

## СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ ТОГУЛЁНОК (САЛАИРСКИЙ КРЯЖ)

Таблица 3

Величины ошибок при определении средних значений толщины снежного покрова и снегозапаса на снегопунктах в бассейне р. Тогулёнок

геосистема	Н		W	
	μ, см	δ, %	μ, мм	δ, %
<b>Водораздельные поверхности</b>				
Пологонаклонный безлесный седловинный участок водораздельной поверхности	1,2	1,1	6,4	2,2
Пологонаклонная водораздельная поверхность с осиновым лесом без подлеска	0,6	0,5	4,6	1,6
Пологонаклонная водораздельная поверхность с пихтово-березово-осиновым лесом с подлеском	1,5	1,3	5,6	2
<b>Склоновые поверхности</b>				
Склоновые поверхности с березово-осиново-пихтовым лесом	2	1,9	10	3,7
Склоновые поверхности с пихтово-березово-осиновым лесом	1,8	1,3	9,3	3,4
Склоновые поверхности с березово-осиновым лесом	1	0,9	7,1	2,8
Склоновые поверхности с осиново-березовым лесом	0,7	0,7	5,1	2,1
Склоновые поверхности с обширными безлесными участками	1,8	2	15,2	6,7
<b>Долинные комплексы</b>				
Плоское днище долины с березовым редколесьем	1	0,9	4,9	1,9
Плоское днище долины с густыми зарослями ивы	1,2	1,1	2,9	1,1
Плоское днище долины с густым елово-березовым лесом с подлеском	1,6	1,5	8,6	3,7

Таким образом, при необходимости увеличения точности измерений на данной территории рекомендуется увеличивать количество промерных точек на снегопунктах до 50-ти. Дальнейшее же увеличение количества промерных точек нецелесообразно в виду малого влияния на уменьшение погрешности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по снегомерным работам в горах. Л.: Гидрометеиздат, 1958. – 148 с.

2. Червяков В.А. Количественные методы в географии: Учеб. пособие. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 1998. – 258 с.

3. Попов Е.С. Исследование снежного покрова в бассейне реки Тогуленок зимой 2003/04 года (Салаирский кряж): Материалы конференции «Вопросы горного страноведения Алтай-Саяны».- Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2005. – С.138-144.

Попов Е.С. Исследование снежного покрова в бассейне реки Тогуленок зимой 2004/05 года (Салаирский кряж)// Вестник молодых ученых: Сборник научных работ. Горно-Алтайск, РИО ГАГУ, 2005. – С.27-32.

## КРУПНОМАСШТАБНЫЙ ФОНОВЫЙ ПЕРЕНОС МИНЕРАЛЬНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ТРОПОСФЕРЕ АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА

Д.Н. Трошкин

*В статье рассмотрены актуальные проблемы переноса атмосферного аэрозоля. На основании измерений, проведенных в тропосфере и вблизи земной поверхности, а также метеорологических данных рассчитаны концентрации и потоки аэрозоля в тропосфере.*

### ВВЕДЕНИЕ

Исследования атмосферных аэрозолей привлекают внимание ученых всего мира в связи с их важной ролью в погодных и климатических процессах, влиянием на биогеохи-

мический цикл материи. Одной из важнейших составляющих атмосферы считается минеральный аэрозоль. Его массовая фракция является наибольшей из всех типов атмосферных аэрозолей. Источниками минераль-

ного (пылевого) аэрозоля в основном являются аридные и семиаридные территории земного шара, а также лессовые плато. В Азиатском регионе это такие пустыни, как Гоби и Такламакан. Одним из основных поставщиков минерального аэрозоля в атмосферу являются сильные пылевые бури, во время которых в атмосферу попадает огромное количество аэрозольных частиц. Частично пылевой аэрозоль осаждается в непосредственной близости от источника, однако значительная часть частиц может повергаться мезо- и крупномасштабному переносу. В последние десятилетия было проведено большое количество экспериментов по изучению пылевых бурь и влиянию переносимого ими минерального аэрозоля на климат и биогеохимический цикл [5, 8, 3]. Однако следует отметить, что в большинстве это были либо измерения дистанционными методами, либо измерения вблизи земной поверхности, что обуславливает недостаток информации о состоянии минерального аэрозоля в тропосфере во время его переноса. Кроме того, на основании данных лидарных измерений в Азиатско-Тихоокеанском регионе было установлено, что даже в дни, когда не отмечается пылевых бурь, в тропосфере часто присутствуют небольшие пики концентрации аэрозоля, характеризуемого высоким коэффициентом деполяризации отраженного лидарного сигнала [6, 10]. Высокое значение коэффициента деполяризации свидетельствует о наличии в переносимом аэрозоле большого количества несферичных частиц, которые с наибольшей вероятностью являются частицами минерального аэрозоля (в отличие от природного минерального аэрозоля, аэрозоли антропогенного происхождения и вторичные аэрозоли обычно характеризуются сферичной формой и не изменяют поляризацию света при отражении). Систематическое наличие таких пиков позволяет предположить важную роль фонового переноса минерального аэрозоля.

