожским озером 20.04.1985 г. ($\Delta H = 0,2\text{—}1,7$ км). В первом случае поглощение было в непрерывном спектре скорее слегка «красным», чем нейтральным; во втором случае — поглощение было отчетливо «красным» (облака должны были иметь с Земли синеватый оттенок).

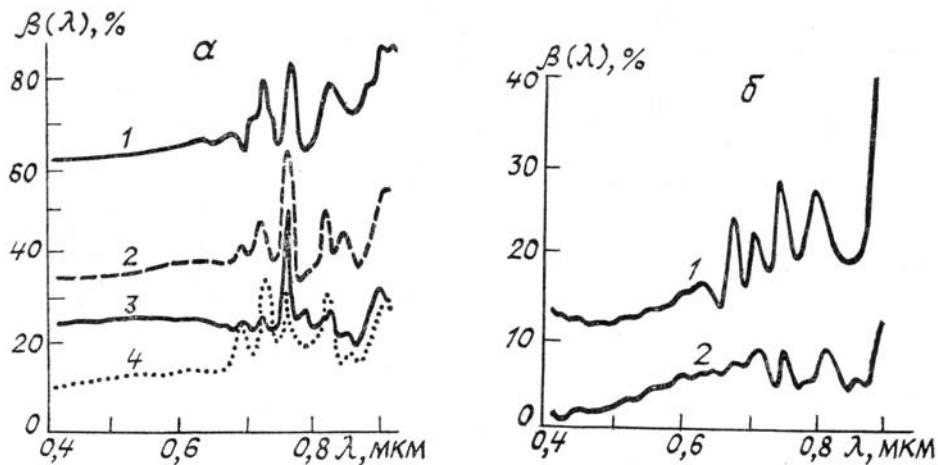


Рис. 2. Относительные спектральные притоки лучистой энергии в облачных слоях по наблюдениям: *a* — 24 сентября (1), 5 октября (2) и 1 октября (3) 1972 г., 10 июня (4) 1971 г.; *б* — 29 мая 1976 г. (1) и 20 апреля 1982 г. (2)

3. Многослойные воздушные массы

Земная тропосфера редко бывает вертикально однородной. Иногда наблюдается и четко выраженная ее стратификация. Приведем примеры экспериментальных данных, полученных в стратифицированной тропосфере. На рис. 3, *a* показаны относительные спектральные лучистые притоки в отдельных атмосферных слоях в районе АТЭП 4 сентября 1974 г. [3]. В этот день был вынос сахарской пыли, но по мере удаления от африканского побережья нижняя граница этого выноса поднималась и в районе АТЭП (около тысячи километров от побережья) была на высоте около 1–1,5 км. Ниже этого уровня находился «морской» аэрозоль, характеризующийся слабым и практически нейтральным поглощением в непрерывном спектре (кривая 4 на рис. 3, *a*). Выше него — «сухой» континентальный (песчаный) аэрозоль, поглощающий аналогично тому, как поглощал пустынный аэрозоль, например, в Средней Азии в 1970 г. (кривые 2 и 3 на рис. 3, *a*).

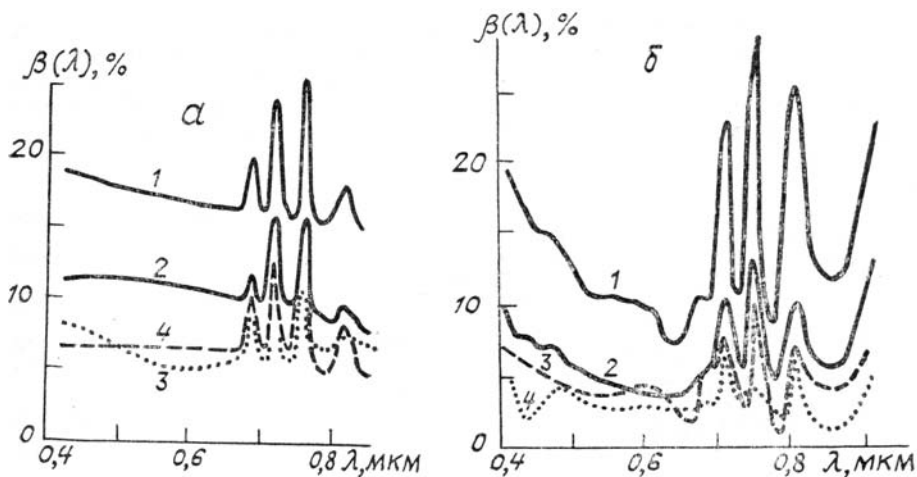


Рис. 3. Относительные спектральные притоки лучистой энергии в отдельных слоях облачной атмосферы в р-не г. Рустави по наблюдениям 5 декабря 1972 г. (*a*): 1 — $\Delta H = 0,8 \div 7,2$ км; 2 — $\Delta H = 1,85 \div 3,3$ км, облачный слой; 3 — $\Delta H = 0,8 \div 1,85$ км, под облаком; 4 — $\Delta H = 3,3 \div 7,2$ км, над облаком; то же, но в р-не АТЭП по наблюдениям 4 сентября 1974 г. (*б*): 1 — $\Delta H = 0,5 \div 6,7$ км; 2 — $\Delta H = 3,3 \div 6,7$ км; 3 — $\Delta H = 1,6 \div 3,3$ км; 4 — $\Delta H = 0,5 \div 1,6$ км

