

ОБ ОЦЕНКЕ МАСШТАБОВ ВЫНОСА МАССЫ
АРАЛЬСКОГО АЭРОЗОЛЯ

Канд. физ.-мат. наук О. Е. Семенов

Выполнен обзор оценок массы Аральского аэрозоля в сравнении с общим содержанием его в атмосфере Земли и выносам из районов Сахары, юга Русской равнины, Центральной Азии. Сделан вывод о региональном и мезометеорологическом масштабе бурь на Арале и климатических колебаниях массы выносимого аэрозоля в интервале от нескольких сот тыс. до 20-30 млн тонн в год.

К оценке масс и дальности переноса выдутого почвенно-грунтового материала при пыльных и песчаных бурях в последние годы вновь привлечено внимание не только ученых, но и широких кругов общественности. Этот повышенный интерес вызван негативным влиянием бурь на окружающую среду и несомненным влиянием тропосферного аэрозоля на изменение региональных и глобального климатов [1].

О наличии сверхдальнего переноса пыли атмосферными потоками во время катастрофических сильных бурь было известно еще в прошлом веке. Во время пыльных бурь на юге Русской равнины в апреле-мае 1892 г поднятая сильными ветрами пыль выпадала далеко от источников выдувания. Сухие и мокрые осадения пыли были отмечены на территории Прибалтики, Белоруссии, Польши, в северной части Германии, Дании, на юге Финляндии и Швеции. Следующая катастрофическая пыльная буря на юге Европейской части СССР повторилась весной 1928 г. Часть поднятой ветром пыли юго-восточными воздушными течениями была вынесена в Молдавию, в восточную часть Румынии, Западную Украину, в юго-западную часть Белоруссии, Польшу и Литву. По оценкам А. В. Вознесенского масса выдутой почвы достигала 15 млн т. Около

30 % ее было вынесено за пределы площади источника выветривания, а 1,2-1,5 % аэрозоля вовлечено в дальний перенос.

В марте-апреле 1960 г над обширной территорией юга Русской равнины вновь разразились две продолжительные очень сильные пыльные бури со скоростями ветра, достигавшими временами 25-28 м/с. Запыление атмосферы от этих бурь отмечалось не только на крайнем западе СССР, но и в Румынии, Болгарии, Венгрии и Югославии. К сожалению, оценок массы аэрозоля, вынесенного за пределы ареала интенсивного выдувания почв во время этих бурь сделать не удалось. Высота подъема пыли по измерениям с самолетов достигала 1500-2000 м, а в районе Одессы - даже 2400 м [10,13,16].

В фундаментальной монографии Д.В.Наливкина [19] приводятся сведения о ветровом выносе и выпадении аэрозоля из пустынь Северной Африки на Европейский континент во время мощной бури 09.03.1901 г. По расчетам немецких метеорологов Гельмана и Мейнардуса в Европу этой бурей было принесено 1,8 млн т пыли из общей массы в 150 млн т песка и пыли, поднятой ветрами и перемещенной через средиземноморский берег Африки в северном направлении. Наливкин качественно описывает механизм возникновения и процессы переноса мелкой пыли из Сахары и в других направлениях различными местными ветрами.

Менее изученными являются дальние переносы золы пыли на Азиатском континенте. Здесь основными ее поставщиками в атмосферные потоки являются пустыни Аравийского полуострова и Центральной Азии. Аэрозольные частицы минерального происхождения из пустыни Гоби и Лессового плато Китая диаметром от 0,2 до 15 мкм регулярно достигают Японских островов на высоте от 2 до 6 км. Масса облаков этой желтой пыли по расчетам японских ученых Арао и Ишигака [21] достигает $5 \cdot 10^6$ т/год. Вынос от одной из мощных пыльных бурь в апреле 1979 г - $1,63 \cdot 10^6$ т. Ухудшение видимости от аэрозолей азиат-

ского происхождения отмечается у побережья США и на Аляске [27]. Е.К.Балакириевым описаны случаи осаждения лессовой пыли Аравийского происхождения в Туркмении [2].