В этой работе приводятся некоторые результаты самолетных и аэростатных измерений, проведенных в весеннее время непосредственно в тропосфере. Они позволяют вкрупне с метеорологическими данными определить состав тропосферного аэрозоля, а также оценить масштаб и направление его переноса.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для вычисления концентраций аэрозольных частиц различной природы исполь-

зовалось комбинирование данных с оптических счетчиков частиц и результатов анализа образцов. Распределение счетной концентрации частиц по размерам представляется функцией  $\Delta N(r)$ , где  $r$  – радиус частиц, а  $\Delta N$  – количество частиц в интервале размеров ( $r$ ;  $r+\Delta r$ ). Эта функция в экспериментах определялась из данных оптических счетчиков частиц. При самолетных измерениях использовались счетчики Sigmatec TD-200 и Rion KC-18. Эти счетчики дают информацию о количестве частиц в каждом интервале радиусов для частиц, размеры которых больше 0,1 мкм. Соответственно границы интервалов для этих счетчиков составляют: 0,1 мкм, 0,15 мкм, 0,2 мкм, 0,3 мкм, 0,4 мкм, 0,5 мкм, 0,6 мкм, 0,8 мкм, 1,0 мкм, 1,2 мкм, 1,5 мкм, 2,0 мкм, 3,0 мкм, 4,0 мкм, 5,0 мкм, 6,0 мкм, 8,0 мкм и 10,0 мкм. При аэростатных измерениях использовались счетчики, специально разработанные в сотрудничестве компании Sigmatec и лаборатории солнечно-земных связей университета г. Нагоя (Япония). Счетчики частиц для аэростатных измерений должны были отвечать следующим требованиям: низкий вес, возможность измерять малые счетные концентрации аэрозоля, возможность работать как в атмосферных условиях вблизи земной поверхности, так и в условиях тропо- и стратосферы. Границы интервалов размеров частиц для этих счетчиков составляют 0,3 мкм, 0,5 мкм, 0,8 мкм, 1,2 мкм, 3,6 мкм.

Для сбора индивидуальных аэрозольных частиц при самолетных измерениях использовалось устройство, основанное на двухкаскадном низкообъемном импакторе. Устройство имело компактные размеры и малый вес. Для аэростатных измерений использовался аналогичный по параметрам автоматизированный пробоотборник, включающий в себя три импактора для отбора проб с различных интервалов высот в тропосфере. Значения пороговых диаметров каскадов импактора, вычисленные для нормальных условий ( $P = 10^{13}$  гПа,  $T = 20^\circ\text{C}$ ), при средней плотности минеральных частиц  $2,6 \text{ г/см}^3$ , дают величину  $d_{50}$ , равную 1,0 мкм для первого каскада и 0,1 мкм для второго каскада импактора. Образцы аэрозолей были собраны на покрытую элементарным углеродом нитроцеллюлозную пленку, осажденную на медные или никелевые сеточные фильтры (MAXTAFORM grid 400 meshes).

При самолетных измерениях воздушный поток проводился в кабину самолета через изокINETический замедлитель, после чего

## КРУПНОМАСШТАБНЫЙ ФОНОВЫЙ ПЕРЕНОС МИНЕРАЛЬНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ТРОПОСФЕРЕ АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА

распределялся по различным инструментам (рис. 1), таким, как сборщики образцов (S1, S2), оптические счетчики частиц, газоанализаторы, и др.