Еще более сложной была вертикальная структура тропосферы во время наблюдений в г. Рустави. На рис. 3, *б* показаны относительные спектральные притоки лучистой энергии в различных атмосферных слоях по наблюдениям в г. Рустави 5 декабря 1972 г. [4]. В этот день на высоте 1,85–3,3 км находились облака слоистообразных форм. Относительный приток в облачном слое с $\Delta p \approx 130$ мб (кривая 2 на рис. 3, *б*) показывает довольно высокое, достигающее до 12%, поглощение в непрерывном спектре и практически нейтральное. В надоблачном слое с $\Delta p \approx 270$ мб наблюдалось, естественно, более низкое (около 5–8%), но также нейтральное поглощение (кривая 4 на рис. 3, *б*).

В самом узком ($\Delta p \approx 100$ мб) подоблачном слое поглощение было гораздо большим, почти таким же, как и в надоблачном, и имело явный максимум поглощения в районе полосы поглощения окислов железа. По-видимому, последние присутствовали в дымах металлургических комбинатов.

Таким образом, в подоблачном слое зарегистрирована повышенная концентрация поглощающего аэрозоля. Облака служили своеобразным «запирающим» слоем, не дающим аэрозолю пройти сквозь них и подняться в верхние слои атмосферы.

4. Заключение

Анализ имеющихся экспериментальных данных позволяет сделать следующее заключение. По поглощательной способности воздушные массы, наблюдавшиеся в экспериментах «КЭНЭКС», «АТЭП», «ПОЛЭКС», «ГАРЭКС» и др., можно разделить на четыре большие группы:

1) условно «чистые» воздушные массы (либо не содержащие практически совсем, либо содержащие очень малое количество поглощающих аэрозольных частиц);

2) воздушные массы, содержащие «сухой» континентальный аэрозоль;

3) воздушные массы, содержащие «морской» (вернее сказать, «обводненный» или водный) аэрозоль — аэрозоль, образованный либо из капелек воды (или растворов солей), либо из нерастворимых частичек, окруженных оболочкой сконденсировавшейся воды (или сублимированного льда); нерастворимые частички могут находиться и на поверхности водяных капель;

4) облака. В проведенных экспериментах «сухой» аэрозоль встречался двух видов:

а) «пустынный» (песчаный), в котором основной поглощающей компонентой является, по-видимому, гематит;

б) «антропогенный», состоящий из сильно и почти нейтрально поглощающих частичек сажи и других веществ, выбрасываемых с дымами, почвенной пылью и др.

В заключение автор приносит искреннюю благодарность профессору, доктору физ.-мат. наук К.С. Шифрину за подсказанную идею выполнения настоящей работы, доктору физ.-мат. наук Л.С. Ивлеву и кандидату физ.-мат. наук В.С. Гришечкину за полезные обсуждения.

1. Биненко В.И., Васильев О.Б., Гришечкин В.С. и др. Полный радиационный эксперимент. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 240 с.

2. Биненко В.И., Васильев О.Б., Гришечкин В.С., Кондратьев К.Я. //Тр. ГГО. Вып. 331. 1976. С. 17–26.

3. Кондратьев К.Я., Бартенева О.Д., Васильев О.Б. и др. //Тр. ГГО. Вып. 381. 1976. С. 67–130.

4. Гришечкин В.С., Васильев О.Б. Спектральный лучистый приток тепла в свободной атмосфере в районе г. Рустави. Проблемы физики атмосферы. Сб. 16. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. С. 28–42.

Ленинградский госуниверситет

Поступила в редакцию
29 ноября 1988 г.

O. B. Vasiljev. On the Absorptivity of Tropospheric Aerosols in the Short Wavelength Range. Part II. Water Droplet Aerosol, Clouds and Multilayer air Masses.

The inflows of radiant energy into the air masses of different types are determined in the paper based on the data of radiation fluxes spectral measurements made in the short wave region at different altitudes in the troposphere. This paper continues the study published in this issue (PP 127–133). The paper presents the results obtained for air masses containing water (or say more correctly water covered) aerosol and clouds in multilayer air masses.