

УДК 551.515.3 (262.83)

О ВЫПАДЕНИИ АРАЛЬСКОГО АЭРОЗОЛЯ НА  
ПОДСТИЛАЮЩУЮ ПОВЕРХНОСТЬ РЕГИОНА

О.С. Галаева

Канд. физ.-мат. наук О.Е. Семенов

*Приводятся две модели для описания процесса выпадения аэрозоля из шлейфов выносов пыльных бурь осушенного дна Арала. Эмпирическая модель для климатических оценок сухих выпадений в Приаралье основана на их измерениях в дельте Амударьи и экспедиционных исследованиях бурь на бывшем дне моря. Модель позволила получить климатическую карту выпадения аральского аэрозоля на казахстанской части Приаралья по ранее полученным данным о средней многолетней мощности источника выноса, которая хорошо согласуется с картой узбекских ученых. Вторая полуэмпирическая модель позволяет анализировать процессы выпадения частиц на поверхность по данным о высоте их подъема, гидродинамической крупности и динамической скорости потока.*

Измерением выпадений аэрозолей из атмосферы на подстилающую поверхность в Приаралье занимались две группы исследователей из Узбекистана: одна из Среднеазиатского научно-исследовательского института ирригации [8,10], вторая из Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института [4].

Наиболее детальные измерения в дельте р. Амударьи выполнены под руководством Р.М. Разакова и К.А. Коснозарова [8,10]. На территории Каракалпакии и на прилегающей к ней осушенной части дна моря ими устанавливались уловители для отбора проб выпадающих из атмосферы сухих аэрозолей. Число точек отбора достигало 43. Круглогодичные наблюдения за осаждением аэрозолей позволили получить за пять лет измерений (1982-1986 гг.) более 1600 проб и построить среднюю за этот период карту сухих выпадений в Южном Приаралье. Химические анализы проб позволили построить и карту содержащихся в них растворимых солей. Результаты этих исследований показали, что максимальная масса общих выпадений аэрозолей и солей приходится на осушенное дно Аральского моря и район коренного берега. По мере удаления от прежнего берега моря масса выпадений быстро уменьшается и возрастает вокруг крупных солончаков в дельте Амударьи.

Сухие выпадения на осушенном дне моря достигали 300 - 600 т/км<sup>2</sup> в год. В прибрежной части дельты масса осажденных аэрозолей быстро уменьшалась по мере удаления от источника выноса и на расстоянии 10-15 км уже была равна 90 т/км<sup>2</sup>. Авторы исследований отметили, что наблюдения отдельных лет носят случайный характер и не отражают закономерностей эолового выноса и осаждения частиц пыли и солей со дна моря [8]. Позднее ими были опубликованы более полные данные измерений по 1991 год включительно [10]. Эти десятилетние измерения показали и большую межгодовую изменчивость массы сухих выпадений в дельте р. Амударьи.

Результаты измерений на метеорологических станциях на территории Узбекистана и Туркмении, выполненные ташкентскими метеорологами, дали еще меньшие величины. По их данным, на М Муйнак масса аэрозолей, выпадающих на поверхность, равна 42,5 т/км<sup>2</sup> [4]. Таким образом, результаты экспериментальных исследований не подтверждают широко распространенных в массовой печати гипотез о гигантских поступлениях солей и аэрозолей Арала на всю территорию Центральной Азии - основная масса твердой фазы выпадает вблизи самого водоема. Этот вывод согласуется и с результатами численного моделирования переноса песчаного аэрозоля на гидродинамической модели бурь, полученными И.В. Каиповым [5].

Измерения сухих выпадений в дельте Амударьи не позволяют определить вклад непосредственно аральского аэрозоля в формирование экологической нагрузки на регион, т.к. он попадает сюда вследствие адвекции запыленных потоков воздуха северных направлений во время пыльных бурь на осушенном дне моря. На планшеты для улавливания аэрозолей осаждаются и аэрозоль, принесенный при других направлениях ветра во время бурь на континентальной части суши, хотя для Южного Приаралья его масса может быть и незначительна из-за особенностей циркуляционных условий. Кроме этого, поверхность почвы и растительность являются плоскостным источником генерации аэрозолей в атмосферу за счет вертикальных конвективных движений воздуха днем и последующего осаждения поднятых частиц на земную поверхность ( и планшеты для наблюдений) в вечерние и ночные часы [7,9].

Повседневность конвективного механизма подъема частиц позволяет считать его ответственным за формирование фонового аэрозольного загрязнения атмосферы естественного происхождения и фоновых сухих выпадений на поверхность. Таким образом, сухие выпадения аэрозоля естественного происхождения на поверхность региона формируются двумя природными механизмами поднятия частиц в атмосферу: во время сильных ветров при возникновении пыльных бурь и повседневный - за счет развития конвективных процессов в атмосфере. Поэтому сухие выпадения генетически следует делить на выпадения от шлейфов выноса пыльных бурь и фоновые выпадения.