Конструкция заборника, показанная на рис. 1, соответствует требованиям, предъявляемым к данным устройствам [1]. Расчеты показывают, что потери частиц с плотностью 2,6 г/см<sup>3</sup> (плотность, типичная для частиц минеральной пыли) в отборнике составляют приблизительно 10% для частиц с диаметром 2,5 мкм и 50% для частиц с диаметром 6 мкм. В данной работе результаты приведены без учета этих потерь. Таким образом, рассчитанные концентрации грубодисперсных частиц (диаметр больше 1 мкм) при самолетных измерениях несколько занижены, что, однако, не влияет на порядок количественной оценки потока фонового аэрозоля ввиду малого ко-

личества частиц с диаметром более 2 мкм. Морфология индивидуальных аэрозольных частиц и их элементный состав изучались при помощи сканирующего электронного микроскопа (SEM; модель Hitachi S-3000N), оснащенного рентгеновским дисперсионным энергетическим спектрометром (EDX, модель Horiba EMAX-500).

Для спектрального анализа использовалось ускоряющее напряжение 20 кВ, и ток пучка 0,1 нА. Время сканирования задавалось равным 50 секундам. Для количественного вычисления пропорций весов различных элементов использовалась корректировка при помощи ZAF-матрицы (Z – отвечает за эффект от атомных номеров, A – за эффект поглощения рентгеновских лучей, F – за эффект флуоресценции рентгеновских лучей).

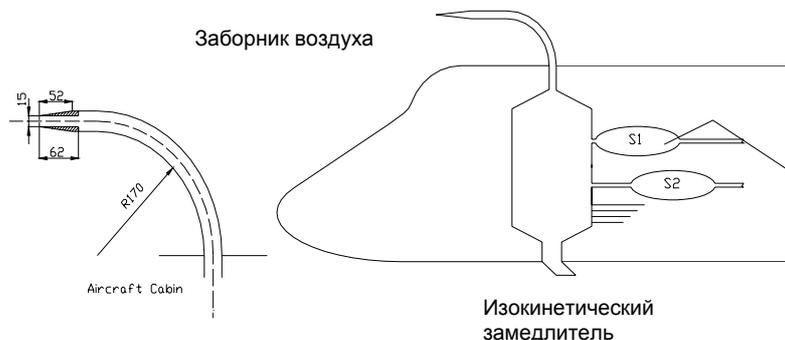


Рисунок 1– Заборник воздуха для самолетных измерений и схема экспериментальной установки на самолете

Необходимо отметить, что применявшийся EDX-анализ не способен корректно определять легкие элементы, такие, как C, N, O; а также Cu и Ni по причине их фонового присутствия.

Объединяя данные о количестве частиц в каждом диапазоне размеров, полученные при помощи счетчиков частиц с данными об их (частиц) составе, полученном из результатов анализа образцов, вычислялись концентрации каждого типа частиц.

Сила и направление ветра во время измерений определялись по данным метеорологических наблюдений. На основании этих данных рассчитывались потоки аэрозоля через площадку единичного размера в широтном и долготном направлениях.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Во всех случаях распределение количества частиц по размерам являлось бимодальным, с хорошо различимыми тонкой ( $d <$

1 мкм) и грубой ( $d > 1$  мкм) фракциями, предполагающими приток грубодисперсных частиц в тропосферу. Важно, что пики грубодисперсных частиц наблюдались не только во время сильных пылевых бурь [4, 5], но также и во время спокойной атмосферы. Это строго предполагает доказательство важного вклада фонового переноса пылевых частиц. Также, несмотря на то, что тонкодисперсные аэрозоли являются доминирующей фракцией в распределении количества частиц по размерам, в большинстве случаев грубодисперсные частицы вносят больший вклад в распределение объемов частиц по размерам.

При самолетных измерениях над Японией среди тонкодисперсных частиц во всех образцах доминировали аэрозоли, имеющие в своем спектре только пик серы S (помимо фоновых пиков). Вероятнее всего это частицы сульфата аммония, поскольку присутствие сульфата аммония, как одной из доминирующих фракций тонкодисперсных аэрозолей, распознано на основе данных химиче-

ского анализа, было описано многими группами исследователей [2, 9]. В диапазоне размеров 1-10 мкм было обнаружено несколько различных типов аэрозольных частиц в количествах, достаточно больших, чтобы ими нельзя было пренебречь. Основными являлись минеральные и сульфатные аэрозоли, а также частицы морской соли. Рассчитанные концентрации приведены в таблице 1.

