

УДК 550.42

ПОТОКИ АЭРОЗОЛЕЙ НА МОРСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ В СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКЕ

© 2015 г. В. Н. Лукашин

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва**e-mail: lukashin@ocean.ru*

Поступила в редакцию 26.05.2015 г., после доработки 02.07.2015 г.

Рассмотрены потоки литогенной части аэрозолей на океанскую поверхность в Северной Атлантике от Европы до Северной Америки между 40° и 60° с.ш. Потоки литогенных аэрозолей сравнены с потоками литогенной компоненты осаждающегося вещества в водной толще по данным седиментационных ловушек, а также с абсолютными массами терригенной части донных осадков.

DOI: 10.7868/S0030157415060118

ВВЕДЕНИЕ

Аэрозоли являются важным компонентом океанической седиментационной системы. Перенос осадочного вещества через атмосферу служит основным средством доставки и осаждения вещества на океанскую поверхность в аридных и семиаридных климатических зонах [6, 8–10, 12, 14, 24, 26–28].

Аэрозоли – совокупность частиц разного размера и генезиса, представленная природными минеральными и биогенными, а также антропогенными частицами. Минеральные частицы выносятся ветрами в атмосферу из почв, а также поступают в результате вулканической деятельности (обломочные и глинистые минералы, гидроксиды Fe и Mn и др.); биогенные частицы представлены волокнами континентальной растительности, пылью и спорами, а также фрагментами морского микропланктона; солевые частицы выносятся с морской поверхности с брызгами или образуются в атмосфере; продукты сгорания, природные и техногенные, представлены сажей, пеплами, сферами сгорания с разным химическим, в том числе микроэлементным составом [18, 20, 35]. Такое разнообразие аэрозольных частиц определяет и характер задач при их исследовании – оценка влияния аэрозолей на радиационный баланс и образование атмосферных осадков; влияния биогенных частиц и микроэлементов аэрозолей на продуктивность вод в удаленных районах океана; исследование техногенных загрязнений и глобальных биогеохимических циклов химических элементов [30, 34, 35 и др.]. Изучение аэрозолей как источника осадочного материала для донных осадков проводится в меньшей степени. Важным вопросом является оценка потоков аэрозолей на морскую поверхность.

К настоящему времени накопилось большое количество судовых данных по аэрозолям и их выпадению (сухому и с атмосферными осадками) в Атлантическом океане, но судовые наблюдения практически все относятся к рейсам, пересекающим океан в меридиональном направлении [20]. Широких пересечений со сбором аэрозолей и атмосферных осадков меньше. В этой статье представляются новые судовые данные по аэрозолям в Северной Атлантике между 40° и 60° с.ш. Аэрозоли рассматриваются с точки зрения их участия в осадочном процессе в Северной Атлантике (концентрации и потоки литогенных компонент, попадающих в конечном итоге в донные осадки). Нашей задачей является сравнение потоков аэрозолей на морскую поверхность с потоками осадочного вещества в толще океанской воды и с абсолютными массами донных осадков. Все выражаются в единицах массы на единицу площади в единицу времени.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор материала для исследования аэрозолей проводился с 11 по 21 августа 1995 г. в 37-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” и с конца августа по середину октября 1999 г. в 42-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” при переходе из Европы на полигон “Титаник” [13], а также при переходе от полигона “Рэйнбоу” [15] в Европу (рис. 1). Пробы аэрозолей отбирались сетевым методом, заключающемся в улавливании аэрозолей капроновыми сетями на ходу судна [4, 5, 12–14, 17, 25, 36, 39]. Капроновые сети с ячейей 0.6 мм² общей площадью 10 м² выставлялись в носовой части судна на высоте 15–20 м над уровнем моря при кажущихся ветрах встречных направлений (до ±60° от курса). Данные о сборе аэрозолей представлены в табл. 1. После экспозиции сети

