

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЯРКОСТИ АЭРОЗОЛЬНОГО СЛОЯ ФОНОВОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НАД ГОРОДОМ БАКУ**

Ф.И.ИСМАИЛОВ

*Азербайджанское Национальное Аэрокосмическое Агентство Института Экологии
AZ 1106, Баку, пр.Азадлыг, 159*

Исследуется поле яркости фонового аэрозольного слоя загрязнения воздуха над городом Баку. Рассматривается полуэмпирический метод расчёта яркости рассеянного света. Построены изолинии контраста пространственного распределения аэрозольного слоя загрязнения.

ВВЕДЕНИЕ

Аэрозольный фоновый слой загрязнения атмосферного воздуха – важный фактор, определяющий её экологическое состояние, который оказывает сильное отрицательное воздействие на компоненты живой природы: людей, животных, растения; на составляющие неживой природы: почву, воду, строения, материалы и ландшафт в целом [1-3]. В условиях городского смога формирование устойчивого аэрозольного слоя происходит в течении многих десятилетий (более 30÷40 лет), связанного, с одной стороны, с местными метеорологическими условиями и, с другой стороны, с интенсивным загрязнением почвы, водных акваторий и мощными непрерывными выбросами вредных веществ в атмосферу [2].

Основными компонентами фонового аэрозоля являются вторичные частицы диапазона субмикронных размеров, образующиеся из газовой фазы под действием ультрафиолетового излучения Солнца. Будучи продуктом внутриатмосферной генерации вторичные аэрозоли испытывают чрезвычайно сложные изменения с изменениями метеорологической обстановки: поля влажности и смены воздушных масс, температурного и радиационного режима атмосферного воздуха [1,2].

В атмосферном воздухе города Баку сложилась проблемная экологическая ситуация в связи с многолетними интенсивными загрязнениями окружающей природной среды продуктами, прежде всего, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности. Ввиду значительности солнечного облучения, высокой влажности, и сильной турбулентности атмосферного воздуха города Баку генерация вторичного аэрозоля здесь происходит более интенсивно [4,5].

Наиболее эффективным методом исследования поля концентрации атмосферного аэрозоля являются дистанционные оптические методы, позволяющие получить оперативную, объёмную и достоверную информацию о распределении поля яркости фонового аэрозоля. В настоящей работе анализируется большой массив экспериментальных данных о поле яркости дневного неба на территории города Баку и приводится методика исследования угловой структуры яркости фонового аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха.

АНАЛИЗ НАТУРНЫХ ДАННЫХ

Наблюдаемая яркость дневного безоблачного неба зависит от угла возвышения Солнца над горизонтом, углового расстояния θ между Солнцем и точкой наблюдения неба, пространственной структуры и поля концентрации рассеивающей фракции аэрозоля. Количественно характерные особенности

рассеяния света в разных областях небосвода могут быть описаны распределением изофот энергетической яркости вокруг Солнца.

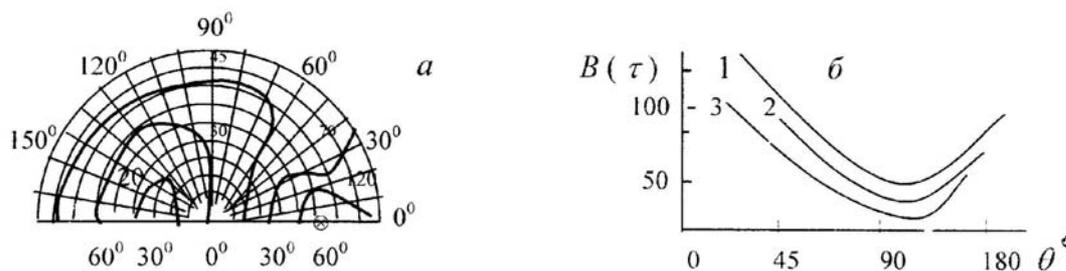


Рис.1.

Распределение изофот средней энергетической яркости ($вт \cdot м^{-2} \cdot стерад^{-1} \cdot мкм^{-1}$) ясного неба по измерениям для $\lambda=0,55\text{мкм}$, при угле возвышения Солнца $45^{\circ} \pm 3^{\circ}$ (Август 2002÷2004, пос.Мушвигабад, до полудня): *a* – в различных солнечных вертикалях и альмукуантаратах; *б* - для солнечного вертикала $Z=0^{\circ}$ (1), альмукуантаратов $Z=60^{\circ}$ (2) и $Z=90^{\circ}$ (3).

