

**Шевченко В.П.<sup>1</sup>, Гордеев В.В.<sup>1</sup>, Демина Л.Л.<sup>1</sup>, Новигатский А.Н.<sup>1</sup>, Попова С.А.<sup>2</sup>, Толстикова А.В.<sup>3</sup>, Филиппов А.С.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, e-mail: [vshevch@ocean.ru](mailto:vshevch@ocean.ru); <sup>2</sup>Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск; <sup>3</sup>Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск)

**Геохимия снежно-ледового покрова губы Чупа, Кандалакшский залив Белого моря в конце зимы**  
**Shevchenko V.P.<sup>1</sup>, Gordeev V.V.<sup>1</sup>, Demina L.L.<sup>1</sup>, Novigatsky A.N.<sup>1</sup>, Popova S.A.<sup>2</sup>, Tolstikova A.V.<sup>3</sup>, Filippov A.S.<sup>1</sup>**

(<sup>1</sup>Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow; <sup>2</sup>Institute of Chemical Kinetics and Combustion of Siberian Branch of RAS, Novosibirsk; <sup>3</sup>Institute on Northern Water Problems of Karelian RC RAS, Petrozavodsk)

**Geochemistry of snow-ice cover of Chupa inlet, Kandalaksha Bay of the White Sea at the end of winter**

Ключевые слова: осадочное вещество, эоловый перенос, ледовый перенос, снег, Белое море

В снежно-ледовом покрове губы Чупа (Кандалакшский залив Белого моря) изучалось распределение взвешенного вещества, сажевого углерода, металлов в конце зимы (26 марта–8 апреля 2004 г.). Эоловый перенос играет важную роль в поставке осадочного вещества (включая экотоксиканты) в снежно-ледовый покров губы, но исследуемый район всё-таки можно отнести к фоновым.

Роль эолового и ледового переноса осадочного материала (включая загрязняющие вещества) в поставке вещества в Белое море ранее недооценивалась. В ходе проведения многодисциплинарных исследований по проекту “Система Белого моря” в 2000–2009 гг. в море и в бассейне водосбора проводится изучение распределения и состава аэрозолей, снега, льда, накопления эолового материала лишайниками, мхами, болотными отложениями [1–8]. Детальные исследования состава снега, льда и подледной воды в районе мыса Картеш, губа Чупа, Белое море были проведены в период с 26 марта по 8 апреля 2004 г. Результаты изучения углеводородов в данной экспедиции были опубликованы ранее [6]. Положение станций показано на рисунке.

Снег отбирали в предварительно промытые бидистиллированной водой пластмассовые ведра. При отборе использовали одноразовые стерильные полиэтиленовые перчатки. Керны льда получали титановым буром с внутренним диаметром 140 мм. Керн льда был описан и разделен на слои, соответствующие структурным характеристикам льда. Пробы воды и растопленного снега и льда были профильтрованы через предварительно взвешенные ядерные фильтры диаметром 47 мм с порами 0.45 мкм и

стекловолоконистые фильтры Whatman GF/F. Концентрации растворенных форм металлов (после фильтрации через ядерные фильтры) были определены методом атомно-абсорбционного анализа: Cr, Cd, Pb, Ni, Co, As, Hg в графитовой кювете на спектрометре Квант-Z.ЭТА, а Fe, Mn, Zn в пламени ацетилен-воздух на спектрометре Квант-2А. Методика определения неорганического (сажевого) углерода описана в работе [9].

