DOI: 10.17117/na.2015.12.02.507

<http://ucom.ru/doc/na.2015.12.02.507.pdf>

Поступила (Received): 20.12.2015

**Шевченко В.П., Калинина О.Ю., Коробов В.Б.,
Лещёв А.В., Сапожников Ф.В., Яковлев А.Е.
Особенности распределения и вещественного состава
рассеянного осадочного вещества в снежном
покрове водосборного бассейна Белого
моря в конце зимнего периода**

**Shevchenko V.P., Kalinina O.Yu., Korobov V.B.,
Leshchev A.V., Sapozhnikov Ph.V., Yakovlev A.E.
Peculiarities of distribution and composition of dispersed
sedimentary matter in snow cover of the White Sea
catchment area at the end of winter**

Нерастворимые частицы (рассеянное осадочное вещество) в снежном покрове водосборного бассейна Белого моря были изучены в конце зимнего периода. В фоновых районах концентрация нерастворимых частиц в снеге в среднем была 3,33 мг/л, в г. Архангельске и его окрестностях – в среднем 11,8 мг/л. Осадочное вещество снега состоит в фоновых районах в основном из биогенных и литогенных частиц, вблизи Архангельска преобладают сажа (черный углерод) и пепловые частицы

Ключевые слова: *рассеянное осадочное вещество, снежный покров, водосборный бассейн, Белое море*

Шевченко Владимир Петрович

Кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
г. Москва, Нахимовский проспект, 36*

Калинина Ольга Юрьевна

Младший научный сотрудник

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
г. Москва, Ленинские горы, 1*

Insoluble particles (dispersed sedimentary matter) in snow cover of the White Sea catchment area were studied at the end of winter. Concentrations of insoluble particles in background areas were 3.33 mg/l in average, in Arkhangelsk city and its vicinity they were 11.8 mg/l in average. Insoluble particles in snow cover of background areas are represented by biogenic and lithogenic particles mainly; in Arkhangelsk and its vicinity soot (black carbon) and ash dominate

Key words: *dispersed sedimentary matter, snow cover, catchment area, the White Sea*

Shevchenko Vladimir Petrovich

*Candidate of Geology-Mineralogical Sciences,
Leading Scientist*

*Institute of Oceanology named P.P. Shirshov Russian Academy of Sciences
Moscow, Nakhimovsky ave., 36*

Kalinina Olga Yurievna

Junior Researcher

*Moscow state university named M.V. Lomonosov
Moscow, Leninskie gory, 1*

Коробов Владимир Борисович

Доктор географических наук, директор
Северо-Западное отделение Института
океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Архангельск, наб. Северной Двины, 112, корп. 3

Лещев Андрей Владимирович

Научный сотрудник
Северо-Западное отделение Института
океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Архангельск, наб. Северной Двины, 112, корп. 3

Сапожников Филипп Вячеславович

Кандидат биологических наук, старший научный
сотрудник
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
г. Москва, Нахимовский проспект, 36

Яковлев Александр Евгеньевич

Инженер
Северо-Западное отделение Института
океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Архангельск, наб. Северной Двины, 112, корп. 3

Korobov Vladimir Borisovich

Doctor of Geographical Sciences, Director
Northwestern Branch of P.P. Shirshov Institute of
Oceanology, Russian Academy of Sciences
Arkhangelsk, Severnaya Dvina emb., 112/3

Leshchev Andrey Vladimirovich

Scientist
Northwestern Branch of P.P. Shirshov Institute of
Oceanology, Russian Academy of Sciences
Arkhangelsk, Severnaya Dvina emb., 112/3

Sapozhnikov Philipp Vjacheslavovich

Candidate of Biological Sciences, Senior Scientist
Institute of Oceanology named P.P. Shirshov Russian
Academy of Sciences
Moscow, Nakhimovsky ave., 36

Yakovlev Alexander Evgenjevich

Engineer
Northwestern Branch of P.P. Shirshov Institute of
Oceanology, Russian Academy of Sciences
Arkhangelsk, Severnaya Dvina emb., 112/3

