

УДК 551.311.3

Вещественный состав эолового материала, содержащегося в снежном покрове береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря

В.Ю. Топчая¹, В.А. Чечко¹, В.П. Шевченко^{2*}

¹ Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширинова РАН
236024, г. Калининград, пр. Мира, 1

² Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН
117997, г. Москва, Нахимовский пр., 36

Поступила в редакцию 31.01.2012 г.

Представлены результаты исследований эолового материала, содержащегося в снежном покрове береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря. Исследования выполнены в 2009–2011 гг. Среднее значение концентрации нерастворимых частиц составляет 13,81 мг/л. В снежном покрове доминируют антропогенные частицы в виде сажи и пористого пепла. Биогенный материал состоит в основном из растительных волокон и створок диатомовых водорослей. Минеральные частицы обнаружены во всех пробах, среди них преобладают зерна кварца.

Ключевые слова: эоловый материал, снежный покров, сажа, летучий пепел, минеральные зерна, диатомовые водоросли; aeolian material, snow cover, soot, fly ash, mineral particles, valves of diatoms.

Введение

Снежный покров, образующийся на поверхности льдов, является надежной естественной ловушкой эолового материала [1–4]. Показано, что осаждающиеся снежинки способны очищать атмосферу от взвешенных в ней частиц даже более эффективно, чем дожди, т.е. снег выступает главным агентом вымывания из атмосферы эолового материала в зимний период [1, 5]. Вследствие этого, за зимние месяцы в снежном покрове накапливается значительное количество атмосферных выпадений различного генезиса. Из-за низкой температуры они сохраняются практически без изменений, что делает снежный покров особенно важным объектом при оценке количества и состава материала, поступающего из атмосферы.

Весьма активные всесторонние исследования осадочного материала, поступающего из атмосферы, осуществляются в Сибири и морях Арктического бассейна [2–4, 6–15]. Работ, посвященных изучению эолового материала в снежном покрове береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря, в отечественной научной литературе немного [16–19]. Данный регион находится под воздействием преобладающих ветров западных румбов и располагается на пути трансграничного переноса загрязнений воздуш-

ным путем из промышленных центров Европы на восток. Показано [20, 21], что поступление некоторых тяжелых металлов (Pb, Cd, V, Zn) в бассейн Балтийского моря с атмосферным переносом более значительно, чем с речным стоком. Поэтому большое значение имеет проведение исследований эолового материала, поступающего из атмосферы с дождем, снегом, а также в результате гравитационного оседания в сухую погоду.

В настоящей статье представлены результаты исследования содержания и вещественного состава твердых частиц в снежном покрове на поверхности льда заливов и берегового припая юго-восточной части Балтийского моря.

Материалы и методы

Исследования нерастворимых частиц в снежном покрове береговой зоны Юго-Восточной Балтики проводились в период с 2009 по 2011 г. Снег собирался со льда Вислинского и Куршского заливов, а также с берегового припая Самбийского полуострова. Положение мест отбора проб показано на рис. 1.

Даты отбора и координаты станций приведены в таблице.

Отбор проб снега и дальнейшее изучение его состава производились по методикам, принятым в практике изучения снега Арктики [2, 10]. Пробы отбирались с площадки 100 × 100 см в конце зимы из всей толщи снежного покрова, образовавшегося на поверхности льда с начала снегопада и до времени отбора.

* Виктория Юрьевна Топчая (che-chko@mail.ru); Владимир Андреевич Чечко; Владимир Петрович Шевченко (vshevch@ocean.ru).