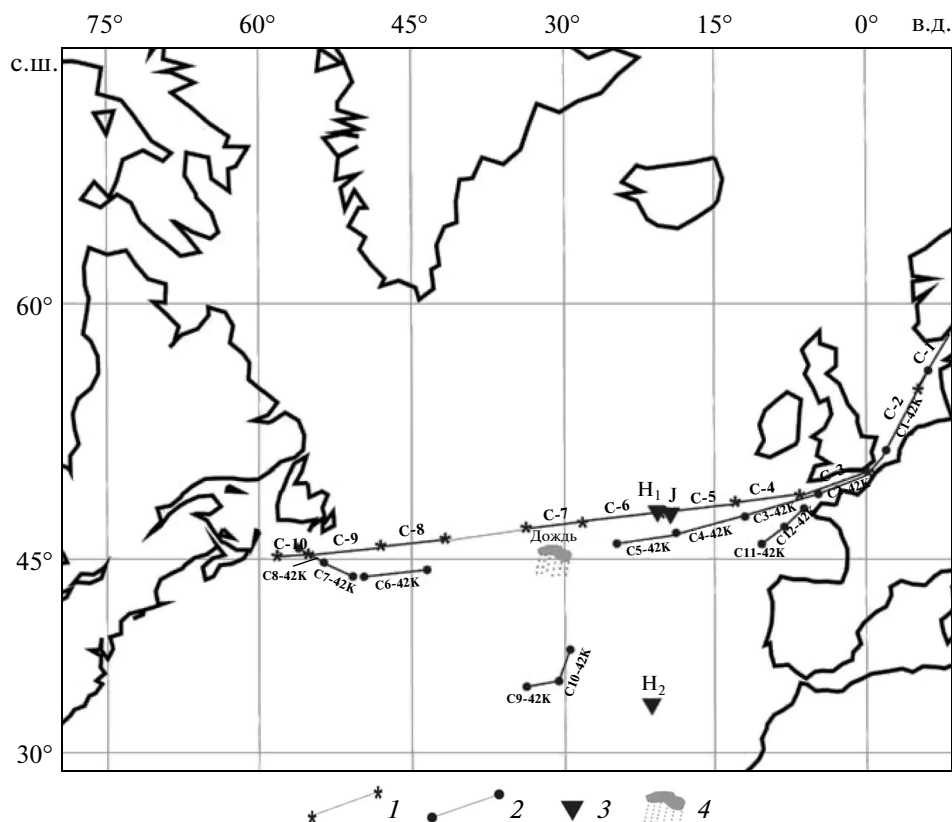


Рис. 1. Схема отбора проб аэрозолей.

1 – маршрут 37-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш”; 2 – маршрут 42-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш”; 3 – места постановки седиментационных ловушек [31]; 4 – место выпадения атмосферных осадков.

отмывались деионизированной водой, промывная вода фильтровалась через предварительно взвешенные ядерные фильтры диаметром 100 мм и размером пор 0.45 мкм (два параллельных фильтра для каждой пробы). Фильтры с аэрозолями высушивались и упаковывались для транспортировки в Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН [12–14]. На фильтрах оставались минеральные и органические частицы, а солевые и другие растворимые компоненты аэрозолей растворялись. В лабораторных условиях пробы распадавались, взвешивались, определялись концентрацией аэрозолей, после чего они анализировались фотометрическим методом на Al [2]. Правильность метода контролировалась стандартными образцами донных осадков СДО-1, СДО-2 [21], воспроизводимость $\pm 2\%$.

В 42-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” была получена проба атмосферных осадков. Она отбиралась в чистый полиэтиленовый бак с известной площадью сбора, установленный так, чтобы во время дождя в бак не попадали брызги с палубы и от надстроек. При начале дождя бак открывался, фиксировалось время начала сбора. По окончании дождя бак закрывался

крышкой, снимался, отмечалось время. Изменялся объем полученной пробы. Затем проба фильтровалась через предварительно взвешенный ядерный фильтр диаметром 47 мм, величиной пор 0.45 мкм (1 л) и через предварительно прокаленный стекловолоконный фильтр GF/F с величиной пор 0.6 мкм (0.7 л).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сбор аэрозолей капроновыми сетями позволяет получить бессолеую часть эоловой взвеси. Соль и многие подвижные химические элементы при промывке сетей переходят в раствор. Наиболее устойчив к растворению в промывной воде Al, который является индикатором литогенного вещества. Поэтому расчет содержаний литогенного вещества проводят обычно по содержанию алюминия, используя среднее значение Al для земной коры [2, 40–42 и др.]. В табл. 2 приведены данные по концентрациям алюминия в пробах и содержанию литогенной части аэрозолей, полученному с использованием среднего содержания Al в земной коре – 8.15% [38].