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ
(грант № 15-05-08374)*

Введение. Снег вымывает из атмосферы нерастворимые частицы (рассеянное осадочное вещество). Снежный покров является природным архивом вещества, поступающего из атмосферы [1–3]. Снег сохраняется на поверхности почвы или льда и таким образом фиксирует атмосферные выпадения за снежный период года. Осадочное вещество снега характеризует зимнюю атмосферу, когда суша покрыта снегом, а реки, озера, моря – слоем льда, т.е. поступление аэрозольного вещества из почвы прилегающих районов минимально, поэтому главное значение приобретает вещество, переносимое в атмосфере от дальних различных источников или от локальных антропогенных источников [4–7].

Исследование осадочного вещества в снежном покрове проводится во многих регионах [8–17]. В водосборном бассейне Белого моря такие исследования проводятся в рамках проекта «Система Белого моря» (руководитель – академик А.П. Лисицын) [18, 19]. Целью нашей работы было изучение рассеянного осадочного вещества в снежном покрове водосборного бассейна Белого моря в конце зимнего периода.

Материалы и методы. Нерастворимые частицы в снежном покрове водосбора Белого моря были изучены в Архангельской и Вологодской областях в период с 20 марта по 15 апреля 2013 г. На рис. 1 представлена карта схема расположения станций (точек проведения исследований) отбора проб снега в период экспедиции.

Рис. 1. Схема отбора проб. На врезке показаны пробы, отобранные в г. Архангельске и его окрестностях. Кружками обозначены станции по отбору снежного покрова

На станциях снег отбирали пластмассой трубой диаметром 20 см от поверхности до слоя, граничащего с замерзшей почвой или льдом рек, стараясь избежать загрязнения от поверхности почвы. Толщина снежного покрова варьировала от 7 до 82 см. На ряде станций дополнительно отбирали пробы льда и подледной воды. Пробы снега были отобраны в 32 точках. В лаборатории снег растапливали при комнатной температуре в пластиковых ведрах, закрытых крышками, и фильтровали через предварительно взвешенные лавсановые ядерные фильтры (Дубна) диаметром 47 мм с диаметром пор 0,45 мкм. После окончания фильтрации фильтры перекладывали в чистые пластиковые чашки Петри диаметром 60 мм, высушивали при температуре 55–60°C и повторно взвешивали. Состав частиц был изучен с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 SEM (Tescan) с микрозондовой приставкой INCA Energy (Oxford Instruments).

Результаты и их обсуждение. На станциях, расположенных в фоновых районах, концентрация нерастворимых частиц в снеге варьировала от 0,73

(ст. 27, эстуарий р. Мезени) до 7,43 мг/л (ст. 2 на юго-востоке Архангельской области в долине р. Вычегды), в среднем составляя 3,33 мг/л при стандартном отклонении 1,7 мг/л для 26 проб. Это незначительно выше, чем фоновые для снежного покрова Арктики значения (рис. 2). Например, в июле 2007 г. концентрация нерастворимых частиц в снежном покрове на дрейфующих льдах в проливе Фрама между Шпицбергом и Гренландией варьировала от 1,03 до 12,9 мг/л, составляя в среднем 2,74 мг/л [8]; в сентябре 2003 г. – феврале 2004 г. вблизи Северного полюса она варьировала от 0,18 до 0,69 мг/л, составляя в среднем 0,37 мг/л [12].

Рис. 2. Средние концентрации нерастворимых частиц в снежном покрове фоновых районов Архангельской и Вологодской областей (данная работа), пролива Фрама [8], окрестностей Северного полюса [12] и спальных районов г. Лулео, Швеция [20]

Значительно более высокие концентрации частиц были в г. Архангельске и его окрестностях (от 3,78 до 22,9 мг/л, в среднем 11,8 мг/л при стандартном отклонении 9,3 мг/л для 5 проб). Самый «грязный» снег был отобран на станции 34 вблизи железнодорожного моста через Северную Двину. Основные источники загрязнения окружающей среды Архангельска – предприятия теплоэнергетического комплекса, автомобильный и железнодорожный транспорт [19]. Средняя концентрация нерастворимых частиц в снеге г. Архангельска и его окрестностей незначительно превышает концентрации, характерные для снежного покрова городов со средней степенью загрязнения атмосферы, например, для спальных районов города Лулео, Швеция (в среднем 19 мг/л) [20].