На Рис.1 в качестве примера приводятся изофоты яркости $B_{\lambda}(\theta)$ ясного неба для эффективной длины волны солнечного света $\lambda=0,55\text{мкм}$. Как следует из Рис.1.а, изофоты центрируются вокруг Солнца, которые характеризуются сравнительно быстрым уменьшением яркости по мере роста угла возвышения и азимутального угла точки наблюдения. На Рис.1.б даётся угловая зависимость яркости рассеянного света по солнечному вертикалу и по альмукуантаратам. Из Рис.1а и Рис.1б видно, что минимум яркости смещается к углу 105° вместо угла 90° , как это следует в случае релеевского рассеяния. При углах больше 105° и меньше $40^{\circ} \div 50^{\circ}$ происходит быстрый рост кривых 1б, что указывает на преобладание аэрозольного рассеяния.

Угловая зависимость рассеяния света в атмосфере определяется функцией рассеяния $\mu_{\lambda}(\theta)$, которая определяется по наблюдениям яркости неба в альмукуантарате Солнца и из измерений освещённости прямого излучения Солнца (индекс длины волны λ в дальнейшем будем опускать) [3]

$$\mu(\theta) = \frac{B_s(\theta)}{\pi S_0 e^{-m_0 \tau_0} m_0}, \tag{1}$$

где πS_0 - солнечная постоянная, m_0 - оптическая масса атмосферы в направлении Солнца, τ_0 - оптическая толщина атмосферы для вертикального направления, $B_s(\theta)$ – яркость неба в солнечном альмукуантарате, обусловленная однократным рассеянием света.

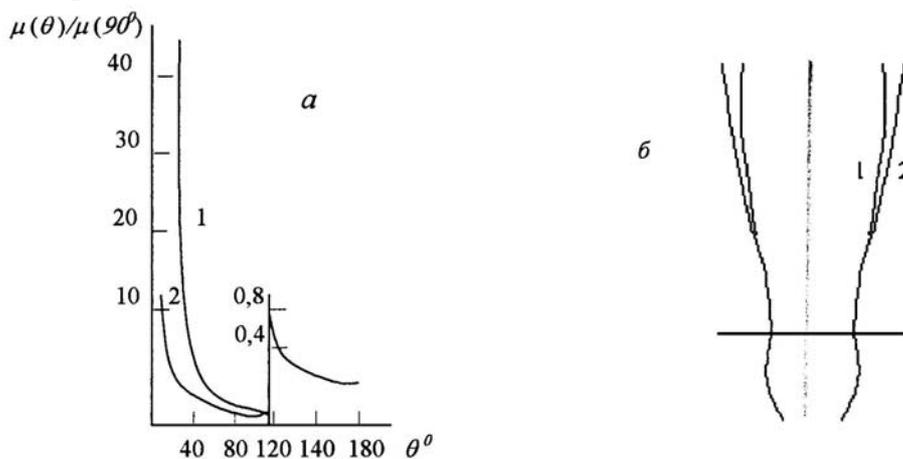


Рис.2.

Относительные (а), абсолютные (б) функции рассеяния для города Баку (1) и пос.Мушвигабад (2) при $\lambda=0,55\text{ мкм}$ (Август 2002 ÷ 2004 г.г.).

Результаты расчётов значений функции $\mu(\theta)$ для фоновых условий пригородного и городского воздуха даётся на Рис.2. Как видно из этого рисунка, аэрозольное рассеяние сильнее проявляется для прямого и обратного рассеяния излучения. Кривые на Рис.2.а более сильно отличаются для углов $\theta \leq 20^\circ \div 30^\circ$. Из Рис.2.б видно, что разность значений функции $\mu(\theta)$ для фоновых условий пригородного воздуха и воздушной прослойки над городом более существенна в области малых углов при её приближении к нулю для больших углов рассеяния. Это указывает на пополнение аэрозольного состава атмосферного воздуха для фонового слоя загрязнения над городом.