Следует напомнить, что при сборе аэрозолей сетями концентрации вещества занижены из-за

Таблица 1. Даты, координаты отбора проб аэрозолей, экспозиции, концентрации

№ пробы	Дата	Экспозиция, часы	Координаты начала		Координаты конца		Концентрация аэрозолей, мкг/м ³
			с.ш.	в.д.	с.ш.	в.д.	
37С-1	11–12.08.1995	24.2	57°48'	10°28'	54°18'	05°08'	2.92
37С-2	12–13.08.1995	23.8	54°12'	05°03'	50°38'	00°33'	2.74
37С-3	13–14.08.1995	24.5	50°38'	00°33'	49°40'	06°53'	0.88
37С-4	14–15.08.1995	23.5	49°41'	06°54'	49°04'	12°49'	0.2
37С-5	15–16.08.1995	26.5	49°04'	12°49'	48°23'	21°28'	0.17
37С-6	16–17.08.1995	23	48°23'	21°28'	47°48'	27°56'	0.13
37С-7	17.08.1995	12.1	47°48'	27°55'	47°29'	31°23'	0.2
37С-8	19–20.08.1995	19.7	46°27'	42°33'	45°59'	47°24'	0.17
37С-9	20–21.08.1995	23.7	45°59'	47°24'	45°21'	54°10'	0.17
37С-10	21.08.1995	11.5	45°21'	54°10'	45°01'	57°32'	1.92
42С-1	29–30.08.1999	20.3	53°40'	05°29'	50°49'	01°04'	0.63
42С-2	30–31.08.1999	19.4	50°49'	01°04'	49°43'	04°29'	0.80
42С-3	31.8–1.09.1999	24.9	49°43'	04°29'	48°29'	11°48'	0.21
42С-4	1–2.09.1999	24.3	48°29'	11°48'	47°16'	18°49'	0.13
42С-5	2–3.09.1999	25.0	47°16'	18°49'	46°10'	24°58'	0.16
42С-6	6–7.09.1999	23.6	43°00'	43°00'	41°59'	48°35'	0.16
42С-7	19–20.09.1999	16.9	42°00'	51°04'	44°07'	53°14'	0.17
42С-8	20–21.09.1999	21.3	44°07'	53°14'	46°44'	56°02'	0.19
42С-9	10–11.10.1999	15.0	36°14'	33°52'	37°24'	31°29'	0.31
42С-10	11.10.1999	8.0	37°24'	31°29'	38°03'	30°08'	0.66
42С-11	17–18.10.1999	23.5	46°10'	10°54'	47°41'	07°50'	0.20
42С-12	18.10.1999	5.8	47°41'	07°51'	48°00'	07°08'	0.55
Проба дождя	4.09.1999	0.6	45°10' с.ш.	31°00' з.д.			1.4*

*мг/л.

проскакивания частиц сквозь ячейки сетей в начале экспозиции, особенно при малых концентрациях аэрозолей в атмосфере, а при высоких концентрациях, кроме этого, потери возникают при снятии сетей. Компенсируют эти потери вводом коэффициента эффективности сетей ($K_{эф}$), значения которого принимали от 2 до 5 [4, 25, 36]. Такие коэффициенты вполне удовлетворительны при концентрациях аэрозолей в воздухе больших >2 мкг/м³. При меньших концентрациях он увеличивается. Был проведен расчет коэффициента эффективности сетей с использованием анализов параллельных сетевых и фильтрационных проб (считая, что в фильтрационных пробах нет потерь вещества), полученных в разных районах Атлантики в нескольких рейсах (1994–2003 гг.) [5]. $K_{эф}$ для исследуемых проб изменяется от 2 до 43.

В табл. 2 приведены данные по концентрациям и потокам литогенной части аэрозолей. Концентрации изменяются от 0.57 мкг/м³ в центральной части океана до 4.64 мкг/м³ (практически на порядок величины) вблизи континентов. Это указывает на то, что для распределения концентраций литогенной компоненты аэрозолей характерна циркумконтинентальная зональность.