Оценка средних многолетних фоновых сухих выпадений, вызванных конвективными потоками в Приаралье, показала, что в вершине дельты р. Амударьи (М.Тахиаташ) они достигают в год  $79 \text{ т/км}^2$ , в Северном Приаралье (М.Аральское Море) -  $45 \text{ т/км}^2$  [9].

#### Климатическая модель расчета выпадений аэрозоля из шлейфов бурь

Зная порядок величины фоновых сухих выпадений ( $M_\phi$ ) в дельте Амударьи, можно определить и сухие выпадения от выносов аэрозоля со дна Арала во время бурь, найти закономерность их осадения. Для этого нужно рассмотреть изменение с расстоянием разности массы всех осажденных на планшеты частиц  $M$  и фоновых сухих выпадений ( $M-M_\phi$ ). Удобнее исследовать безразмерную величину  $(M-M_\phi)/(M_o-M_\phi)$ , где  $M_o$  - масса сухих выпадений на границе источника выноса, т.е. на нулевом удалении от осушенной части дна моря ( $X=0$ ). В этой точке  $(M-M_\phi)/(M_o-M_\phi) = 1$ . При значительном увеличении расстояния  $X$  отношение должно стремиться к нулю из-за уменьшения разности ( $M-M_\phi$ ).

На рис. 1 в полулогарифмических координатах приведены результаты опубликованных Разаковым и Коснозаровым измерений сухих выпадений в дельте Амударьи на различных удалениях от бывшего коренного берега Арала [8,10]. При построении рисунка из общей массы выпавших аэрозолей нами были вычтены фоновые.  $M_\phi$  находились для каждого года из условия наилучшего соответствия экспоненте кривой выпадения массы. Фоновые выпадения изменялись от года к году в интервале от  $56$  до  $70 \text{ т/км}^2$ , оставаясь в пределах указанных выше средних многолетних величин. Большой разброс точек подтверждает вывод авторов измерений о сложности закономерностей сухих выпадений. Даже улучшение материалов наблюдений за счет исключения  $M_\phi$  из общей массы осажденных аэрозолей не позволило нам использовать данные 1985 года, т.к. в них совершенно не просматривается какая-либо зависимость от расстояния - выпадения на территории дельты Амударьи оказались в этом году больше, чем на осушенном дне моря. По-видимому, местные пыльные бури в дельте оказались сильнее дефляционных процессов на дне. Проведена аппроксимирующая результаты эмпирических измерений нелинейная зависимость

$$(M-M_\phi) = (M_o-M_\phi) \exp\left(-\frac{X}{35}\right), \quad (1)$$

где  $M$  - сухие выпадения аэрозолей на поверхность на расстоянии  $X$  от источника выноса,  $\text{т} \cdot \text{км}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ ;  $M_o$  - сухие выпадения аэрозолей на границе источника выноса;  $M_\phi$  - фоновые сухие выпадения;  $X$  - расстояние от источника, км.

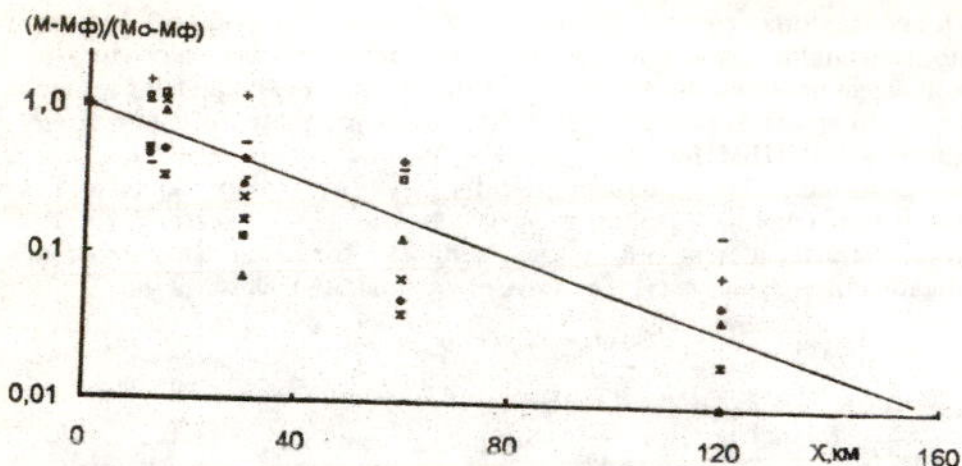


Рис. 1. Нормированная зависимость сухих выпадений аэрозоля при удалении от источника выноса в Южном Приаралье. Одинаковыми знаками нанесены данные одного года.

Коэффициент пропорциональности в показателе степени экспоненты (1) показывает, что на удалении от источника в 35 км масса выпавшего из потока аэрозоля на поверхность земли уменьшается в  $e$  раз. Как видно (см.рис.1), на расстоянии 160 км от источника выноса масса сухих выпадений уменьшается в 100 раз по сравнению с ней на прежнем берегу моря.