Вскоре после начала наблюдений за метеорологическими процессами с искусственных спутников Земли пылевые шлейфы от бурь были обнаружены и оказалось, что дальний вынос аэрозолей в нижних слоях тропосферы более регулярный процесс, чем предполагалось ранее по исследованиям и описаниям выпадений пыли при катастрофических явлениях дефляции поверхности. По фотографиям из космоса наиболее частые и мощные выносы аэрозоля наблюдали из пустынь Африки в сторону Атлантического океана [4, 14]. Поэтому наибольшее внимание ученых в дальнейшем было уделено изучению песчаных и пыльных бурь в Сахаре, их влиянию на радиационный баланс атмосферы.

Процессы выноса песчаного, пылевого и солевого аэрозоля воздушными потоками чрезвычайно сложны для изучения как экспериментальными, так и теоретическими методами. Поэтому полученные на основе отдельных точечных измерений количественные величины потоков масс аэрозолей на большие расстояния следует рассматривать как приближенные в качестве оценочных.

Существующие сейчас простые эмпирические и более сложные математические модели пыльных бурь также дают весьма приближенные результаты в силу ограниченности наших знаний об этом опасном явлении природы. Поэтому, рассматривая транспортирующие возможности ветра при бурях, следует ясно представлять, что на современном этапе развития науки мы получаем лишь оценки масштабов масс аэрозолей и расстояний, на которые они переносятся. Проверку достоверности оценок выноса аэрозоля трудно выполнить корректно при нынешнем уровне изученности бурь. Наиболее доступным методом остается сравнение полученных величин с результатами

определений глобального содержания аэрозолей в атмосфере нашей планеты или с расчетами его выносов регионального масштаба от отдельных наиболее мощных природных источников на Земле. Таких работ немного. Достаточно полный обзор исследований по оценкам глобального и регионального содержания минеральных аэрозолей природного происхождения в атмосфере Земли выполнен А.А. Григорьевым и К.Я. Кондратьевым [5]. Дополним его несколькими ставшими нам известными более поздними публикациями.

Годовое содержание природного аэрозоля в атмосфере планеты по мнению Алмквиста [20] составляет 1100 млн т. М.И. Будыко и Ф.Ф. Давитая [3] дают для этой величины несколько больший интервал значений - от 800 до 2200 млн т. И.М. Назаров с соавторами [15] оценил массу аэрозолей в атмосфере Земли в 1250 млн т. По мнению Юнга [26] с поверхности Земли выносится ветром ежегодно меньшая масса частиц почвенного происхождения - всего лишь 500 млн т. К этой же оценке присоединяется и Паттерсон с соавторами [25]. Наконец, Д. Алмейда [23] оценил глобальную продукцию аэрозоля пустынями Земли в 1900 млн т в год. Как видим, оценки глобального содержания аэрозоля в атмосфере укладываются в интервале от 500 до 2200 млн т.

Перенос аэрозолей регионального масштаба наиболее полно изучен для самого крупного и мощного на Земле источника - пустыни Сахары. Карлсон и Просперо [22] оценили ежегодный вынос массы пыли из нее в западном направлении в 80 млн т. Моралес [28] оценил ветровой вынос из Сахары в направлении Атлантики в 60-200 млн т аэрозоля в год. Шутц в 1977 г первоначально определил эту массу в 260 млн т, а позже в 1981 г вместе со своими соавторами [29] уточнил ее, указав в интервале 200-260 млн т. Ганор [24,30] с соавторами, считает, что в восточном и северо-восточном направлении из пустынь Северной Африки переносится 25-70 млн т пыли в год и около 1/3 этой массы достигает стран

Восточного Средиземноморья, пройдя в атмосфере путь длиной около 2 тыс км. Наконец, Д Алмейда оценил перенос аэрозолей из Сахары в западном направлении в 190 млн т в год, а общую массу выноса из района Сахары во всех направлениях в 1981 и 1982 годах соответственно в 630 и 710 млн т. Вынос пыли из Африки на Европейский континент, по его мнению, не носит регулярный характер, а имеет более спорадическую природу. В 1981 и 1982 годах он оценил массу выдувания аэрозоля в северном направлении в 80 и 120 млн т. В дальнем переносе, из названных Д Алмейда масс, участвует лишь около 12,7 % частиц, которые имеют размер менее 5 мкм [23].