Расчет потоков литогенной части аэрозолей на океанскую поверхность проводился, исходя из средней скорости сухого осаждения минеральных аэрозолей 2 см/с вблизи континентов (ближе 1000 км) и 0.4 см/с в более удаленных от континентов районах [26]. Оценка скорости осаждения аэрозолей представляется правдоподобной, что подтверждается недавними одновременными измерениями с использованием ⁷Ве и ²¹⁰Рб [33]. Рассчитанные потоки изменяются на разрезах через Атлантику от 0.24 мг/м²/сут в открытом океане до 8 мг/м²/сут вблизи Канады. Высокие значения потоков на западе, полученные в 37-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”, обусловлены довольно редким явлением, когда африканские аэрозоли, достигая Скалистых гор и отражаясь от них, возвращаются в океан [13, 37]. По данным 42-го рейса “Академик Мстислав Келдыш”, в этой же точке (см. табл. 1, рис. 1) поток литогенной части аэрозолей составил 1.5 мг/м²/сут.

Проба атмосферных осадков (дождя) была собрана при прохождении холодного фронта. Фронтальные дожди могут промывать практически всю тропосферу за сравнительно короткий срок [16]. В нашем случае дождь продолжался в

Таблица 2. Концентрации аэрозолей, Al, литогенной компоненты и ее потоки

№ пробы	Концентрации аэрозолей, мкг/м ³	Концентрации Al, мкг/м ³	Концентрации литогенной части, мкг/м ³	Концентрации литогенной части × K _{эф} , мкг/м ⁻³	Потоки литогенной компоненты аэрозолей на водную поверхность, мг/м ² /сут
37С-1	2.92	0.135	1.66	3.32	5.7
37С-2	2.74	0.141	1.73	3.46	6.0
37С-3	0.88	0.037	0.45	2.69	0.93
37С-4	0.2	0.007	0.081	1.70	0.59
37С-5	0.17	0.005	0.057	1.48	0.51
37С-6	0.13	0.003	0.034	1.02	0.35
37С-7	0.2	0.005	0.064	1.47	0.51
37С-8	0.17	0.003	0.042	1.18	0.41
37С-9	0.17	0.003	0.040	1.19	0.41
37С-10	1.92	0.19	2.32	4.64	8.0
42С-1	0.63	0.018	0.22	2.23	3.8
42С-2	0.80	0.019	0.24	2.13	3.7
42С-3	0.21	0.004	0.045	1.22	0.42
42С-4	0.13	0.003	0.033	1.02	0.35
42С-5	0.16	0.006	0.069	1.51	0.52
42С-6	0.16	0.003	0.032	1.03	0.36
42С-7	0.17	0.001	0.013	0.57	0.99
42С-8	0.19	0.002	0.024	0.88	1.5
42С-9	0.31	0.011	0.13	1.72	0.59
42С-10	0.66	0.014	0.17	1.92	0.66
42С-11	0.20	0.001	0.017	0.68	0.24
42С-12	0.55	0.007	0.082	1.63	0.56
Проба дождя	1.4*	0.082*	1.01*		19.8**

* мг/л.

** Поток литогенных аэрозолей (сумма сухого выпадения и с дождем).

течение 35 мин. Через входную площадь бака (0.107 м²) за это время выпало 1.7 л дождевой воды, что составляет 16 мм на площади 1 м². В этом количестве дождевой воды содержалось 2.38 мг аэрозолей или 1.72 мг их литогенной части. Поток аэрозолей в те сутки, когда был дождь, составил 19.8 мг/м²/сут, считая, что дождь продолжался 35 мин, а в остальное время суток происходило сухое осаждение аэрозолей. Полученная величина – сумма выпадения литогенной компоненты аэрозолей с дождем и сухого выпадения. Доля аэрозолей, выпавших с дождем, составила 87.9%.

Дисперсные аэрозоли, попавшие на морскую поверхность, при безвыборочной фильтрации воды зоопланктоном агрегируются с биогенным веществом и включаются в поток осаждающегося материала (морского снега), сравнительно быстро проходят водную толщу [19, 32] и попадают в осадки.

Сравнение потоков литогенных аэрозолей с потоками литогенного вещества в толще воды и с абсолютными массами терригенного материала в донных осадках приводится на рис. 3. Данные по

потокам литогенной части вещества в водной толще взяты из работы Т. Джикела с соавторами [31]. Абсолютные массы донных осадков интерполировались по карте распределения абсолютных масс терригенного материала [8] и показаны на рис. 2. Три седиментационные ловушки собирали осадочный материал – одна с апреля 1989 по апрель 1990 г. [31], вторая рядом (в масштабах океана) – с апреля 1989 по сентябрь 1990 г. [29], третья ловушка стояла примерно на 34° с.ш. [29], недалеко от места отбора аэрозольных проб С42-9, С42-10 (рис. 1). Потоки в водной толще, по данным седиментационных ловушек, составляли 8.6, 7.6 и 13 мг/м²/сут соответственно. Потоки литогенной части аэрозолей на морскую поверхность (сухое осаждение) вблизи мест постановки этих ловушек были на порядок величины меньше – на 47° с.ш. колебались от 0.35–0.52 мг/м²/сут, а на 34° с.ш. – 0.59–0.66 мг/м²/сут. Потоки литогенного материала в водной толще более, чем на порядок величины выше, чем потоки аэрозолей. Сравнение аэрозольных потоков с абсолютными массами терри-