МЕТОДИКА РАСЧЁТА УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИИ ПОЛЯ ЯРКОСТИ

I. Формула яркости. Представим яркость аэрозольного слоя фонового загрязнения в виде суммы

$$B(\tau) = B_s(\tau) + B_m(\tau), \quad (2)$$

где $B_s(\tau)$ – яркость однократного и $B_m(\tau)$ – яркость многократного рассеяния света.

Компонента $B_s(\tau)$ вычисляется по известным формулам яркости неба для первого порядка рассеяния [4]. Ввиду малости вертикальной оптической толщины фонового аэрозольного слоя в видимой области спектра яркость $B_s(\tau)$ для произвольно выбранных направлений наблюдения может быть записана в виде

$$B_s(\tau) = \pi F_0 \mu(\tau) P^{m_0} m, \quad (3)$$

где πF_0 – освещённость площадки перпендикулярной солнечным лучам на верхней границе аэрозольного слоя, $m = \sec Z$ – оптическая масса аэрозольного слоя в направлении наблюдения.

Для оценки яркости многократного рассеяния в области аэрозольного слоя воспользуемся экспериментально установленным фактом пропорциональности компонент $B_s(\tau)$ и $B_m(\tau)$ в альмукантарате Солнца [4]. Кроме того, вертикальные профили атмосферного аэрозоля имеют слоистую структуру, в пределах отдельных аэрозольных слоёв наблюдается тесная межуровневая взаимно-корреляционная зависимость аэрозольных концентраций [5].

Отсюда, с учётом равенства (3), найдём, что

$$\frac{B_s(\tau), m \neq m_0}{B_s(\tau), m = m_0} \sim \frac{m}{m_0}, \quad (4)$$

тогда для компонент яркости неба, обусловленных многократным рассеянием внутри аэрозольного слоя, получим выражение

$$B_m(\tau) = \text{const} B_s(\tau) \frac{m}{m_0}. \quad (5)$$

II. Контрастность аэрозольного слоя. Согласно теории переноса диффузного излучения зависимость (5) выражает пропорциональность значений функции $\mu(\theta)$ для различных кратностей рассеяния света в атмосфере. В соответствии с данными наблюдений (Рис.2) эту функцию в области аэрозольного слоя представим в виде

$$\mu(\theta) = \mu_\phi(\theta) + \Delta\mu(\theta), \quad (6)$$

где $\mu_\phi(\theta)$ – функция рассеяния светового излучения фона вне слоя аэрозольного загрязнения, приращение $\Delta\mu(\theta)$ учитывает различие, вызванное аэрозольным слоем (Рис.2.б).

Соответственно коэффициент рассеяния $r(\tau) = B(\tau)/F_0$ фонового аэрозольного слоя загрязнения будет определяться формулой

$$r(\tau) = r_\phi(\tau) + \Delta r(\tau). \quad (7)$$

Пользуясь представлением (6), спектральный контраст K ($K \geq 0$, если $B(\tau) \geq B_\phi(\tau)$) определим в виде

$$K = \frac{B(\tau_0) - B_\phi(\tau_0)}{B_\phi(\tau_0)} = K_0 \exp(-\tau'm), \quad (8)$$

где $K_0 = (r(\tau) - r_\phi(\tau)) / r_\phi(\tau)$ – собственный контраст между аэрозольным слоем и фоном, $\tau' = \tau_0 - \tau$ – оптическая толщина воздуха от аэрозольного слоя в направлении наблюдения.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Вначале проведём обоснование вышеприведённой схемы сравнительного анализа поля яркости аэрозольного слоя с использованием натуральных данных для условий города и пригорода ($\lambda = 0,55 \mu\text{м}$, август 2004 ÷ 2005 гг.). Измерения в городе проводилось на территории Института Экологии, в пригороде – в посёлке Мушвигабад, расположенном на расстоянии 38 км.

На Рис.3.a даётся сравнение значений функции рассеяния (1) для условий города и пригорода в соответствии с представлением (6). С целью выявления преимущественного вклада аэрозольного слоя в значение яркости неба сравнения проведены для прямого ($0^\circ < \theta < 10^\circ$) и обратного ($170^\circ < \theta < 180^\circ$) рассеяния света.

Как ожидалось, аэрозольное рассеяние более существенно в области окосолнечного ореола, причём в условиях повышенного загрязнения аэрозольное рассеяние проявляется и для обратного рассеяния.