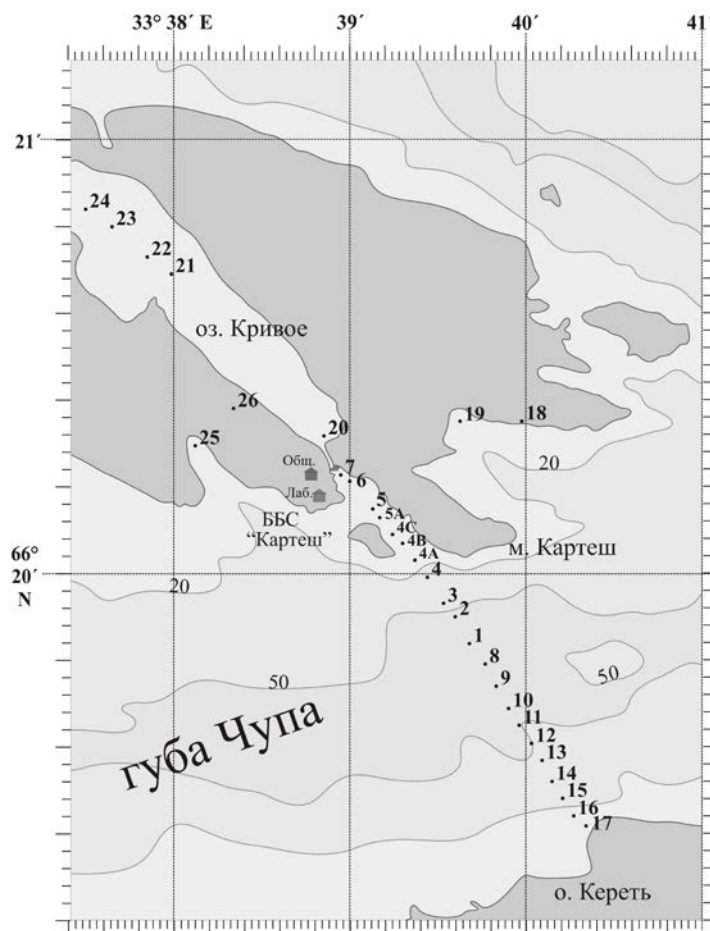


Рисунок. Схема расположения станций.

Толщина снежного покрова на разрезе от кута губы Кривозерская до о. Кереть (рис.) варьировала от 7 до 23 см. Непосредственно в губе Кривозерская, около пристани биостанции ЗИН РАН "Картеш" (ст. 7, 6, 5),

мы наблюдали самые высокие значения, поскольку, относительно закрытые участки, защищенные береговой линией, способствуют аккумуляции снега. В губе Кривозерской толщина льда была максимальной (50–100 см), а на остальной части разреза она была в пределах от 25 до 30 см. Губа Кривозерская распресняется вследствие стока вод из озера Кривое, а поскольку более пресная вода имеет температуру замерзания выше, чем соленая, то и толщина льда увеличивается в распресненных водах. Это предположение подтверждается данными по солености льда: наиболее пресный лед был зафиксирован на ст. 7, находящейся недалеко от места впадения пресного ручья. Ледовое поле по солености можно разделить на три части: первая – кровля, характеризуется повышенной соленостью, величины варьируют от 0.6 до 7.5‰, самые низкие величины свойственны распресненному льду ст. 6. Третья – подошва, характеризуется самым высоким содержанием солей (1–10‰), что вполне естественно, поскольку этот слой наиболее насыщен солевыми растворами, вследствие нарастания льда снизу. Соответственно вторая часть является промежуточной, где соленость варьирует от 0.3 до 5.2‰. Такое распределение отражает естественный рост ледового поля. Высокие значения солености в кровле связаны с прогибанием молодого и, значит, тонкого, ледового ложа под воздействием мощного снежного покрова. Это приводит к распространению морской воды на поверхности ледовых полей, далее подмокший снег смерзается в лед, образуя ледовую кровлю с повышенным значением солености.

Концентрации нерастворимых частиц в поверхностном слое снежного покрова губы Чула близ мыса Картеш в середине марта 2001 г. варьировали от 0.5 до 1.6 мг/л, в среднем 0.72 мг/л, а в начале апреля 2002 г. – от 0.22 до 0.50 мг/л [3–5]. Концентрации нерастворимых частиц в снеге в конце марта – начале апреля 2004 г. варьировали от 0.33 до 2.63 мг/л, в среднем составляя 0.84 мг/л (n = 16 проб). Такие концентрации нерастворимых частиц характерны для фоновых районов. По результатам сканирующей электронной микроскопии видно, что в составе нерастворимых частиц, содержащихся в снежном покрове губы Чула, преобладают минеральные частицы размером 1–5 мкм. Часто встречаются диатомеи. Отмечены агрегаты сажевых частиц и отдельные сферы сгорания. Концентрации неорганического (сажевого) углерода в свежеснежавшем снеге варьировали от 6.6 до 23.7 мкг/л (в среднем 15.1 мкг/л, n = 4 пробы), а в слежавшемся перекристаллизованном снеге достигали 101.4 мкг/л. Наблюдения, выполненные по периферии Северного Ледовитого океана, показали, что концентрации сажевого углерода в снежном покрове варьируют от 1 до более чем 200 мкг/л (наиболее характерны значения 40–50 мкг/л) [10], а в Канадской Арктике в области круговорота Бофорта весной 1998 г. они варьировали от 1 до 7 мкг/л [11].

Концентрация растворенных форм большинства изученных нами микроэлементов (Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Pb) в свежеснежавшем снеге на льду губы Чупа была того же порядка, что и в фоновых районах Арктики, но значительно ниже, чем на Кольском полуострове [12–14], а As и Cd в несколько раз выше, чем в фоновых районах. Средняя концентрация растворенной Hg в наших пробах (0.017 мкг/л) находится на уровне концентраций суммы растворенной и взвешенной форм ртути на баренцевоморском побережье Кольского полуострова [14], а концентрация растворенного Fe была ниже предела обнаружения (<10 мкг/л).