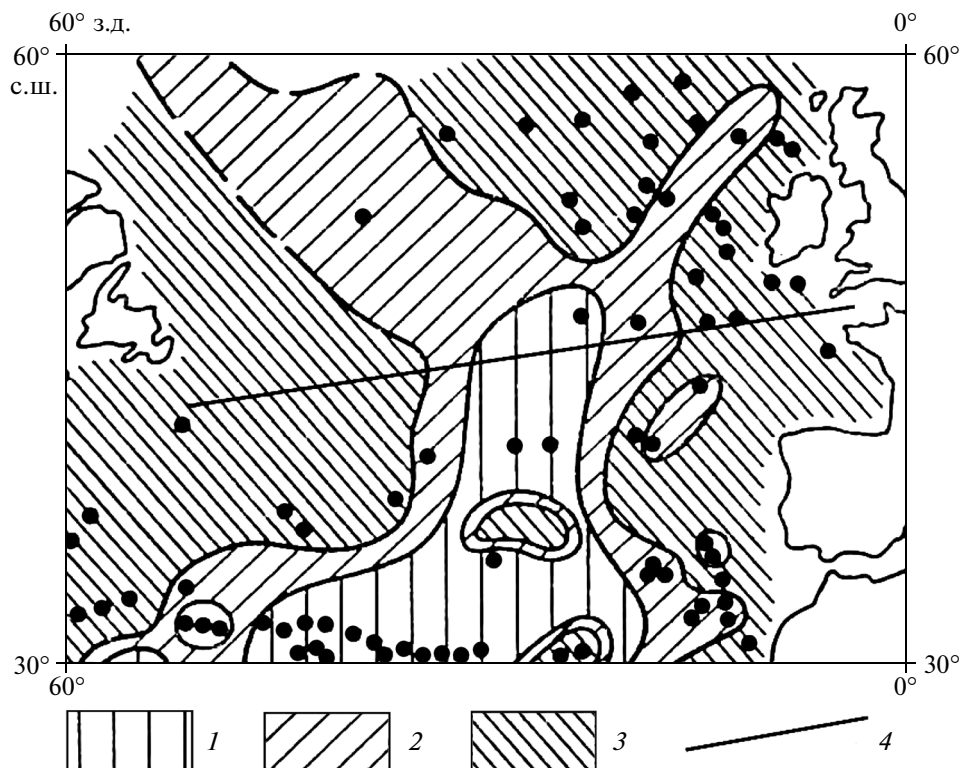


Рис. 2. Распределение абсолютных масс терригенного материала в донных осадках, $г/см^2/1000$ лет [8]: 1 – 0.05–0.2; 2 – 0.2–0.5; 3 – 0.5–2; 4 – линия, вдоль которой отбирали пробы аэрозолей (см. рис. 1).