#### Оценка сухих осаджений от шлейфов бурь в Северном Приаралье

Формула (1) получена по материалам измерений нескольких лет, поэтому ее можно использовать лишь для оценок средних многолетних масс сухих выпадений за год в Северном Приаралье из ветропесчаных потоков, формирующихся в основных источниках выноса на казахстанской части осушенного дна моря. Для характеристики годовой мощности выноса аэрозолей из этих источников в различных направлениях служат средние многолетние розы векторов переноса песка по 16 румбам [1]. Вектор каждого румба  $M_p$  показывает годовую массу частиц твердой фазы, выносимую ветром через нормально ориентированную к направлению переноса плоскость, ограниченную высотой приземного слоя атмосферы  $h$  и шириной фронта переноса в один км ( $M_p$ ). Выпадение массы аэрозолей из потока  $M_p$  происходит на горизонтальную плоскость (рис.2). Поэтому, чтобы воспользоваться формулой (1), необходимо найти связь между вектором выносимой массы  $M_p$  и вектором осаждаемой массы  $M_p \downarrow$ .

Поскольку она строится для векторов одного направления, то можно, очевидно, далее оперировать с их модулями. Для получения такой связи послужили экспедиционные измерения профилей расходов песка во время бурь и сухих выпадений на поверхность земли экспедицией КазНИГМИ в 1992 году (табл.1).

В табл.1 приведены результаты измерений сухих выпадений за 4 суток, в течение которых наблюдались песчано-солевые бури. Результаты этих измерений также аппроксимируются зависимостью, аналогичной формуле (1), с другими числовыми параметрами

$$(M - M_{\phi}) = (M_0 - M_{\phi}) \exp\left(\frac{X}{1,66}\right). \quad (2)$$

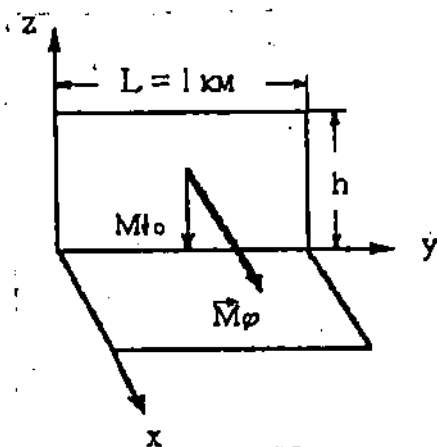


Рис.2. Векторы выноса и выпадения массы песчаного аэрозоля в направлении  $\phi$ .

$M_{\phi}$  - вектор выносимой массы песка;  $M_{\downarrow}$  - вектор сухих выпадений массы аэрозолей из потока на границе источника;  $L = 1$  км - ширина фронта переноса;  $h$  - высота приземного слоя атмосферы.

Таблица 1

Сухие выпадения частиц твердой фазы из потока ( $\text{т}/\text{км}^2$ ) на поверхность на различных расстояниях от источника выноса. Экспедиция КазНИГМИ 1992 год

Параметр сухих выпадений	Расстояние от источника, м					
	0	200	700	1500	3100	6300
$M_{\downarrow}$	52,6	36,8	41,6	19,7	9,5	6,3
$M_{\downarrow} - M_{\phi\downarrow}$	52,4	36,6	41,4	19,5	9,3	6,1
$(M_{\downarrow} - M_{\phi\downarrow}) / (M_{\downarrow} - M_{\phi\downarrow})$	1,0	0,7	0,8	0,4	0,18	0,12

Фоновые сухие выпадения за 4 суток были рассчитаны по модели [9] и составили  $M_\phi = 0,2 \text{ г/м}^2$ . Выпадения на нулевом расстоянии от источника выноса (см. табл. 1) получены не путем непосредственных измерений, а экстраполяцией линии зависимости  $M = f(X)$  в полулогарифмических координатах, т.к. их измерения на подвижном песке на уровне поверхности представляют серьезные методические трудности. Масса песка, переносимая за эти четыре бури, оказалась равной  $355 \text{ т/км}$ , отношение  $M_o/M_\phi 0,15$ , т.е.

$$M_o = 0,15 M_\phi. \quad (3)$$

Это значение близко к результатам численного моделирования выпадения частиц из потока Каипова [5]. По его исследованиям, на первом километре своего движения от источника выноса поток терял около 20 % своей массы. Очевидно, что значение числового коэффициента в формуле (3) является функцией распределения частиц по размерам и поэтому может изменяться в некоторых пределах для различных песков. Вектор ветрового выноса песка при бурях из источника  $M_\phi$  не содержит в себе фоновых значений сухих выпадений. Поэтому для вычислений сухих выпадений от бурь по информации о розах векторов переноса песка [1] уравнение (1) должно быть упрощено и записано в виде