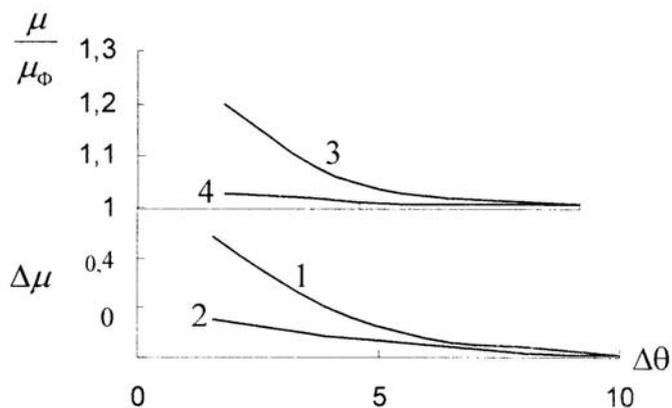


Рис.3.

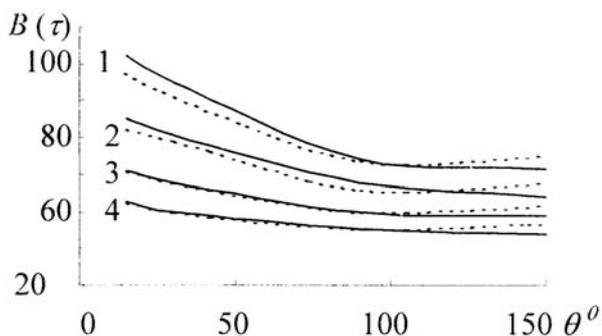
Сравнение средних значений функций рассеяния $\mu(\theta)$, $\mu(\theta)$. $\Delta\theta = \theta - \theta_0$; 2 и 4 - $\theta_0 = 0^\circ$, 1 и 2 - $\theta_0 = 170^\circ$.

Возможность получения оценок яркости аэрозольного слоя по формулам (3) и (5) следует из результатов сопоставления наблюдаемых и рассчитанных значений яркости неба (Рис.4) в соответствии с разложением (2). При расчёте яркости $B(\tau)$ использовались средние значения оптических параметров τ , $\mu(\theta)$. Величина ошибок определения расчётных и экспериментальных значений яркости $B(\tau)$ на Рис.4 находится в пределах ошибок определения функции $\mu(\theta)$, достигающих 25%. Более строгие расчёты связаны с точностью этого параметра. Это обстоятельство действует примерно одинаково в приближённой и более строгой теории. Таким образом, в безоблачных условиях формулы (3) и (5)

удовлетворяют требованиям простоты расчётов и достаточной точности для практики.

Рис.4.

Сопоставление расчетных (линии) и наблюдаемых (пунктир) средних значений яркости неба ($\text{вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{стерад}^{-1} \cdot \text{мкм}^{-1}$) в области (1 и 2) и вне области (3 и 4) аэрозольного слоя ($Z_0 = 60^\circ$), 1, 2 - $Z = 45^\circ$, 3, 4 - $Z = 10^\circ$.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЯРКОСТИ АЭРОЗОЛЬНОГО СЛОЯ ФОНОВОГО
ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НАД ГОРОДОМ БАКУ

На Рис.5 построены изолинии контрастности фонового аэрозольного загрязнения над городом Баку с расстояния для посёлка Мушвигабад. С целью определения пространственной структуры аэрозольного слоя рассмотрены симметричные углы рассеяния от солнечного вертикала. Используются расчётные значения яркости для средних значений параметров τ , $\mu(\theta)$, которые непосредственно определялись путём актинофотометрических наблюдений для условий городской дымки и фоновых условий пригородного воздуха. Из Рис.5.а следует, что аэрозольный слой загрязнения располагается над территорией диаметром 34км и охватывает высоты от 0,5км до 3,5км.

