

УДК 551.510.42+523.58

**МОДЕЛЬ ПЛОСКОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ АЭРОЗОЛЯ И
ОЦЕНКА ГЕНЕРАЦИИ ЕГО МАССЫ КОНВЕКТИВНЫМИ
ДВИЖЕНИЯМИ**

Канд. физ.-мат. наук О.Е.Семенов

Уточнено решение полуэмпирической модели генерации аэрозоля конвективными движениями. Получены средние многолетние оценки массы тропосферного аэрозоля над основными пустынями Казахстана.

В нижней тропосфере, где находится до 90 % атмосферного аэрозоля, на долю частиц антропогенного происхождения приходится не более 10 %. Около 30-40 % составляют солевые частицы морского происхождения и примерно столько же - аэрозоли, генерированные поверхностью Земли бурями и конвективными движениями. Минеральный аэрозоль почвенно-эрозионного происхождения считается одним из важнейших компонентов атмосферы и в аридных регионах достигает от 50 до 80 % (по массе) полного количества сухого аэрозоля в атмосфере [2]. Основным источником этого аэрозоля являются пустыни, занимающие около 30 % территории суши. При современном развитии процессов опустынивания увеличивается поступление аэрозолей в атмосферу. С другой стороны, аэрозоль сам является причиной климатического развития процессов опустынивания и увеличения дискомфорта климата на окружающих территориях. Он влияет на радиационные и микрофизические свойства воздушных масс, поглощает и рассеивает солнечную радиацию, уменьшает ее приход к поверхности Земли и изменяет спектральный состав. Во время пыльных бурь отмечается снижение приземной температуры воздуха днем и повышение ночью, происходит уменьшение суточной амплитуды температуры на 15-20 °С, до 30 % уменьшается поток прямой солнечной радиации, понижается температура почвы. Снижение температуры почвы и приземного воздуха, изменение спектрального состава солнечной радиации ведет к увеличению сроков созревания сельскохозяйственных культур, что отмечено китайскими учеными [3]. Таким образом, аэрозоль активно влияет на формирование региональных климатов аридных областей и Земли в целом, на хозяйственную деятельность и здоровье [2, 3, 5, 6].

Тропосферный аэрозоль пустынного происхождения оказывает воздействие на локальный и региональный климат, особенно в экстремальных условиях пыльных (песчаных) бурь. Несомненно его влияние

и на глобальные изменения климата. Однако выполнить корректную оценку воздействия аэрозоля на климат чрезвычайно сложно. Пространственно - временная изменчивость характеристик аэрозоля настолько велика, а данные наблюдений в такой степени фрагментарны, что пока еще невозможны достаточно достоверные оценки мощности глобальных и региональных источников аэрозоля.

Поверхность почвы и растительность являются плоскостным источником поступления аэрозолей в атмосферу не только при бурях, но и за счет вертикальных конвективных движений воздуха. Этот механизм подъема аэрозолей в атмосферу и последующего осаждения на поверхность исследовался А.Ф. Ковалевым в различных географических зонах, в том числе для полупустынных условий Средней Азии [4]. Наблюдения за временным ходом оптической толщи атмосферы (τ) и отбор проб аэрозоля позволили ему проследить за суточной динамикой поведения в атмосфере поднятого с поверхности земли аэрозоля. Оптическая толщина атмосферы росла с 8 часов до 16 часов, а затем начинала уменьшаться, достигая минимума к 24 часам. Рост τ утром и днем сопровождался увеличением содержания аэрозоля в пограничном слое атмосферы. Уменьшение τ после 16 часов объясняется началом обратного процесса - стока ранее поднятого аэрозоля из атмосферы на подстилающую поверхность. Как отмечено О.Д. Бартеньевой с соавторами, в послеполуденное время в пустыне начинается выхолаживание поверхности почвы, т.к. нагрев ее за счет притока коротковолновой радиации делается в энергетическом отношении меньше собственного длинноволнового теплового излучения [6]. Выхолаживание поверхности зависит от прозрачности атмосферы и оказывается тем больше, чем она выше. Часть аэрозоля, по наблюдениям Ковалева, не успевала седиментировать на поверхность из-за развития мощных приземных инверсий температуры. По данным серии измерений длительностью 3-5 суток наблюдалось ежедневное увеличение значения τ на 5-10 % относительно предыдущих суток. После вторжения новых воздушных масс и осадков оптическая толщина атмосферы значительно уменьшилась из-за уноса и вымывания аэрозолей. Исследования Ковалева показали, что наряду с эоловыми процессами по подъему частиц почвогрунтов в атмосферу действует практически ежедневный процесс подъема аэрозолей в атмосферу в часы с положительным значением радиационного баланса подстилающей поверхности (R) и стока его на землю в часы с отрицательными величинами.