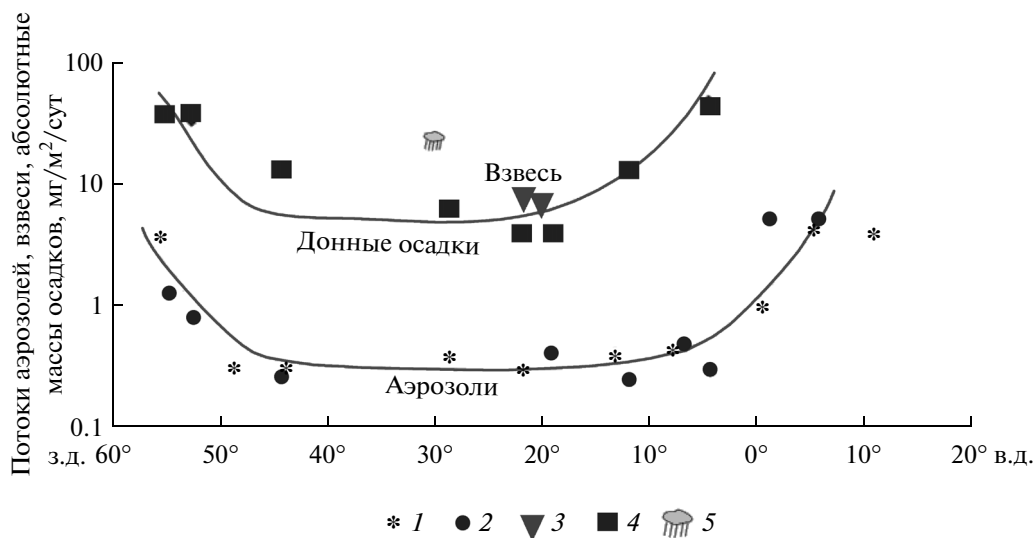


Рис. 3. Распределение потоков литогенной части аэрозолей, осаждающейся в водной толще взвеси и абсолютных масс терригенного материала в донных осадках:

1 – аэрозоли, собранные в 37-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”; 2 – аэрозоли, собранные в 42-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”; 3 – седиментационные ловушки [31]; 4 – абсолютные массы терригенного вещества в донных осадках, по [8]; 5 – атмосферные осадки.

генного материала в донных осадках также показало, что последние значительно выше (рис. 3).

Сравнение потоков литогенных аэрозолей с потоками в водной толще проводились в тропи-

ческой части Атлантики ранее. Здесь в потоке аэрозолей преобладает сухое выпадение, а валовый поток аэрозолей в два раза ниже потоков литогенной части в водной толще [22, 23]. То есть, в

тропиках роль аэрозолей в осадочном процессе более значительна, чем в умеренных широтах.

Попробуем оценить долю атмосферных осадков в годовом балансе аэрозольных потоков на океанскую поверхность. Количество атмосферных осадков, выпадающих в единицу времени на поверхность Земли, принято считать в мм. В районе сбора дождевой воды количество атмосферных осадков составляет около 1500 мм в год [3, 43]. В нашем случае в течение суток на 1 кв. м выпало 16 мм дождевой воды с содержанием литогенной части аэрозолей 1.71 мг. Простой расчет показывает, что в течение года на 1 кв. м морской поверхности с атмосферными осадками может выпасть в лучшем случае 160 мг литогенных аэрозолей (не все дожди фронтальные), а сухое выпадение здесь составляет 153 мг – всего 313 мг. Тогда в сутки общий поток аэрозолей будет составлять 0.86 мг/м²/сут или 314 мг/м²/год, что выше оценки Р. Честера (<100 мг/м²/год) [24]. Тем не менее, полученное значение ниже и вертикальных потоков литогенного вещества в толще воды на порядок и абсолютных масс терригенной части осадков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенная оценка роли аэрозолей в седиментации в умеренной гумидной зоне Атлантического океана показала, что эта роль значительно ниже, чем в тропической зоне Атлантики. В умеренной зоне потоки аэрозолей недостаточны для обеспечения современной седиментации. В осадконакоплении принимают участие не только аэрозоли, но и внутриокеанские процессы, и главным образом, по-видимому, переотложение осадочного материала с шельфа и со склонов континентов в результате взмучивания осадков контурными течениями, турбидитными потоками, обвалами, оползнями [7], дающими мощные нефелоидные линзы, распространяющиеся от склонов в центральные части бассейна [11].

Автор благодарит команду НИС “Академик Мстислав Келдыш”, В.Ю. Гордеева, В.И. Пересыпкина, Д.Л. Алейника за помощь в получении и предварительной обработке проб, Л.А. Гайворонскую и Е.О. Золотых за подготовку проб к анализу и анализ, В.П. Шевченко за консультации и обсуждение полученных результатов.

Обработка материала, полученного ранее, и интерпретация результатов выполнены при финансовой поддержке РФ (проект № 14-50-00095).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // *Геохимия*. 1962. № 7. С. 555–571.