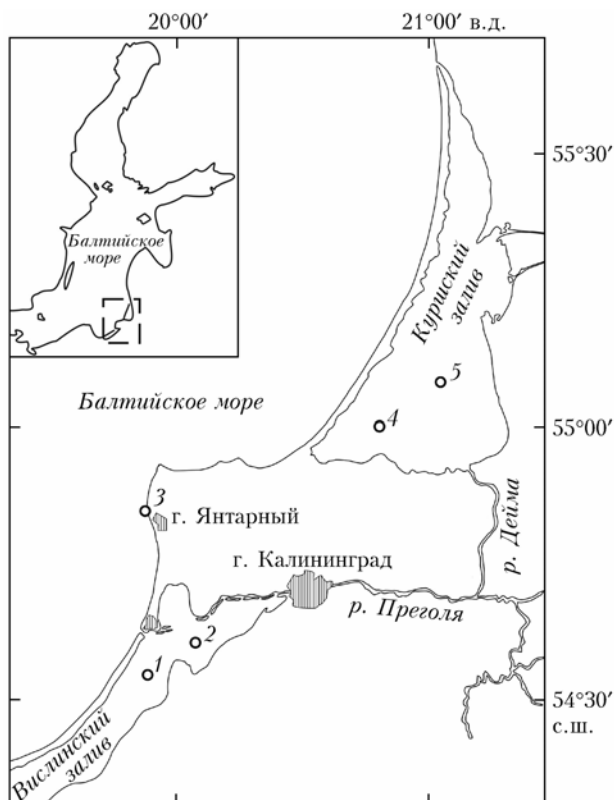


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб снега

Сразу после доставки в лабораторию снег растапливался при комнатной температуре, и талая вода профильтровывалась через предварительно взвешенные мембранные ядерные фильтры диаметром 47 мм, диаметр пор 0,45 мкм. После взвешивания полученный материал на фильтрах исследован авторами методами оптической микроскопии и сканирующей электронной микроскопии в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва) на микроскопах JSM-U3 (Jeol, Япония) и VEGA3 (TESCAN, Чехия)

с микронной приставкой INCA Energy (Oxford Instruments Analytical, Великобритания). Изучены эоловые частицы в 15 пробах из снежного покрова (см. таблицу).

Результаты и их обсуждение

Концентрация нерастворимых частиц в снежном покрове на льду заливов и береговом припая Юго-Восточной Балтики варьировала в большом диапазоне – от 1,88 до 26,6 мг/л (см. таблицу). В начале марта 2009 г. и в конце февраля 2010 г. наиболее низкие концентрации частиц выявлены в снежном покрове Куршского залива (в среднем 3,24 и 7,00 мг/л соответственно), а в начале марта 2011 г. в снеге Вислинского залива (в среднем 9,1 мг/л). Среднее значение концентрации нерастворимых частиц в снежном покрове всего изученного района в 2009 г. составляло 17,92 мг/л, в 2010 г. – 7,55, в 2011 г. – 15,96 мг/л ($n = 5$ проб), а среднее за три зимних периода – 13,81 мг/л ($n = 15$ проб). Эти значения в несколько раз превышают фоновые для снежного покрова Арктики – 2,19 мг/л, но близки к значениям, характерным для южной части Белого моря и для городов со средней степенью загрязнения атмосферы [10, 22].

По результатам оптической и сканирующей электронной микроскопии подавляющее большинство частиц на фильтрах имеет пелитовую (< 10 мкм) размерность. В меньшем количестве присутствуют частицы алевритовой размерности (от 10 до 100 мкм), это, как правило, отдельные минеральные зерна и биогенный материал (растительные волокна, диатомеи и пыльца). Основные компоненты эолового материала снежного покрова представлены частицами антропогенного, литогенного и биогенного происхождения. Наиболее характерные из них показаны на рис. 2. Причем соотношение литогенных и биогенных частиц меняется от пробы к пробе, антропогенная же составляющая остается для всех проб доминантной.

Содержание осадочного материала в снежном покрове береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря

Год	Дата	Номер станции	Местоположение	Координаты	Содержание твердых частиц, мг/л
2009	06.03	1	Вислинский залив	54°32,5' с.ш.; 19°53' в.д.	6,58
	06.03	2	Вислинский залив	54°37' с.ш.; 20°08' в.д.	24,35
	06.03	3	Балтийское море	54°52' с.ш.; 19°57' в.д.	7,4
	05.03	4	Куршский залив	55°00' с.ш.; 20°45' в.д.	1,88
	05.03	5	Куршский залив	55°03' с.ш.; 21°00' в.д.	4,6
2010	26.02	1	Вислинский залив	54°32,5' с.ш.; 19°53' в.д.	4,6
	26.02	2	Вислинский залив	54°37' с.ш.; 20°08' в.д.	10,75
	26.02	3	Балтийское море	54°52' с.ш.; 19°57' в.д.	8,4
	27.02	4	Куршский залив	55°00' с.ш.; 20°45' в.д.	6,0
	27.02	5	Куршский залив	55°03' с.ш.; 21°00' в.д.	8,0
2011	02.03	1	Вислинский залив	54°32,5' с.ш.; 19°53' в.д.	9,0
	02.03	2	Вислинский залив	54°37' с.ш.; 20°08' в.д.	9,2
	05.03	3	Балтийское море	54°52' с.ш.; 19°57' в.д.	24,6
	05.03	4	Куршский залив	55°00' с.ш.; 20°45' в.д.	10,4
	05.03	5	Куршский залив	55°03' с.ш.; 21°00' в.д.	26,6