Наиболее характерные нерастворимые частицы в снежном покрове по данным электронной сканирующей микроскопии показаны на рисунке 3.

В фоновых районах в основном преобладают биогенное вещество (растительные волокна, споры, пыльца) и литогенные (минеральные) частицы, представленные в основном кварцем и алюмосиликатами.

а

б

в

г

д

е

Рис. 3. Наиболее характерные нерастворимые частицы в снежном покрове (по данным сканирующей электронной микроскопии): а – минеральное зерно, б – растительные волокна, споры, в – спора, минеральное зерно, г – растительные волокна, д – диатомовые водоросли *Nitzschia frigida* Grunow, е – пепел

На ряде станций в снеге были отмечены створки диатомовых водорослей: *Pinnularia rupestris* Hantzsch на ст. 21 в эстуарии р. Тамицы, *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow на ст. 22 в эстуарии р. Кянды, *Neidium ampliatum* (Ehrenberg) Krammer на ст. 27 в эстуарии р. Мезени и *Nitzschia frigida* Grunow на ст. 29 на льду р. Пинеги. Ранее створки диатомовых были отмечены в снеге на ледовом покрове Северного Ледовитого океана, его морей и на прилегающей суше [7, 8, 12, 14, 17, 19]. Зимой диатомовые водоросли попадают в атмосферу в основном за счет выдувания ветром из тонкого поверхностного слоя воды в полыньях и трещинах и в дальнейшем переносятся воздушными массами.

Более высокое содержание сажи (черного углерода) и пепла отмечено на станциях, расположенных в г. Архангельске и его окрестностях (станции 30–36), что характерно для снега других районов, близких к городам [15–17, 19]. Пепел и сажа поступают в атмосферу при неполном сгорании различных топлив и биомассы.

Заключение. На станциях, расположенных в фоновых районах, концентрация нерастворимых частиц в снеге варьировала от 0,73 до 7,43 мг/л, в среднем составляя 3,33 мг/л. Это незначительно выше, чем фоновые для снежного покрова Арктики значения. Значительно более высокая концентрация частиц была в г. Архангельске и его окрестностях (от 3,78 до 22,9 мг/л, в среднем 11,8 мг/л). Рассеянное осадочное вещество снега в фоновых районах состоит в основном из биогенных (растительные волокна, споры и пыльца, створки диатомовых водорослей) и литогенных частиц, вблизи Архангельска преобладают сажа (черный углерод) и пепловые частицы.

Благодарности. Авторы благодарны С.К. Белорукову, К.А. Середкину, Г.Д. Хоменко, принимавшим участие в экспедиционных исследованиях, В.Ю. Кащенко и В.А. Карлову за помощь в выполнении сканирующей электронной микроскопии и академику А.П. Лисицыну за ценные советы.

Список используемых источников:

1. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 181 с.
2. 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 ландшафтах Сибири. Томск: Изд-во ТГУ, 1993. 157 с.
3. Рапута В.Ф., Коковкин В.В. Методы интерпретации данных мониторинга загрязнения снежного покрова // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. Т. 10. № 5. С. 669–682.
4. Lisitzin A.P. Sea-ice and Iceberg Sedimentation in the Ocean: Recent and Past. Berlin: Springer, 2002. 563 p.
5. Лисицын А.П. Новый тип седиментогенеза в Арктике – ледовый морской, новые подходы к исследованию процессов // Геология и геофизика. 2010. Т. 15. № 1. С. 18–60.
6. Shevchenko V. The influence of aerosols on the oceanic sedimentation and environmental conditions in the Arctic. Berichte zur Polar- und Meeresforschung. 2003. No. 464. 149 p.
7. Mullen R.E., Darby D.A., Clark D.L. Significance of atmospheric dust and ice rafting for Arctic sediment // Geol. Soc. America Bull. 1972. V. 83. P. 205–212.
8. 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) // Доклады Академии наук. 2002. Т. 383. № 3. С. 385–389.