2. *Гельман Е.М., Старобина И.З.* Фотометрические методы определения породообразующих элементов в рудах, горных породах и минералах. М.: ГЕОХИ АН СССР, 1976. 69 с.
3. Географический атлас. Четвертое издание. М.: ГУГК, 1982. 238 с.
4. *Живаго В.Н., Богданов Ю.А.* Эоловая взвесь над Атлантическим и Тихим океанами // *Гидрофизические и гидрооптические исследования в Атлантическом и Тихом океанах*. М.: Наука, 1974. С. 259–279.
5. *Клювиткин А.А., Лукашин В.Н., Новигатский А.Н. и др.* Минеральные аэрозоли, их концентрации, состав и потоки на океанскую поверхность // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 5. С. 756–767.
6. *Лисицын А.П.* Аридная седиментация в Мировом океане. Рассеянное осадочное вещество атмосферы // *Геология и геофизика*. 2011. Т. 52. № 10. С. 1398–1439.
7. *Лисицын А.П.* Лавинная седиментация и перерывы в осадкообразовании в морях и океанах. М.: Наука, 1988. 309 с.
8. *Лисицын А.П.* Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
9. *Лисицын А.П.* Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // *Мировой океан*. Т. II. Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер Земли / Отв. ред. Лобковский Л.И., Нигматулин Р.И. М.: Научный мир, 2014. С. 331–571.
10. *Лисицын А.П., Клювиткин А.А., Буренков В.И. и др.* Распределение и состав взвешенного осадочного вещества на меридиональных разрезах в Атлантическом океане: прямые определения и спутниковые данные // *Докл. РАН*. 2016 (в печати).
11. *Лукашин В.Н.* Седиментация на континентальных склонах под влиянием контурных течений. М.: ГЕОС, 2008. 250 с.
12. *Лукашин В.Н., Иванов Г.В., Полькин В.В., Гурвич Е.Г.* О геохимии аэрозолей в тропической Атлантике (по результатам 35-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” // *Геохимия*. 1996. № 10. С. 985–994.
13. *Лукашин В.Н., Исаева А.Б., Серова В.В. и др.* Исследование аэрозолей над Северной Атлантикой // *Океанология*. 2000. Т. 40. № 4. С. 594–605.
14. *Лукашин В.Н., Шевченко В.П., Лисицын А.П. и др.* Распределение, вещественный и химический состав аэрозолей над западной частью Тихого океана // *Океанология*. 1996. Т. 36. № 2. С. 288–298.
15. *Сагалевиц А.М., Виноградов Г.М., Гурвич Е.Г. и др.* Исследования на полигоне “Титаник” и гидротермальном поле Рэйнбоу в 42-м рейсе научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш” // *Океанология*. 2000. Т. 40. № 3. С. 468–475.
16. *Хромов С.П., Петросяц М.А.* Метеорология и климатология. М.: Изд-во МГУ, 2001. 528 с.
17. *Шевченко В.П., Лисицын А.П., Купцов В.М. и др.* Состав аэрозолей в приводном слое атмосферы над морями западного сектора Российской Арктики // *Океанология*. 1999. Т. 39. № 1. С. 142–151.