Таблица 1

Средние фоновые концентрации различных типов аэрозолей в тропосфере над Японией (мкг/м<sup>3</sup>)

Тип частицы, высота	Минеральные	Морск. соль	Сульфат	
			>1мкм	<1мкм
5-6 км	0,73	0,04	0,10	0,47
4-5 км	2,34	0,24	0,10	1,05
3-4 км	2,56	0,10	0,13	1,13
2-3 км	1,38	0,03	0,14	1,34

Обычно в модельных расчетах для таких высот предполагаются величины концентраций аэрозоля порядка 1 мкг/см<sup>3</sup>, уменьшающиеся с увеличением высоты. При этом предполагается, что такой аэрозоль относится к тонкодисперсной фракции. Результаты измерений для сульфатных частиц хорошо согласуются с модельными представлениями, в то время как обнаруженные минеральные частицы являются «дополнительным» фактором, объяснить который можно только крупномасштабным переносом из аридных областей Китая.

При аэростатных измерениях над аридными областями Китая в грубодисперсной фракции во всех случаях доминировали частицы минерального аэрозоля. В тонкодисперсной фракции минеральные частицы сосуществовали с сульфатными частицами, и доли каждого из типов менялись в зависимости от образца, при этом минеральные частицы чаще встречались в нижней тропосфере и почти не встречались в верхней. Концентрации минеральных частиц варьировались в значительно более широких пределах, нежели над Японией, что делало невозможным их осреднение.

Анализ силы и направления ветра показал, что при всех проведенных аэрозольных измерениях в тропосфере преобладал западный ветер, и его величины хорошо согласовывались со средними значениями для данного сезона. Основываясь на этих результатах, были посчитаны потоки минерального аэрозоля в западном направлении через единичную площадку. Некоторые результаты приведены в таблице 2.

Хорошее совпадение скоростей и направления ветра над Японией со среднестатистическими величинами для данного сезона позволяет считать, что рассчитанные средние потоки можно с достаточной степенью достоверности считать фоновыми.

Таблица 2

Потоки минерального аэрозоля в тропосфере (тонны/км<sup>2</sup>хсутки)

Высота	Япония, средн. знач.	Китай	
		24.03.03	22.03.04
5-6 км	1,5	2,5	6,1
4-5 км	3,7	15,8	21,8
3-4 км	3,2	68,0	16,2
2-3 км	1,2	44,2	1,7

Значительное различие в величинах потоков над Японией и аридными областями Китая объясняется тем, что существенная доля минеральных частиц осаждается из атмосферы за время переноса. В особенности это касается крупных частиц, вносящих заметный вклад в величину концентрации. Кроме того, как было указано выше, величины концентрации (и, соответственно, потоков) для тропосферы над Японией являются несколько заниженными из-за потерь в воздухозаборнике. Тем не менее, проинтегрированный по широте, интервалу высот и времени вклад фонового переноса пылевых частиц над Японией, рассчитанный в данной работе, имеет аналогичный порядок с вкладом, относящимся к обычной пылевой буре [7]. Следовательно, фоновый перенос минеральной пыли не может быть пренебрежимо малым в процессах глобального переноса аэрозоля на большие расстояния.

Необходимо отметить, что в процессе переноса минеральные частицы могут претерпевать значительные изменения, что также влияет на время их жизни в атмосфере. Так, результаты исследования микрофизического состояния минеральных частиц, отобранных в тропосфере над Японией, показывают, что многие из них являются внутренне смешанными с сульфатами. Такое смешивание увеличивает массу частицы и, следовательно, уменьшает время ее жизни в атмосфере.

Таким образом, при расчетах взаимодействия атмосферы с солнечным и земным излучением необходимо учитывать региональные особенности фонового состояния аэрозолей. Такая процедура является важной не только для Азиатско-Тихоокеанского региона, но и для других областей земного шара.