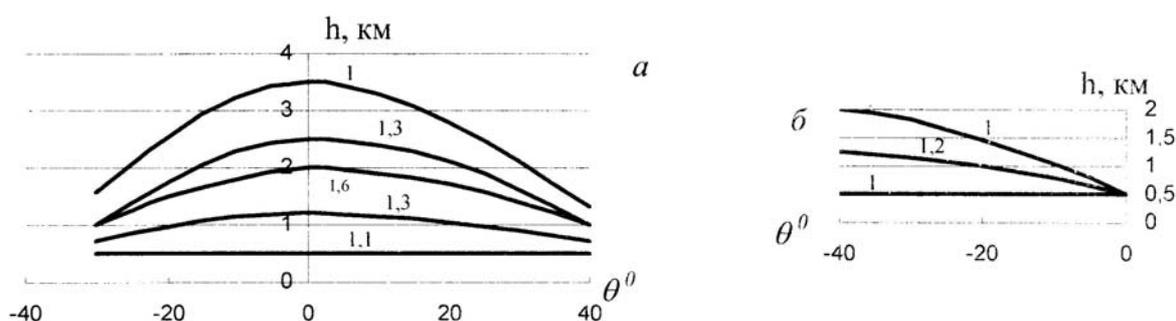


Рис.5.

Контрастность аэрозольного слоя фонового загрязнения воздуха над городом Баку с расстояния посёлка Мушвигабад. ($Z_0=60^0$). а – $A = 133^0$; б – $A = 223^0$.

Изолинии контрастности на Рис.5а заметно растягиваются (менее пологие) в южном направлении в сторону Бакинской бухты. Такая несимметричность контрастности фонового аэрозольного слоя относительно солнечного вертикала показывает, что в этом направлении выбросы антропогенных газовых предшественников аэрозоля происходят более интенсивно. Это обстоятельство указывает на более интенсивное загрязнение прибрежной полосы многолетними, прежде всего, нефтехимическими и коммунально-бытовыми отходами.

На Рис.5.б в дополнение к Рис.5.а даётся пространственное распределение контраста фонового аэрозольного слоя загрязнения на фоне дневного ясного неба при смещении солнечного вертикала в направлении с географическим азимутом $A=45^0$. На этом рисунке обнаруживается левый край аэрозольного слоя, нижняя высота которого остаётся по-прежнему неизменной. Результаты на Рис.5 показывают, что контрастность позволяет провести детальное и масштабное изучение фонового аэрозольного слоя в условиях крупных промышленных центров.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Путём предварительного анализа экспериментальных данных обсуждаются характерные особенности углового распределения яркости дневного безоблачного неба.
- Даётся методический подход расчёта яркости рассеяния света в области высотного аэрозольного слоя загрязнения над городом.
- По данным актинофотометрических измерений построены изолинии контраста фонового аэрозольного слоя в условиях города дымки города Баку. Показано, что указанный слой охватывает высоты от 0,5км до 3,5км, располагается на территории диаметром 34км и наибольшая высота контрастности соответствует уровню 2км.

1. К. .Whitby, *Atmospheric Environment*, **12** (1978) 135.
2. Б.Бретшнайдер, И.Курфюрст, *Охрана воздушного бассейна от загрязнений*, Ленинград, Химия, (1989) 14.
3. Г.П.Гущин, *Методы, приборы и результаты измерения спектральной прозрачности атмосферы*, Ленинград, Гидрометеоиздат, (1988) 14.
4. F.I.Ismailov, *Fizika*, **VIII** № ЧЧЧ (2002) 47.
5. F.I.Ismailov, *Fizika*, **IX** № 2 (2003) 7.

**BAKİ ŞƏHƏRİ ÜZƏRİNDƏ HAVANIN FON JİRKLƏNMƏSİ AEROZOL GATININ
PARLAGLIĞININ PAYLANMASI**

F.I.ISMAILOV

Bakı şəhəri üzərində havanın fon cirkənmə qatının parlaqlığı tədqiq edilir. Səpələnən işıqın parlaqlığının hesablanması üçün yarım empirik üsula baxılır. Aerosol cirkənmə qatının fəzada paylanmasına dair kontrastın izoxətləri verilir.

**DISTRIBUTION OF THE BRIGHTNESS OF ATMOSPHERIC BACKGROUND
POLLUTION AEROSOL LAYER UNDER CITY OF BAKU**

F. I. ISMAILOV

The day sky light in altitude background aerosol layer under city of Baku has been investigated. The empirical method of calculations of the scattering light have been considered. Space distribution for the izoline of contrast of aerosol pollution layer has been given.

Редактор: А.Гарибов