8. Кособокова К.Н., Пантюлин А.Н., Рахор А., Ратькова Т.Н., Шевченко В.П., Агатова А.И., Лапина Н.М., Белов А.А. Комплексные океанографические исследования в Белом море в апреле 2003 г. // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 2. С. 313–320.
9. Сысо А.И., Артамонова В.С., Сидорова М.Ю., Ермолов Ю.В., Черевко А.С. Загрязнение атмосферы, снегового и почвенного покрова г. Новосибирска // *Оптика атмосферы и океана*. 2005. Т. 18. № 8. С. 663–669.
10. Walker T.R. Comparison of anthropogenic metal deposition rates with excess soil loading from coal, oil and gas industries in the Usa River Basin, NW Russia // *Polish Polar Research*. 2005. V. 26. № 4. P. 299–314.
11. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Штайн Р. (Stein R.), Горюнова Н.В., Ключевиткин А.А., Кравчишина М.Д., Кривс М. (Kriews M.), Новигатский А.Н., Соколов В.Т., Филиппов А.С., Хаас Х. (Haas C.). Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // *Проблемы Арктики и Антарктики*. № 75. Результаты исследований высокоширотной Арктики в преддверии Международного полярного года. Санкт-Петербург: ААНИИ, 2007. С. 106–118.
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 атмосферы и океана*. 2008. Т. 21. № 6. С. 498–503.
13. 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.) // *Доклады Академии наук*. 2010. Т. 431. № 5. С. 675–679.
14. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 264 с.
15. Голохваст К.С., Соболева Е.В., Никифоров П.А., Христофорова Н.К., Гульков А.Н. Анализ нано- и микрочастиц в снеге г. Уссурийск // *Вода: химия и экология*. 2012. № 11. С. 108–112.
16. Шевченко В.П., Воробьев С.Н., Кирпотин С.Н., Крицков И.В., Манасыпов Р.М., Покровский О.С., Политова Н.В. Исследование нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби // *Оптика атмосферы и океана*. 2015. Т. 28. № 6. С. 499–504.
17. Лисицын А.П. Процессы в водосборе Белого моря: подготовка, транспортировка и отложение осадочного материала, потоки вещества, концепция «живого водосбора» // *Система Белого моря. Т. I. Природная среда Водосбора Белого моря*. М.: Научный мир, 2010. С. 353–445.
18. Шевченко В.П., Алиев Р.А., Бобров В.А., Гордеев В.В., Горюнова Н.В., Демина Л.Л., Замбер Н.С., Коробов В.Б., Котова Е.И., Кузнецов О.Л., Макаров В.И., Новигатский А.Н., Покровский О.С., Попова С.А., Романенко Ф.А., Стародымова Д.П., Субетто Д.А., Филиппов А.С. Эоловый материал в природных архивах // *Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера* / Отв. ред. Лисицын А.П., ред. Немировская И.А. М.: Научный мир, 2012. С. 70–107.
19. Viklander M. Substances in urban snow. A comparison of the contamination of snow in different parts of the city of Luleå, Sweden // *Water, Air, and Soil Pollution*. 1999. V. 114. P. 377–394.

© 2015, Шевченко В.П., Калинина О.Ю., Коробов В.Б., Лещёв А.В., Сапожников Ф.В., Яковлев А.Е.
Особенности распределения и вещественного состава рассеянного осадочного вещества в снежном покрове водосборного бассейна Белого моря в конце зимнего периода

© 2015, Shevchenko V.P., Kalinina O.Yu., Korobov V.B., Leshchev A.V., Sapozhnikov Ph.V., Yakovlev A.E.
Peculiarities of distribution and composition of dispersed sedimentary matter in snow cover of the White Sea catchment area at the end of winter