Перейдем далее к оценкам масс и дальности выноса Аральского аэрозоля во время песчано-солевых бурь. Следствием падения уровня Аральского моря явилось обнажение значительных площадей его дна, сложенного преимущественно легкими по механическому составу грунтами. Грунты содержат в своем составе соли сульфатхлоридного и хлоридносульфатного состава в количестве от 0,4 до 15 %. После обнажения и высыхания бывшее дно моря стало подвергаться довольно сильным процессам дефляции. Особенно заметными они стали в 70-х годах, когда море отступило от своих прежних восточных берегов на расстояние свыше 20-25 км. Именно в этот период были обнаружены пылевые выносы с осушенной части дна моря по наблюдениям и фотографиям из космоса. Это позволило Григорьеву и Липатову [6-8] сделать вывод, что для формирования мощных пылевых выносов воздушному потоку требуется пройти над осушенной и лишенной растительного покрова поверхностью дна моря расстояние порядка 25 км. Длина пылевых шлейфов по космическим снимкам достигла 300-500 км в западном направлении. Новый мощный очаг поступления пыли и солей в атмосферные потоки вызвал обоснованное беспокойство в связи с его возможным негативным влиянием на природу и хозяйственную дея-

тельность в регионе.

В последующие годы процесс ландшафтообразования на большей части освобожденного дна моря оказался направлен на формирование песчаных поверхностей с барханными типами рельефа, почти лишенных растительности, а также такыровидных глинистых равнин. Такие изменения деятельной поверхности во времени обуславливают развитие песчано-солевых бурь и вынос значительного количества песка и солей на окружающие море территории.

Были даны оценки объемов выноса аэрозолей из региона Арала и их выпадений на прилегающих территориях. Первой была опубликована оценка ленинградских ученых Григорьева и Липатова [6]. Выполненный ими анализ телевизионного изображения пылевого выноса 22 мая 1970 г по данным многоспектральной съемки с ИСЗ "Метеор-18" с привлечением данных радиозондирования и актинометрических наблюдений гидрометеорологической станции Аральское море позволил определить площадь пылевого облака и массу минеральных частиц в толще атмосферы. Площадь пылевого шлейфа оказалась равной 14000 км, масса пыли в столбе воздуха с основанием один км и высотой 3-3,5 км достигала 2,4 10 кг. Эта буря длилась около 10 ч и в атмосферу по приближенным оценкам авторов было поднято 1,68 млн т пыли. Весной и летом 1975 г в Приаралье ими было отмечено по космическим снимкам 9 мощных пылевых выносов, что позволило оценить общий за 1975 г вынос с северо-восточной части осушенного дна моря в 15 млн т. Далее Григорьев и Липатов предположили, что в Приаралье ежегодно может наблюдаться до 10 таких сильных бурь с продолжительностью каждой бури в 50 ч и поэтому максимальный вынос пылевого аэрозоля за год может достигать 75 млн т. Из этих двух цифр была получена и средняя - 45 млн т [7]. Данные климатического обследования и исследования пылевых бурь в КазНИГМИ не подтверждают наличия таких продолжительных явлений со столь высокой их повторяе-

са выносимого песчаного аэрозоля равна 5,8 млн т.

В районе метеорологической станции Уялы, по материалам наблюдений которой выполнялся расчет для восточного основного источника аэрозолей, годовой расход песка через фронт переноса в один километр в 1975 г был в 3,5 раза выше среднего многолетнего [17,18]. Поэтому в 1975 г вынос массы песка со всей площади этого основного источника достигал примерно 20 млн т. Практически совпадающие величины объемов выноса аэрозоля по обоим методам для этого года позволяют надеяться, что порядок величины максимально возможного выдувания массы песка определен для рассматриваемого региона правильно. Полученные цифры логично согласуются и с выносом масс Сахарского аэрозоля, если учесть геометрические размеры обоих источников и помнить, что пыльные бури в Сахаре проходят нередко при очень больших скоростях ветра, тогда как на Арале бури со скоростями ветра в 20 м/с довольно редкое явление.

В то же время, когда авторы метода расчета выноса аэрозоля по космической информации пытаются получить верхний предел переносимой ветром массы минерального аэрозоля (75 и 90 млн т.) они привлекают необоснованные предположения о длительности и частоте сильных бурь Арала и выходят на оценки масс, уже сопоставимые по величине с выносом Сахарского аэрозоля. Очевидно, что научные расчеты должны опираться только на результаты имеющихся измерений.