$$M(X) = M_o \exp\left(-\frac{X}{35}\right), \quad (4)$$

где  $M_o$  определяется из (3). Тогда окончательная формула для расчетов сухих выпадений от аральских источников выноса в направлении  $\phi$  будет

$$M(X) = 0,15 \cdot M_\phi \cdot \exp\left(-\frac{X}{35}\right). \quad (5)$$

Для построения карты сухих выпадений в Приаралье вся территория региона на карте масштаба 1:1 000 000 была разбита на прямоугольнички со сторонами  $20' \times 20'$ . Для центров этих прямоугольничков и рассчитывались массы сухих выпадений  $M(X)$  по известным значениям  $M_\phi$  каждого румба от всех пяти источников выноса аэрозоля казахстанской части осушенного дна моря [1] и расстоянию ( $X$ ) от границ источников в этом направлении. Затем проводилось суммирование полученных значений сухих выпадений в каждом прямоугольничке от этих 5 источников выноса. По полученным числовым значениям масс осажденных частиц в центрах прямоугольничков были проведены изолинии равных значений сухих выпадений. Расчеты вы-

полнялись для размеров источников выноса аральского аэрозоля, образовавшихся при падении уровня воды на 15 м: о.Лазарева и о.Возрождения, о. Барсакельмес, Восточного, Сарышыганакского и Кокаральского.

На рис. 3 представлена полученная карта средних многолетних годовых масс сухих выпадений на поверхность региона из шлейфов выносов песчано-солевых бурь, наблюдавшихся на казахстанской части осушенного дна Арала (М.О.Лазарева до распада СССР принадлежала к системе Гидрометслужбы Казахстана). Модели формирования выноса и выпадения аральского аэрозоля позволили впервые оценить в чистом виде вклад песчано-солевых бурь в процесс образования сухих выпадений в регионе. Результаты моделирования дают хорошее согласование по величинам выпадений с экспериментальными оценками Разакова и Косназарова [8,10].

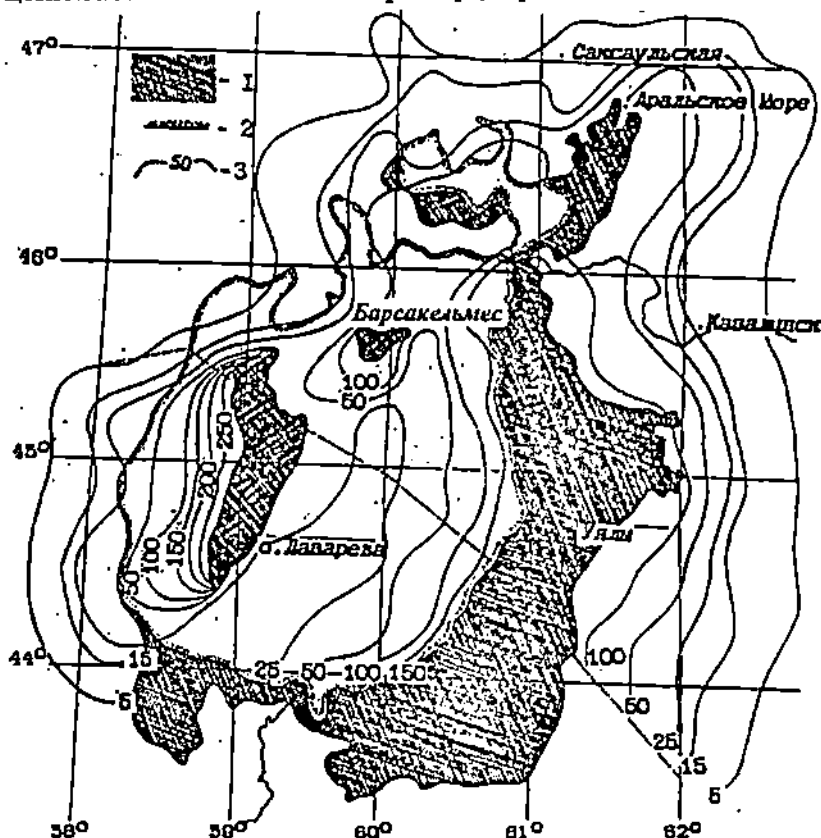


Рис.3. Карта-схема средних многолетних значений сухих выпадений песчано-солевого аэрозоля ( $t \cdot km^2 \cdot год^{-1}$ ) от дефляционных процессов на осушенной части дна Аральского моря:

1 - площадь осушенного дна моря; 2 - современная береговая линия; 3 - изалинии сухих выпадений

На рис. 4 дана карта средних многолетних значений суммарных выпадений на казахстанской части Приаралья из шлейфов бурь и от конвективного подъема частиц с поверхности, которая получена из предыдущей путем добавления к ней массы средних многолетних сухих фоновых выпадений  $M \downarrow_{\phi} = 45 \text{ т} \cdot \text{км}^2 \cdot \text{год}^{-1}$  [9]. Сравнение ее с картой сухих выпадений в Южном Приаралье [8] показывает, что в Восточном Приаралье в прибрежной части выпадает на поверхность примерно в 1,5 раза больше аэрозолей - до  $145 \text{ т} \cdot \text{км}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ . В Северном Приаралье сухие выпадения по порядку величины совпадают с их значениями в дельте Амударьи ( $90-100$ )  $\text{т} \cdot \text{км}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ . Следует отметить, что на юго-востоке Приаралья сухие выпадения должны быть несколько больше полученных нами результатов, т.к. здесь необходимо учитывать вынос и выпадение аэрозоля с узбекской части осушенного дна моря.