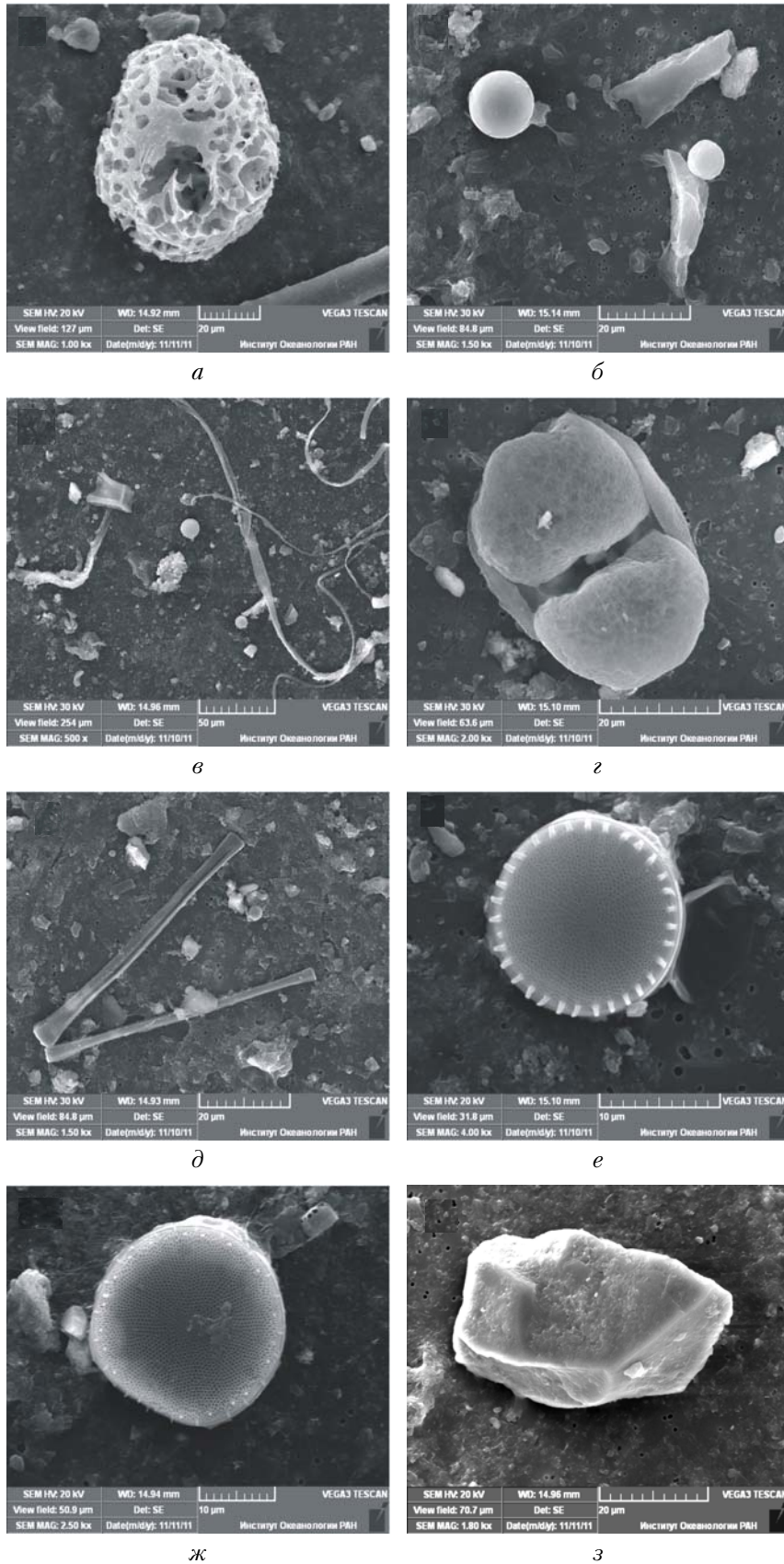


Рис. 2. Характерные твердые частицы, содержащиеся в снежном покрове юго-восточной части Балтийского моря: а – «летучий пепел» (fly ash); б – сферы сгорания; в – обрывки растительных волокон; г – пыльца; д – пеннатные диатомеи; е – центрическая диатомея; ж – центрическая диатомея *Thalassiosira sp.*; з – минеральное зерно

Для снегового эолового материала юго-восточной части Балтики наиболее характерными являются антропогенные частицы. Во всех изученных пробах отмечается высокое содержание сажи, пористых частиц пеплов (fly ash) (рис. 2, а), а также гладких сфер сгорания (рис. 2, б). Источниками сажевых частиц являются как печные дымовые трубы жилого сектора, хорошо развитого в прибрежных районах, так и удаленные источники, так как сажевый углерод может переноситься на большие расстояния [9–11]. Пористые углеродные частицы поступают в атмосферу в основном с выбросами тепловых электростанций и ТЭЦ [10, 11], важным их источником могут являться лесные пожары [23, 24].

Гладкие сферы, называемые также сферами сгорания [10], образуются при высокотемпературных процессах и выбрасываются в атмосферу тепловыми электростанциями, ТЭЦ и рядом других антропогенных источников. Они могут переноситься воздушными потоками на значительные расстояния. Учитывая преобладающий в исследуемом районе западный перенос воздушных масс, большое количество данного материала в снежном покрове может быть связано с влиянием промышленных районов Краковско-Селезского индустриального региона и Рурского бассейна.

Минеральные зерна обнаружены во всех пробах. Среди них резко преобладает кварц (рис. 2, з), другие минералы (полевые шпаты, глауконит, глинистые минералы) присутствуют в незначительных количествах. Наличие данных минералов свидетельствует о большой роли локального эолового переноса осадочного материала в зимний период, так как их источником являются, вероятнее всего, близлежащие береговые дюнные массивы на Вислинской и Куршской косах, пески которых представлены тем же комплексом минералов [25, 26].