При создании модели плоскостных источников генерации пыли конвективными движениями естественно предположить, что приращение массы аэрозоля в приземном слое атмосферы в единицу времени пропорционально массе частиц M , участвующих в процессе подъема в

атмосферу, и приращению величины радиационного баланса подстилающей поверхности, т.е.

$$dM = k \cdot M \cdot dR. \quad (1)$$

Решение уравнения (1) с учетом эффекта накопления аэрозоля в атмосфере можно представить в виде

$$M = M_0 \cdot \exp(R/R_0) (1 + 0,05)^{n-1}, \quad (2)$$

где M_0 - масса аэрозоля в столбе атмосферы в начальный момент процесса конвективного подъема, R_0 - минимальная часовая сумма радиационного баланса, при котором возможен подъем аэрозолей конвекцией, n - продолжительность естественного синоптического периода. Последний множитель уравнения (2) учитывает эффект накопления аэрозоля в атмосфере из-за неполного его выпадения на поверхность в часы с отрицательным балансом. По данным климатических справочников и результатам измерений Ковалева были получены оценки параметров формулы (2). Часовая сумма R_0 оказалось равной $0,35 \text{ Мдж м}^{-2}$, $M_0 = 0,72 \cdot 10^{-3} \text{ г м}^2$ [8].

Привлекая наблюдения метеостанций за радиационным балансом, можно рассчитывать по этой простой полуэмперической модели поступление массы аэрозолей в атмосферу из аридных климатических зон как за короткие естественные синоптические периоды, так и осредненные за большие промежутки времени. В последнем случае расчетную формулу (2) целесообразно упростить за счет отказа от учета эффекта накопления, отбросив множитель $(1 + 0,05)^{n-1}$.

Для определения масштабов поступления аэрозолей в нижние слои тропосферы выполнены расчеты для пустынной зоны Приаралья и Южного Прибалхашья по средним многолетним данным метеостанций Аральское Море, Тахиаташ и Айдарлы. Получены средние многолетние суточные значения и годовой ход месячных сумм массы аэрозоля в столбе атмосферы с основанием один квадратный метр. Суммарные средние годовые поступления достигают $44,6 \text{ г/м}^2$ на М Аральское Море, $79,15 \text{ г/м}^2$ - на М Тахиаташ и $52,8 \text{ г/м}^2$ - на М Айдарлы [8].

Полученные значения указывают на уменьшение генерации аэрозоля с увеличением географической широты местности вследствие уменьшения значения величины R . Поэтому при оценке генерации массы аэрозоля конкретной пустыней необходимо привлечение не только информации об их площадях, но и выбор значения величины M в соответствии с географическим ее местоположением. В таблице приведены средние многолетние оценки генерации аэрозоля в пустынях юга и юго-востока Казахстана.