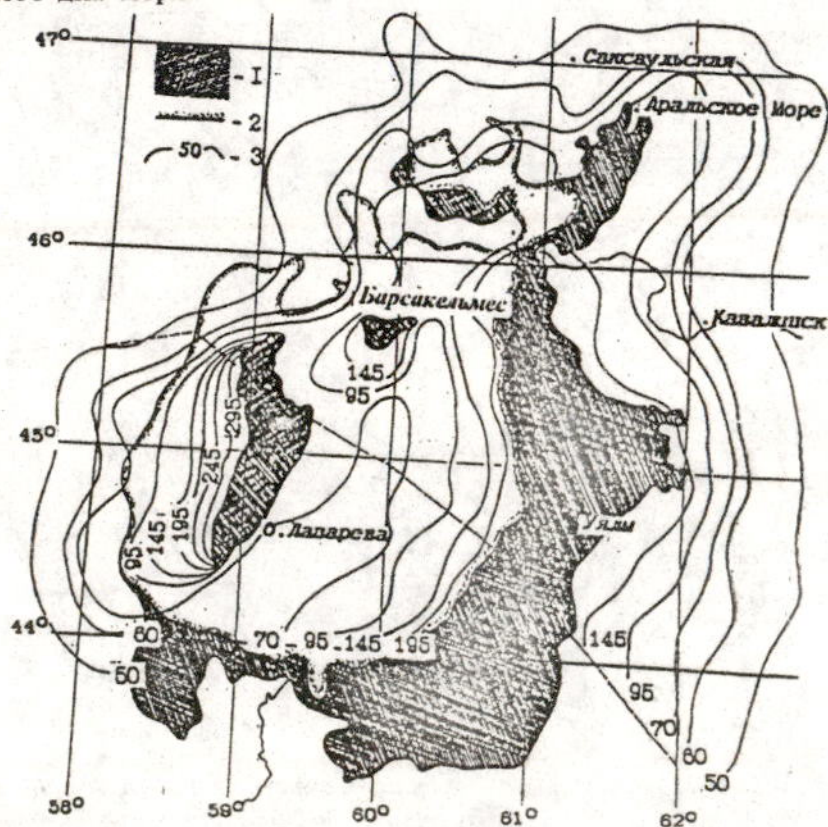


Рис. 4. Средние многолетние значения суммарных сухих выпадений в Казах-  
станской части Приаралья от шлейфов бурь и конвективного подъема  
частиц с поверхности ( $\text{т} \cdot \text{км}^2 \cdot \text{год}^{-1}$ ). Усл. обозн. см. рис. 3.

Это замечание относится и к карте средних многолетних сухих  
выпаждений солевого аэрозоля за год, представленной на рис. 5. Она



получена по карте (см.рис.3), исходя из предположения, что в массе аэрозоля солей содержится 3 %. Именно такого порядка величины содержания солей в выпадающем аэрозоле были получены по результатам наших экспедиционных измерений сухих осадений на осушенном дне моря (2-3 %). По исследованиям узбекских ученых, в дельте Амударьи содержание солей в выпадающем аэрозоле достигает существенно больших величин (5-6 %), увеличиваясь непосредственно у солончаков до 20-30 % и даже изредка до 40 %. Поэтому солевые выпадения в Северном и Восточном Приаралье существенно меньше, чем в дельте Амударьи, достигая в прибрежной полосе (1,5 - 3) т · км<sup>2</sup> · год<sup>-1</sup> (см.рис.5).