Растительные волокна (рис. 2, в) длиной в десятки и сотни микрометров встречаются в пробах снега повсеместно. Выдуваемые ветрами с поверхности почв растительные обрывки могут переноситься на сотни километров [27], поэтому можно предположить, что в составе снега юго-восточной части Балтики присутствуют волокна как локального, так и дальнего переноса. В отличие от растительных волокон, пыльца, как еще одна составляющая биогенного эолового материала, в пробах снега исследуемого района фактически отсутствует. Она была обнаружена только в снежном покрове льда Вислинского залива в 2010 г. и представлена единичными зернами пыльцы сосны приморской (*Pinus pinaster*), одного из наиболее распространенных растений на Вислинской косе (рис. 2, з), т.е. ее наличие в снежном покрове обусловлено локальным эоловым переносом.

Диатомовые водоросли выявлены во всех пробах из снежного покрова льда Куршского и Вислинского заливов, а также берегового припая Самбийского полуострова. По видовому разнообразию преобладают пресноводные и солоновато-водные диатомеи (*Asterionella formosa*, *Stephanodiscus minutulus*,

Stephanodiscus hantzschii и др.) и морские планктонные диатомовые водоросли рода *Thalassiosira*.

Пресноводные и солоновато-водные диатомеи вида *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus minutulus*, *Stephanodiscus hantzschii* (рис. 2, д, е) [28] широко распространены в эвтрофных водоемах, к которым и относятся Куршский и Вислинский заливы Балтийского моря. Колонии *Asterionella formosa*, а также отдельные представители вида *Stephanodiscus minutulus*, *Stephanodiscus hantzschii* в значительных количествах присутствуют в снежном покрове Куршского и Вислинского заливов и практически не встречаются в пробах снега из берегового припая.