18. Aerosol Pollution Impact on Precipitation. A Scientific Review / Eds. Levin Z., Cotton W.R. Springer Science Business Media B.V. 2009. 386 p.
19. *Allredge A.L., Silver M.W.* Characteristics, dynamics and significance of marine snow // *Progress in Oceanography*. 1988. V. 20. P. 41–82.
20. *Baker A.S., Adams C., Bell T.G. et al.* Estimation of atmospheric nutrient inputs to the Atlantic Ocean from 50° N to 50° S based on large-scale field sampling: Iron and other dust-associated elements // *Global Biogeochemical Cycles*. 2013. V. 27. P. 755–757.
21. *Berkovits L.A., Lukashin V.N.* Three marine sediment reference samples: SDO-1, SDO-2, SDO-3 // *Geo-standards Newsletter*. 1984. V. 8. № 1. P. 51–56.
22. *Bory A., Dulac F., Moulin C. et al.* Atmospheric and oceanic dust fluxes in the northeastern tropical Atlantic Ocean: how close a coupling? // *Annales Geophysicae*. 2002. V. 20. P. 2067–2076.
23. *Brust J., Waniek J.J.* Atmospheric dust contribution to deep-sea particle fluxes in the subtropical Northeast Atlantic // *Deep-Sea Res. I*. 2010. V. 57. P. 988–998.
24. *Chester R.* The marine mineral aerosol // *The Role of Air-Sea Exchange in Geochemical Cycling* / Ed. Buat-Menard R. Reidel Publishing Co., 1986. P. 443–476.
25. *Delany A.C., Griffin J.J., Parkin D.W. et al.* Airborn dust collected at Barbados // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1967. V. 31. P. 885–909.
26. *Duce R.A., Liss P.S., Merrill J.T. et al.* Atmospheric input of trace species to the World Ocean // *Global Biogeochem. Cycles*. 1991. V. 5. P. 193–259.
27. *Guieu C., Shevchenko V.P.* Dust in the Ocean // *Encyclopedia of Marine Geosciences*. Dordrecht: Springer, 2015. DOI 10.1007/978-94-007-6644-0_56-3 (in press).
28. *Han Q., Zender Ch.Z., Moore J.K. et al.* Global estimates of mineral dust aerosol iron and aluminum solubility that account for particle size using diffusion-controlled and surface-area-controlled approximations // *Global Biogeochem. Cycles*. 2012. V. 26. GB2038, doi:10.1029/2011GB004186.
29. *Honjo S., Manganini S.J.* Annual biogenic particle fluxes to the interior of the North Atlantic Ocean; studies at 34° N 21° W and 48° N 21° W // *Deep-Sea Res. II*. 1993. V. 40. P. 587–607.
30. *Huang J., Zhang C., Prospero J.M.* Aerosol-induced large-scale variability in precipitation over the tropical Atlantic // *J. of Climate*. 2009. V. 22. P. 4970–4988.
31. *Jickells T.D., Newton P.P., King P. et al. C.* A comparison a sediment trap records of particle fluxes from 19 to 48°N in the northeast Atlantic and their relation to surface water productivity // *Deep-Sea Res. I*. 1996. V. 43. № 7. P. 971–986.
32. *Komar P.D., Morse A.P., Small L.F., Fowler S.W.* An analysis of sinking rates of natural copepod and euphausiid fecal pellets // *Limnol. Oceanogr.* 1981. V. 26. P. 172–180.
33. *Lozano R.L., San Miguel E.G., Bolívar J.P., Baskaran M.* Depositional fluxes and concentrations of ⁷Be and ²¹⁰Pb in bulk precipitation and aerosols at the interface of Atlantic and Mediterranean coasts in Spain // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116, D18213, doi:10.1029/2011JD015675.
34. *Mahowald N., Jickells T.D., Baker A.S. et al.* The global distribution of atmospheric phosphorus deposition and anthropogenic impacts // *Global Biogeochem. Cycles*. 2008. V. 22, GB4026, doi:10.1029/2008GB003240.
35. *Pacyna J.M.* Source inventory for atmospheric trace metals // *Atmospheric particles. IUPAC Series on Analytical and Physical Chemistry of Environmental Systems* / Eds. Harrison R.M., van Grieken R. N.Y.: Wiley and Sons, 1998. P. 385–423.
36. *Parkin D.W., Phillips D.K., Sullivan R.A.* Airborne dust collected over North Atlantic // *J. Geophys. Res.* 1970. V. 75. № 9. P. 1782–1793.
37. *Perry K.D., Cahill T.A., Eldred R.A., Dutcher D.D.* Long-range transport of North African dust to the eastern United States // *J. Geophys. Res.* 1997. V. 102. № D10. P. 11225–11238.
38. *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // *Treatise on Geochemistry*. V. 3. The Crust / Ed. Rudnick R.L. Amsterdam: Elsevier, Pergamon, 2004. P. 1–64.
39. *Shevchenko V.* Aerosols over the Russian Arctic seas // *Seabed Morphology of the Russian Arctic Shelf* / Ed. Nikiforov S. New York: Nova Science Publishers, 2010. P. 87–92.
40. *Taylor S.R.* Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1964. V. 28. P. 1273–1285.
41. *Turekian K.K., Wedepohl K.H.* Distribution of the trace elements in some major units of the Earth crust // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1961. V. 72. P. 175–192.
42. *Wedepohl K.H.* The composition of the continental crust // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1995. V. 59. № 7. P. 1217–1232.
43. *Xie P., Arkin Ph.A.* Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1997. V. 78. № 11. P. 2539–2559.

Fluxes of the Aerosols to the Sea Surface in the North Atlantic

V. N. Lukashin

Fluxes of lithogenic part of the aerosols to the ocean surface in the North Atlantic from Europe to North America between 40° and 60° N are considered. Fluxes of the lithogenic aerosols were compared with fluxes of the lithogenic component of the sinking matter in the water column, on sediment traps data, and also with the accumulation rates of the terrigenous part of the bottom sediments.