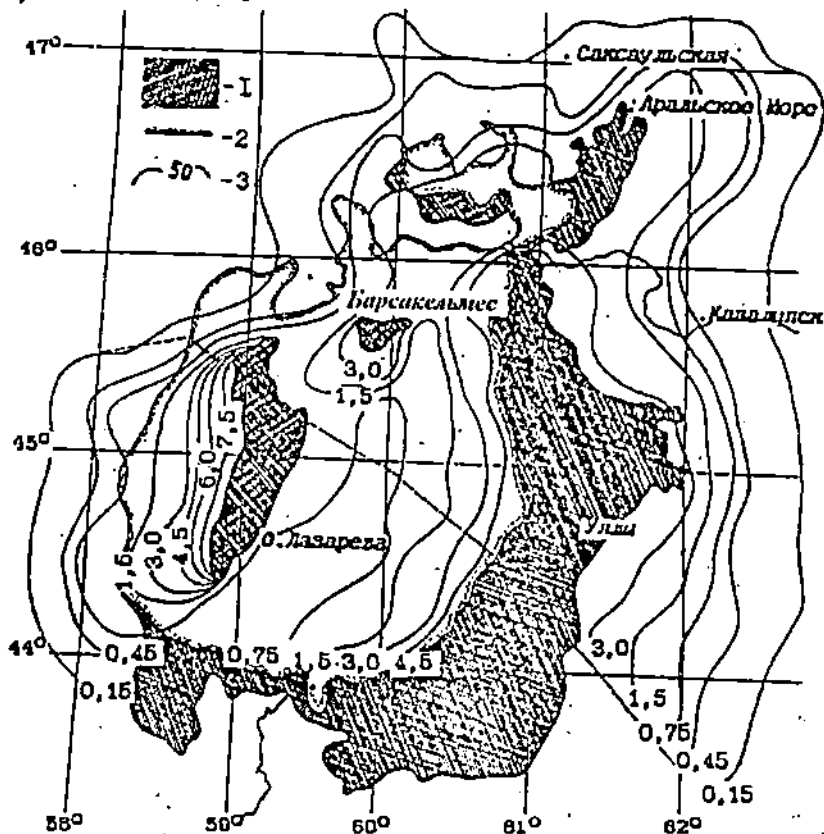


Рис.5. Карта-схема средних многолетних значений сухих выпадений солевого аэрозоля (т · км<sup>2</sup> · год<sup>-1</sup>) от дефляционных процессов на осушенной части дна Аральского моря. Усл. обозн. см. рис.3.

Хорошее согласование рассчитанных нами величин сухих выпадений с измеренными в дельте Амударьи узбекскими учеными позволяет сделать вывод о правильной оценке мощности Аральского источника выноса аэрозолей 50% обеспеченности - 1,17 млн т в год [1], которая была положена в основу расчетов.

Модель выпадения массы аэрозоля из потока на подстилающую поверхность из шлейфа бури

Полученная карта сухих выпадений в Приаралье позволила оценить этот процесс в среднем многолетнем аспекте. Однако выпадения от отдельных мощных бурь могут существенно отличаться от этой осредненной картины. Попробуем представить упрощенную модель трансформации ветропесчаного потока бури по мере его удаления от источника выноса.

Для стационарного монодисперсного двумерного потока частиц в пограничном слое атмосферы уменьшение массы аэрозоля в нем вдоль координаты  $X$  прямо пропорционально массе частиц песка  $M$ , гидродинамической крупности  $\omega_s$  и обратно пропорционально высоте подъема  $H$  и динамической скорости потока  $u$ .

$$\frac{dM}{dX} = -K \cdot \frac{\omega_s}{u} \cdot \frac{M}{H}, \quad (6)$$

где  $K$  - коэффициент пропорциональности. Разделив переменные, перепишем (6) в виде

$$\frac{dM}{M} = -K \cdot \frac{\omega_s}{u} \cdot \frac{1}{H} dX, \quad (7)$$

Из условия стационарности потока,  $\omega_s$ ,  $u$  и  $H$  являются постоянными, поэтому, проинтегрировав (7) получим

$$\ln M = -K \cdot \frac{\omega_s}{u} \cdot \frac{X}{H} + C. \quad (8)$$

Постоянная интегрирования  $C$  может быть определена из начального условия  $X=0$ ,  $C = \ln M_0$ , где  $M_0$  - масса аэрозолей, выпадающая из потока на границе источника выноса. Тогда можно записать

$$\begin{aligned} \ln M - \ln M_0 &= -K \cdot \frac{\omega_s}{u} \cdot \frac{X}{H} \\ \text{или } \ln \frac{M}{M_0} &= -K \cdot \frac{\omega_s}{u} \cdot \frac{X}{H}. \end{aligned} \quad (9)$$

Из (9) выпадение массы аэрозоля в потоке вдоль координаты  $X$  описывается следующей экспоненциальной зависимостью

$$M = M_0 \exp\left(-K \cdot \frac{\omega_s}{u} \cdot \frac{X}{H}\right). \quad (10)$$

Численное значение  $K$  можно оценить по измерениям Разакова и Косназарова, нашим экспедиционным исследованиям и резуль-

татам авиационного зондирования аэрозольных потоков в районе Аральского моря. Самолетное зондирование атмосферы в районе Арала показало, что верхняя граница слоя переноса мелкодисперсного аэрозоля в шлейфах бурь находится на высоте 400-1000 м. Массовая концентрация частиц твердой фазы потока в этом слое возрастает во время бурь в 5-6 раз, наблюдается стабильная кривая распределения аэрозоля по размерам и максимальное содержание солей в нем. Выше, на высотах 1200-2500 м, было отмечено падение концентрации аэрозолей на два порядка, частицы отличались нестабильной функцией распределения по размерам [3]. По-видимому, в этот слой могли попасть лишь отдельные выбросы аральского аэрозоля с крупными турбулентными образованиями или это были принесенные из других районов частицы.