## КРУПНОМАСШТАБНЫЙ ФОНОВЫЙ ПЕРЕНОС МИНЕРАЛЬНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ТРОПОСФЕРЕ АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОГО РЕГИОНА

### ЛИТЕРАТУРА

1. Белан Б.Д., Ковалевский В.К. Изакинетический заборник аэрозоля для систем экологического мониторинга // Оптика атмосферы и океана. – 1997. – Т. 10, №9. – С. 1073-1079.
2. Козлов А.С., Пашенко С.Э., Еременко С.И., Бакланов А.М., Малышкин С.Б., Олехнович Э.С., Иващенко С.А. Исследование дисперсного состава аэрозоля и концентраций малых газовых примесей в умеренной и арктической воздушных массах // Оптика атмосферы и океана. – 1997. – Т.10, №6. – С. 673-680.
3. Hayasaka T., Nakajima T., and Tanaka M. The coarse particle aerosols in the free troposphere around Japan // J. Geoph. Res. – 1990. – V. 95. – P. 14039-14047.
4. Ishizaka Y. and Ono A. Mass size distribution of the principal minerals of yellow sand dust in the air over Japan // Idojaras. – 1982. – V. 86. – P. 249-253.
5. Iwasaka Y., Minoura H., and Nagaya K. The transport and special scale of Asian dust-storm event of April 1979 // Tellus, 1983. – V.35B. – P. 189-196
6. Iwasaka Y., Yamato M., Imasu R., and Ono A. Transport of Asian dust (KOSA) particles; importance of weak KOSA events on the geochemical cycle of soil particles // Tellus. – 1988. – V.40B. – P. 494-503
7. Matsuki A., Iwasaka Y., Trochkin D., Zhang D., Osada K., and Sakai T. Horizontal mass flux of mineral dust over East Asia in the spring: Aircraft-borne measurements over Japan // J. Arid Land Studies. – 2002. – V.11-4. – P. 337-345.
8. Merrill J.T., Uematsu M., and Bleck R. Meteorological analysis of long-range transport of mineral aerosol over the North Pacific // J. Geoph. Res. – 1989. – V. 94. – P. 8584-8598.
9. Mori I., Iwasaka Y., Matsunaga K., Hayashi M., and Nishikawa M. Chemical characteristics of free tropospheric aerosols over the Japan Sea coast: aircraft-borne measurements // Atmos. Environ. – 1999. – V.33. – P. 601-609.
10. Sakai T., Shibata T., Kwon S.-A., Kim Y.-S., Tamura K., and Iwasaka Y. Free tropospheric backscatter, depolarization ratio, and relative humidity measured with the Raman lidar at Nagoya in 1994-1997: contributions of aerosols from the Asian Continent and the Pacific Ocean // Atmos. Environ. – 2000. – V.34. – P. 431-442.

## АЭРОГЕННАЯ И ВОДНАЯ МИГРАЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

С.В. Бабошкина, И.В. Горбачев, А.В. Пузанов, Т.А. Рождественская

*Исследовано регионально загрязнение токсичными поллютантами степных экосистем Северо-Западного Алтая в результате эрозии и дефляции хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината. Выявлены некоторые закономерности пространственной миграции микроэлементов в составе пыли и в форме растворимых соединений.*

Алтай – один из богатейших регионов России по запасам полезных ископаемых. В переходной зоне горных сооружений северо-западного Алтая – в Локтевском, Рубцовском, Третьяковском и Змейногорском районах сосредоточены основные запасы полиметаллических руд [1, 2].

Разработка месторождений неизбежно связана с загрязнением окружающей среды и образованием техногенных ландшафтов. Огромное количество поднятой и переработанной Алтайским горно-обогатительным комбинатом руды год за годом складировалось в специальные хранилища – «хвосты». В настоящее время их общая площадь составляет ~1 км<sup>2</sup> и объем ~11 млн. м<sup>3</sup> [3].

Одной из главных экологических проблем территории г. Горняка является распространение пыли с поверхности высыхающих хвостохранилищ, что способствует насыщению компонентов окружающей среды: почв, растений, поверхностных вод, воздуха тяжелыми металлами и другими токсичными веществами. Кроме того, существует реальная угроза подтопления прилегающих жилых массивов токсично загрязненными шахтными водами.

Целью исследования являлось изучить влияние хвостохранилищ Алтайского горно-обогатительного комбината на окружающую среду. Объектами исследования являлись техноземы, почвы, снежный покров, поверх-