В верхних частях ледовых кернов концентрация нерастворимых частиц (криозолей) составляли 0.7–0.9 мг/л и увеличивались вниз по разрезу, достигая 13.4–26.3 мг/л в нижних 2 см кернов на границе лед–вода, где было отмечено весеннее цветение диатомовых водорослей.

Таким образом, эоловый перенос играет важную роль в поставке осадочного вещества (включая экотоксиканты) в снежно-ледовый покров губы Чупа, но исследуемый район всё-таки можно отнести к фоновым.

Авторы признательны академику А.П. Лисицыну, чл.-корр. РАН Н.Н. Филатову, В.Я. Бергеру, И.А. Немировской, М.А. Бизину, К.П. Куценогому, А.В. Митрохову, и всем, кто помогал в проведении исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты №№ 06-05-64815, 07-05-00691, 08-05-00860), гранта поддержки ведущих научных школ НШ-361.2008.5, Программ фундаментальных исследований Президиума РАН № 16, часть 2 и № 17 (проекты 4.4 и 6.4), проекта “Наночастицы во внешних и внутренних сферах Земли”, российско-германской Лаборатории им. О. Шмидта.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Новые возможности четырехмерной океанологии и мониторинга второго поколения – опыт двухлетних исследований на Белом море // Актуальные проблемы океанологии. М.: Наука, 2003. С. 501–554.
2. Немировская И.А. Углеводороды Белого моря (пути поступления, формы миграции, генезис) // Геохимия. 2005. № 5. С. 542–554.
3. Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
4. Шевченко В.П., Ратькова Т.Н., Бояринов П.М. и др. Исследование взвеси, микроводорослей и потоков осадочного вещества в губе Чупа, Белое море в конце зимнего периода // Водные ресурсы Европейского Севера: итоги и перспективы исследований. Материалы юбилейной конференции, посвященной 15-летию Института водных проблем КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2006. С. 520–537.
5. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Гордеев В.В. и др. Эоловый и ледовый перенос осадочного вещества (включая экотоксиканты) в Бассейне Белого

моря // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря. Материалы X Международной конференции. Архангельск: Изд-во СГМУ, 2007. С. 86–89.

6. Немировская И.А., Шевченко В.П., Новигатский А.Н., Филиппов А.С. Содержание и состав взвеси и органических соединений в снежно-ледовом покрове Белого моря // Арктика и Антарктика. М.: Наука, 2008. Вып. 6 (40). С. 108–122.

7. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Немировская И.А., Ключиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Новичкова Е.А., Политова Н.В., Филиппов А.С. Развитие четырехмерной океанологии и создание фундаментальных основ комплексного мониторинга морских экосистем (на примере Белого моря) // Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей. М.: Научный мир, 2009 (в печати).

8. Шевченко В.П., Виноградова А.А., Лисицын А.П., Новигатский А.Н., Горюнова Н.В. Атмосферные аэрозоли как источник осадочного вещества и загрязнений в Северном Ледовитом океане // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: Современное состояние и история развития. М.: Изд-во Московского университета, 2009 (в печати).

9. Попова С.А., Макаров В.И., Башенхаева Н.В., Ходжер Т.В. Сравнение результатов измерения содержания углерода в атмосферных аэрозолях методами реакционной газовой хроматографии и сухого сжигания // Химия в интересах устойчивого развития. 2007. Т. 15. С. 97–103.

10. Clarke A.T., Noone K.J. Soot in the arctic snowpack: A cause for perturbations in radiative transfer // Atmospheric Environment. 1985. V. 19. P. 2045–2053.

11. Grenfell T.C., Light B., Sturm M. Spatial distribution and radiative effects of soot in the snow and ice during the SHEBA experiment // Journal of Geophysical Research. 2002. V. 107. № C10. Doi: 10.1029/2000JC000414.

12. Евсеев А.В., Красовская Т.М. Эколого-географические особенности природной среды районов Крайнего Севера России. Смоленск: Изд-во СГУ, 1996. 232 с.

13. Caritat P. de, Äyräs M., Niskavaara H. et al. Snow composition in eight catchments in the Central Barents Euro-Arctic region // Atmospheric Environment. 1998. V. 32. № 14/15. P. 2609–2626.

14. Гордеев В.В., Лисицын А.П. Тяжелые металлы в снежном и ледовом покрове Баренцева моря // Океанология. 2005. Т. 45. № 5. С. 777–784.

Distribution of particulate matter, soot carbon and heavy metals were studied in snow-ice cover of the Chupa Inlet of Kandalaksha Bay, the White Sea, at the end of winter (March 26 – April 8, 2004). Aeolian transport plays an important role in delivery of pollutants to the studied area, but we could estimate state of environment of Chupa Inlet as background.