Зондирование над Каракумами во время пыльной бури показало, что перенос так же ограничивался высотой около 1000 м. В слое 150-1000 м концентрация аэрозолей достигала  $2250 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ , а на высотах 1000-3000 м она уменьшалась почти на порядок —  $334 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ . По визуальным оценкам наблюдателей, чистой атмосфере соответствовали концентрации аэрозолей  $10-90 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ , дымке — от 30 до  $350 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$  [6]. Таким образом, за верхнюю границу переноса можно принять  $H = 1000 \text{ м}$ .

Для определения размеров частиц на этой высоте были привлечены измерения дисперсного состава песчаного аэрозоля с логарифмически нормальной массовой функцией распределения по размерам на различных высотах приземного слоя атмосферы, выполненные экспедициями КазНИГМИ на Арале во время бурь [2]. Экстраполяция этих измерений на высоту 1000 м показала, что средний геометрический размер аэрозоля достигает здесь 30-60 мкм. Скорость свободного падения сферических частиц размером 30 мкм и плотностью  $2,65 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$  равна, по Стоксу,  $\omega_s = 8 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$ . Отношение  $M/M_0$  (см. рис.1) достигает значения 0,01 на расстоянии  $X=160 \text{ км}$ . Естественно предположить, что на это расстояние могли быть перенесены потоком только эти наиболее мелкие частицы аральского аэрозоля.

Теперь для оценки величины  $K$  в формулах (6) - (10) остается задать значение динамической скорости потока. Очевидно, что дальний перенос аэрозоля возможен только при достаточно сильных бурях, для которых характерно изменение  $u$  в интервале от 50 до 70-80 см/с. Разброс точек (см. рис.1) в какой-то мере и определяется различными скоростями потока при сильных бурях в годы исследований узбекских ученых. Для средней линии, проведенной на этом рисунке, можно принять некоторое осредненное значение  $u = 60 \text{ см/с}$ . Для перечисленных принятых значений  $H$ ,  $M/M_0$ ,  $\omega_s$  и  $u$  коэффициент пропорциональности оказался равным 0,22. Более точное значение  $K$  может быть получено лишь при проведении комплексного аэрозоль-

ного эксперимента в районе Арала, во время которого могут быть непосредственно определены все параметры модели. Таким образом, выпадение массы аэрозоля из шлейфа бури на различных расстояниях от источника можно описать уравнением

$$M = M_0 \exp\left(-0,22 \cdot \frac{\omega_g}{u_*} \cdot \frac{X}{H}\right). \quad (11)$$

Полезно также записать (9) в виде, удобном для последующего анализа расстояний переноса частиц твердой фазы,

$$X = -4,54 \cdot \ln \frac{M}{M_0} \cdot \frac{U_*}{\omega_g} \cdot H. \quad (12)$$

В табл.2 приведены расстояния, на которых сухие выпадения уменьшаются в 100 раз по сравнению с их величинами на границе источника выдувания.

Таблица 2

Расстояния (км), на которых сухие выпадения из шлейфов бурь уменьшаются до 1 % их величины на границе источника для разных размеров частиц и значений динамической скорости потока

Размер частиц, мкм	Динамическая скорость, см/с				Высота подъема частиц, км
	40	60	80	100	
30	105,0	157,0	209,0	262,0	1,0
60	28,0	42,0	56,0	70,0	1,0
80	1,7	2,5	3,4	4,2	0,1
100	1,1	1,7	2,2	2,8	0,1
120	0,9	1,4	1,9	2,3	0,1

При расчетах этих расстояний по формуле (12) были заданы различные значения динамической скорости потока и высоты подъема частиц. Для частиц размером 30 и 60 мкм высота подъема была взята равной 1 км, для более крупных частиц она была ограничена 0,1 км. Наглядно видно (см. табл. 2), как быстро выпадают из ветропесчаного потока частицы размером  $\geq 80$  мкм. Их перенос от источника выноса ограничивается всего лишь несколькими километрами, тогда как более мелкие частицы улетают на десятки и сотни километров.

Из формулы (12) вытекает понятие неопределенности дальности переноса аэрозоля, поскольку она зависит от величины отношения  $M/M_0$ , т.е. от задания предельной минимальной выпадающей массы аэрозоля, которая может быть выбрана либо из практической целесообразности, либо ограничена чувствительностью методов из-

мерения сухих выпадений. Так, полученные в табл.2 расстояния (для  $M/M_0 = 0,01$ ) при уменьшении отношения  $M/M_0$  до 0,001 увеличиваются в 1,5 раза, при  $M/M_0 = 0,0001$  - возрастают в 2 раза. Поэтому вопрос о дальности переноса аэрозоля не так прост, как это кажется с первого взгляда — всегда необходимо задавать и дополнительные граничные условия его существования в потоке.