В снегу берегового припая обнаружены диатомовые рода *Thalassiosira* (рис. 2, ж), относящиеся к морским планктонным видам из группы центрических диатомей. Вероятно, морские диатомеи попадают в состав снега берегового припая за счет срыва ветром тонкого поверхностного слоя морской воды.

Ранее было показано, что створки диатомовых водорослей часто встречаются в составе нерастворимых частиц, содержащихся в снежном покрове дрейфующих льдов Арктики и прилегающей береговой зоны, поступая туда за счет эолового переноса из поверхностного микрослоя свободных ото льда участков морей [2–4, 6, 9–11].

Заключение

1. Содержание нерастворимых частиц в снежном покрове на льду заливов и береговом припая Юго-Восточной Балтики составляет в среднем 13,81 мг/л, что в несколько раз выше фоновых значений для снежного покрова Арктики.

2. Основными компонентами эолового материала снежного покрова являются частицы антропогенного, литогенного и биогенного происхождения. Среди них преобладает антропогенная составляющая (сажа, летучий пепел и сферы сгорания). Биогенные частицы представлены обрывками растительных волокон, створками диатомовых водорослей и пылью. Основным минералом является кварц.

3. Проведенные исследования выявили, что формирование вещественного состава эолового материала снежного покрова происходит под воздействием как локального, так и дальнего воздушного переноса.

Авторы благодарят В.А. Карлова за помощь в выполнении сканирующей электронной микроскопии и академика А.П. Лисицына за поддержку.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (проект № 1-05-90758-моб_ст) и Отделения наук о Земле РАН (проект «Микро- и наночастицы...»).

1. Лисицын А.П. Новый тип седиментогенеза в Арктике — ледовый морской, новые подходы к исследованию процессов // Геол. и геофиз. 2010. Т. 51, № 1. С. 18–60.
2. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Полякова Е.И., Детлеф Д., Серова В.В., Штайн Р. Распределение и состав осадочного материала в снежном покрове дрейфующих льдов Арктики (пролив Фрама) // Докл. РАН. 2002. Т. 383, № 3. С. 385–389.

3. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Штайн Р., Горюнова Н.В., Кловиткин А.А., Кравчишина М.Д., Крисс М., Новизатский А.Н., Соколов В.Т., Филиппов А.С., Хаас Х. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 1(75). С. 106–118.
4. Горюнова Н.В., Шевченко В.П. Исследование аэрозолей и нерастворимых частиц в снежном покрове на дрейфующих льдах западной части Российской Арктики в августе–сентябре 2006 г. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 1(78). С. 112–117.
5. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 181 с.
6. Darby D.A., Naidu A.S., Mowatt T.C., Jones G. Sediment composition and sedimentary processes in the Arctic Ocean // The Arctic Seas – Climatology, Oceanography, Geology and Biology / Ed. Y. Herman, R. Van Nastrand. N.Y., 1989. P. 657–720.
7. Бояркина А.П., Байковский В.В., Васильев Н.В., Глухов Г.Г., Медведев М.А., Писарева Л.Ф., Резчиков В.И., Шелудько С.И. Аэрозоли в природных планшетах Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1993. 157 с.
8. Eicken H., Reimnitz E., Alexandrov V., Martin T., Kassen H., Viehoff T. Sea-ice processes in the Laptev Sea and their importance for sediment export // Continental Shelf Research. 1997. V. 17, N 2. P. 205–233.
9. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А., Смирнов В.В., Серова В.В., Штайн Р. Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований // Оптика атмосф. и океана. 2000. Т. 13, № 6–7. С. 551–576.
10. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
11. Аэрозоли Сибири / Отв. ред. К.П. Куценогий // Интеграционные проекты СО РАН. Вып. 9. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 548 с.
12. Таловская А.В., Язиков Е.Г., Панченко М.В., Козлов В.С. Мониторинг потоков аэрозольных выпадений в фоновых районах Томской области в зимний период 2006 и 2007 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21, № 6. С. 498–503.
13. Рапута В.Ф., Коковкин В.В., Девятова А.Ю. Сравнительная оценка состояния длительного загрязнения атмосферы и снежного покрова г. Новосибирска на сети стационарных постов Гидрометеослужбы // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 499–504.
14. Шевченко В.П., Коробов В.Б., Лисицын А.П., Алешинская А.С., Богданова О.Ю., Горюнова Н.В., Грищенко И.В., Дара О.М., Завернина Н.Н., Куртеева Е.И., Новичкова Е.А., Покровский О.С., Сапожников Ф.В. Первые данные о составе пыли, окрасившей снег на Европейском севере России в желтый цвет (март 2008 г.) // Докл. РАН. 2010. Т. 431, № 5. С. 675–679.
15. Лагутин А.А., Суторихин И.А., Синецин В.В., Жуков А.П., Шмаков И.А. Мониторинг крупных промышленных центров юга Западной Сибири с использованием данных MODIS и наземных наблюдений // Оптика атмосф. и океана. 2011. Т. 24, № 1. С. 60–66.
16. Чечко В.А., Курченко В.Ю. О содержании тяжелых металлов в снежном покрове Вислинской и Куршской лагун (Балтийское море) // Геология морей и океанов: Тезисы докл. XVIII Междунар. научн. конф. (школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2009. С. 324–325.
17. Чечко В.А., Курченко В.Ю. Методы исследований эолового материала в береговой зоне юго-восточной Балтики // Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водоемов. Труды Междунар. конф. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. С. 175–180.
18. Курченко В.Ю., Чечко В.А., Шевченко В.П. Вертикальные потоки и вещественный состав нерастворимой части эолового материала юго-восточной Балтики // Аэрозоли Сибири. XVII Рабочая группа: Тезисы докл. Томск: Ин-т оптики атмосферы СО РАН, 2010. С. 32.
19. Топчая В.Ю., Чечко В.А. Особенности вещественного состава эолового материала, накапливающегося в снежном покрове юго-восточной Балтики // Геология морей и океанов: Тезисы докл. XIX Междунар. научн. конф. (школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2011. С. 97–100.
20. Горюнова Г.В. Биогеохимическая индикация аэрозольного загрязнения окружающей среды в странах Балтийского региона // Тезисы докл. XXVIII научн. конф. КГУ. Калининград, 1997. Ч. 1. С. 24–25.
21. Юденкова Н.М. Загрязнение Балтийского моря тяжелыми металлами // Тезисы докл. Междунар. научн. конф. КГТУ. Калининград, 1999. С. 98.
22. Viklander M. Substances in urban snow: A comparison of the contamination of snow in different parts of the city of Lulee, Sweden // Water, Air and Soil Pollut. 1999. V. 114. P. 377–394.
23. Rose N., Juggins S., Watt J., Battarbee R. Fuel-type characterization of spheroidal carbonaceous particles using surface chemistry // Ambio. 1994. V. 23, N 4–5. P. 296–299.
24. Hueglin C., Gaegauf C., Kunzel S., Burtscher H. Characterization of wood combustion particles: morphology, mobility, and photoelectric activity // Environ. Sci. & Technol. 1997. V. 31, N 12. P. 3439–3447.
25. Трофимов В.С. Янтарь. М.: Недра, 1974. 184 с.
26. Стаускайте Р. Минералогический состав и литодинамика песков подводного берегового склона и пляжа // Lietuvos TSR Geografinė draugija. Geografinis metraštis. 1964. T. VI. P. 43–44.
27. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения. М.: ВЛАДОС, 1999. 384 с.
28. Round F. The diatom genus *Stephanodiscus*: an electron-microscopic view of the classical species // Archiv für Protistenkunde. 1981. V. 124. P. 455–470.

V.Yu. Topchaya, V.A. Chechko, V.P. Shevchenko. The composition of aeolian material contained in the snow cover of coastal South-Eastern Baltic Sea.

The results of studies of the aeolian material contained in the snow cover of the coastal zone of South-Eastern Baltic Sea in 2009–2011 are presented. The average value of concentration of insoluble particles in the snow cover is 13.81 mg/l. In the snow cover anthropogenic particles are dominated in the form of soot and fly ash. Biogenic material is mainly composed of vegetation fibers and valves of diatoms. Mineral particles were found in all samples, the quartz grains prevail among them.