Вторая модель бурь КазНИГМИ-ГГО основана на численном решении системы дифференциальных уравнений пограничного слоя параболического типа [12]. Численное моделирование по ней позволило И.В.Каипову исследовать процесс формирования ветропесчаного потока в источнике выветривания и его трансформацию при выходе на водную поверхность. Моделирование по этой модели показало, что масштабы распространения песчаных частиц воздушными потоками

чано-солевого аэрозоля из района Арала может меняться от нескольких сот тысяч тонн - до 20-30 млн тонн в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аэрозоль и климат // Под. ред. К.Я.Кондратьева.- Л.: Гидрометеонадат, 1991.- 541 с.
2. Балакирев К.К. Пылевой циклон в Ашхабаде // Природа.- 1976.- N 8.- С. 50-51.
3. Будыко М.И., Давитая Ф.Ф. Влияние человека на климат // Тр. 23 Международного геофизического конгресса.- М., 1976.- С.144-146.
4. Григорьев А.А., Липатов В.Б. Пыльные бури по данным космических исследований.-Л.: Гидрометеонадат, 1974.- 31 с.
5. Григорьев А.А., Кондратьев К.Я. Атмосферная пыль по наблюдениям из космоса. Часть II.- Количественные оценки содержания пыли // Бюллетень ВМО.- 1981.- Т.30, N 1.- С.3-11.
6. Григорьев А.А., Липатов В.Б. Пылевые бури в Приаралье по данным космической съемки // Развитие и преобразование природной среды.-Л., 1979.- С.93-103.
7. Григорьев А.А., Липатов В.Б. Динамика и очаг пылевых бурь в Приаралье по наблюдениям из космоса // Изв. АН СССР, сер. геогр.- 1982.- N 5.- С.93-98.
8. Григорьев А.А., Липатов В.Б. Распространение пылевых загрязнений в Приаралье по наблюдениям из космоса // Изв. АН СССР, сер.геогр.-1983.- N 4.- С.73-77.
9. Григорьев А.А., Жогова М.Л. Мощные пылевые выносы в Приаралье в 1985-90 гг. // Докл. АН России.- 1992.- Т.325, N 3.- С.672-675.
10. Доскач А.Г., Трушковский А.А. Пыльные бури на юге Русской равнины // Пыльные бури и их предотвращение.- М., 1963.- С.5-30.
11. Жогова М.Л. Формирование и функционирование

- очагов мощных пылевых выносов (физико-географические аспекты) // Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. геогр. наук. - СПб.: 1992. - 17 с.
12. Каипов И.В. Численная гидродинамическая модель переноса песка // Гидрометеорологические проблемы Приаралья. - Л.: Гидрометеонадат, 1990. - С. 216-231.
 13. Ляхов М.Е. Метеорологические условия возникновения и распространения пыльных бурь на Северном Кавказе весной 1960 г. // Пыльные бури и их предотвращение. - М., 1963. - С. 31-37.
 14. Метеорологическое зондирование подстилающей поверхности из космоса / Под. ред. К.Я. Кондратьева. - Л.: Гидрометеонадат, 1979. - 246 с.
 15. Назарова И.М., Николаев А.Н., Фридман Ш.Д. Дистанционные и экспрессные методы определения загрязнения окружающей среды. - М.: Гидрометеонадат, 1977. - 194 с.
 16. Наливкин Д.В. Ураганы, бури и смерчи. - Л.: Наука, 1969. - 487 с.
 17. Семенов О.Е. Оценка ветрового выноса песка и солей с осушенной части дна Аральского моря // Тр. КазНИИ Госкомгидромета. - 1988. - Вып. 102. - С. 43-57.
 18. Семенов О.Е. Оценка объемов выноса песка и солей с осушившейся части дна Аральского моря // Гидрометеорологические проблемы Приаралья. - Л.: Гидрометеонадат, 1990. - С. 200-215.
 19. Семенов О.Е., Тулина Л.П., Чичасов Г.Н. Об изменениях климата и экологических условий Приаралья // Мониторинг природной среды в бассейне Аральского моря. - СПб.: Гидрометеонадат, 1991. - С. 150-176.
 20. Almquist T. An analysis of global air Pollution // Ambio. - 1974. - N 3(5). - P. 161-167.
 21. Arai K., Ishizaka Y. Volume and mass of Yellow Sand Dust in the Air over Japan as Estimated from Atmospheric Turbidity // J. Meteor. Soc. Japan. - 1986. - Vol. 64. - N 1. - P. 79-94.