Здесь рассмотрена идеализированная модель сухих выпадений аэрозоля из шлейфа бури. Для полидисперсных реальных ветропесчаных потоков можно предложить следующую схему расчетов выпадающей массы частиц на поверхность с использованием полученного решения (11). По известной функции распределения частиц песка по размерам  $F(r)$  в источнике выноса следует определить массу частиц  $m$  в выбранных интервалах размеров. Для середины каждого из этих интервалов  $\Delta r_i$  рассчитать по формуле (11)  $M(X, r_i)$  и, затем, выполнив

суммирование  $\sum_{i=1}^d M(X, r_i)$ , получить интегральную кривую сухих

выпаждений из шлейфа бури. Несмотря на простоту модели, полученные по ней расстояния переноса мелких частиц (табл.2) согласуются с масштабами шлейфов выноса аральского аэрозоля космических снимков, которые оцениваются, как известно, в 250-400 км. Это позволяет надеяться на перспективу количественного дешифрирования снимков пыльных бурь из космоса на основе предложенной модели.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галаева О.С., Семенов О.Е. О мониторинге выноса песчано-солевого аэрозоля с осушенной части дна Аральского моря // Гидрометеорология и экология. - См. настоящий номер.
2. Гидрометеорологические проблемы Приаралья / Под ред. Г.Н.Чичасова. - Л.: Гидрометеиздат, 1990. - 276 с.
3. Жвалев В.Ф., Дьяченко Л.Н., Романова Т.С. Измерение прозрачности атмосферы и аэрозольных характеристик в регионе Аральского моря // Мониторинг природной среды в бассейне Аральского моря. - СПб.: Гидрометеиздат, 1991. - С. 132-143.
4. Изучить влияние усыхания Аральского моря на гидрометеорологические условия его бассейна: Отчет о НИР (заключительный) / САННИ Госкомгидромета; Отв. исполнитель Г.А.Толкачева. - N ГР 81080535, Инв. N 0277.0743312. -Ташкент, 1983. - 268 с.
5. Каипов И.В. Моделирование трансформации ветропесчаного потока при изменении характеристик подстилающей поверхности // Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья. - СПб., 1995. - С. 148-159.

6. Кириченко Л.В., Шигорева Н.И. Минеральная пыль и ее химический состав над некоторыми районами Средней Азии // Тр.ИПГ. - 1976. - Вып. 21. - С. 133-148.
7. Ковалев А.Ф. Некоторые характеристики поверхности земли как источника атмосферного аэрозоля // Тр. ИЭМ. - 1990. - Вып.51 (142). - С. 83-87.
8. Разаков Р.М., Косназаров К.А. Эоловый вынос и выпадение соле-пылевых частиц в Приаралье // Проблемы Аральского моря и природоохранные мероприятия. - Ташкент, 1987. - С. 24-32.
9. Семенов О.Е. Радиационнобалансовая модель плоскостных источников пыления поверхностей и оценка фоновых сухих выпадений // Гидрометеорология и экология. - 1996. - N 2. - С. 38 - 44.
10. Razakov R.M., Kosnazarov K.A. Dust and salt transfer from the exposed bed of the Aral Sea and measures to decrease its environmental impact // The Aral Sea Basin / Ed.Ph.P.Micklin, W.D.Williams, NATO ASI Series. - Berlin, 1996. - P.95-102. - ( 2. Environment - Vol.12 ).

Казахский научно-исследовательский институт  
мониторинга окружающей среды и климата

## АРАЛ АУА ТОЗАҢЫНЫҢ АЙМАҚТЫҢ ЖАЙМА БЕТІНЕ ТҮСУІ ТУРАЛЫ

О.С Галаева

Физ-мат. г. канд. О.Е. Семенов

Аралдың кепкен түбінен шығатын шаңды дауылдың ысырындыларынан ауа тозаңының түсу процесінің екі үлгісі келтірілген. Амударияның атырауында өткізілген өлшеулер және теңіздің бұрынғы түбінде болатын дауылдарды экспедициялық зерттеу арқылы Аралдағы құрғақшылық түсімдіктердің климаттық баға беретін эмпириялық үлгісімен негізделген. Бұл үлгінің арқасында, ысырынды қайнардың орташа көпжылдық қуаты туралы ерте түскен мәліметтері бойынша жасалған Аралдың қазақстандық бөлігіне Аралдық ауа тозаңы түсуі климаттық картасын үлгі арқылы жасауға мүмкін болды. Бұл карта өзбек ғалымдары жасаған картаға келістірілген. Бөлшектердің жоғарылау биіктігі, гидродинамикалық ірілігі және ағынның динамикалық жылдамдығы туралы мәліметтер бойынша бөлшектердің жер бетіне түсу процестерін анықтауға екінші жарты эмпириялық үлгі мүмкіндік береді.