Значения масс аэрозоля, поднимаемого в атмосферу конвективными движениями в пустынях Казахстана

Пустыня	Площадь пустыни, км ²	Масса аэрозоля, млн т/год
Кызылкумы	$3,0 \cdot 10^5$	23,7
Приаральские Каракумы	$3,5 \cdot 10^4$	1,6
Бетпак- Дала	$7,5 \cdot 10^4$	3,8
Сарыесикотрау	$2,4 \cdot 10^4$	1,3
Таукумы	$8,0 \cdot 10^3$	0,4
Пески междуречья Каратала и Лепсы	$2,0 \cdot 10^4$	1,1
Моинкум	$4,0 \cdot 10^4$	2,1

Расчет массы аэрозоля для пустыни Кызылкумы проведен по данным станции Тахиаташ ($\varphi \approx 42^\circ$ с.ш.); для Приаральских Каракумов - по М Аральское Море ($\varphi \approx 47^\circ$ с.ш.); для остальных пустынь - по М Айдарлы ($\varphi \approx 44^\circ$ с.ш.). Площади пустынь взяты из источников [1, 7]. Следует заметить, что общая площадь пустынь Южного Прибалхашья примерно равна $7 \cdot 10^4$ км², что несколько превышает суммарную площадь песков Таукум, Сарыесикотрау и песков междуречья Лепсы-Каратал. Поэтому в Южном Прибалхашье средняя многолетняя годовая генерация аэрозоля достигает 3,7 млн т. Суммарная масса аэрозоля, поднимаемого за год со всех приведенных (см. таблицу) пустынь Казахстана, достигает весьма значительной величины (34 млн т).

Исследования показали, что минеральный аэрозоль в пустынных зонах и на прилегающих к ним территориях - важный и постоянный фактор, влияющий на радиационный климат. Полученная простая модель позволяет рассчитывать генерацию аэрозоля за счет конвективных процессов. Уточнение параметров модели для конкретных географических районов позволит более корректно оценить источники поступления аэрозоля в нижние слои тропосферы и следить за динамикой потоков частиц из пустынь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья / Под ред. И.И. Скоцеляса. - СПб.: Гидрометеоиздат, 1995. - 269 с.
2. Аэрозоль и климат / Под ред. К.Я. Кондратьева. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - 541 с.

3. Голицын Г.С., Шукуров А.Х. Температурные эффекты пылевого аэрозоля на примере пыльных бурь Таджикистана // Доклады АН СССР. - 1987. - Т.297, № 6, - С. 1334 - 1337.
4. Ковалев А.Ф. Некоторые характеристики поверхности земли как источника атмосферного аэрозоля // Тр. ИЭМ. - 1990. - Вып. 51(142). - С. 83 - 87.
5. Об охлаждении приземного слоя воздуха вследствие пылевого замутнения атмосферы / Г.С. Голицын, А.Х. Шукуров, С.Ф. Абдуллаев, Б.И. Назаров // Советско-американский эксперимент по изучению аридного аэрозоля. - СПб., 1992. - С. 56 - 63.
6. Прозрачность толщи атмосферы в видимой и ближней ИК-области спектра / О.Д. Бартеньева, Н.И. Никитинская, Г.Г. Сакунов, Л.К. Веселова. - Л.: Гидрометеиздат, 1991. - 224 с.
7. Пустыни / А.Г. Бабаев, Н.Н. Дроздов, И.С. Зонн, З.Г. Фрейкин. - М.: Мысль, 1986. - 319 с.
8. Семенов О.Е. Радиационнобалансовая модель плоскостных источников пыления поверхностей и оценка фоновых сухих выпадений // Гидрометеорология и экология. - 1996. - № 2. - С. 38 - 43.

Казахский научно-исследовательский институт
мониторинга окружающей среды и климата

АУА ТОЗАҢЫНЫҢ ЖАЗЫҚТЫҚ ҚАЙНАР ҮЛГІСІ МЕН ОНЫҢ САЛМАҒЫНЫҢ КОНВЕКТИВТІК ҚОЗҒАЛЫСТАРМЕН ҚОЗҒАЛУЫН БАҒАЛАУ

Физ-мат. ғ. канд. О.Е. Семенов

Конвективтік қозғалыстармен болатын біртекті ауа тозаңының жартылай эмпириялық үлгісінің шешімі толықтандырылды. Қазақстанның негізгі шөлдеріндегі атмосфераның төменгі қабатындағы (тропосфераның) тозаң салмағының көпжылғы орташа бағасы алынды.