

вуют в образовании покровных структур и облегчают плавание личинки, придавая поверхности туники гидрофильные свойства (Cavalcante et al., 1999). Выполненная в программе Primer процедура Relate (Clarke, Gorley, 2006) показывает, что по комплексу гистохимических характеристик морулярные и тестальные клетки асцидий достоверно различаются. За исключением *M. citrina*, у которой соотношение белкового и полисахаридного компонентов в тестальных клетках сходно с морулярными — в них сильнее выражен белковый компонент, а среди полисахаридов преобладают нейтральные.

Следует отметить, что *M. citrina* имеет свои особенности в развитии — для нее характерно внутреннее оплодотворение, эмбрионы развиваются внутри материнского организма. Повидимому, и модификации личиночной туники у этого вида имеют свои особенности. Вероятно, химический состав гранул тестальных клеток и, соответственно, упаковка материала в гранулах связаны с типом развития животного и способом модификации свойств формирующейся личиночной туники.

Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ (гранты 09-04-01145а и 12-04-01497а). Авторы выражают огромную признательность сотрудникам ББС ЗИН РАН «Каргеш» за предоставленную возможность поработать на станции и постоянную помощь в проведении работ.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНОГО ПЕРЕНОСА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СНЕГА В РАЙОНЕ ББС МГУ (С-З ПОБЕРЕЖЬЕ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ)

В.П. Шевченко<sup>1</sup>, А.П. Лисицын<sup>1</sup>, Н.А. Буданцева<sup>2</sup>,  
А.Ю. Бычков<sup>3</sup>, Ю.К. Васильчук<sup>2</sup>, А.А. Виноградова<sup>4</sup>,  
Ю.А. Иванова<sup>4</sup>, Н.В. Кучерук<sup>1</sup>,  
О.В. Максимова<sup>1</sup>, А.Н. Новигатский<sup>1</sup>, О.С. Покровский<sup>5</sup>,  
Д.П. Стародымова<sup>1</sup>, А.С. Филиппов<sup>1</sup>, Ю.Н. Чижова<sup>2</sup>

1 — Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова РАН, 2 — Географический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова, 3 — Геологический ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова, 4 — Ин-т физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, 5 — Лаб. георесурсов и окружающей среды (Тулуза)

Большое значение для изучения воздушной (эоловой) поставки вещества в Белое море и на прилегающую к нему сушу

имеют исследования природных архивов — снежного покрова, лишайников, мхов, озерных и болотных отложений (Шевченко и др., 2011, 2012).

Снежный покров обладает рядом свойств, делающих его удобным индикатором состояния экосистемы (Василенко и др., 1985; Бояркина и др., 1993; Лисицын, 2001, 2010; Рапута, Коковкин, 2002; Lisitzin, 2002).

1. Снег вымывает из атмосферы твердые (аэрозоли) и растворенные вещества (влага и все виды загрязнений).

2. В отличие от дождя, который уходит в почву или стекает с поверхности льдов, снег сохраняется на поверхности почвы и льда и таким образом фиксирует все атмосферные выпадения за снежный период года.

3. Осадочное вещество снега (жидкое и растворенное) характеризует зимнюю атмосферу, когда окружающая суша покрыта слоем снега, а реки и моря — льдом, т.е. поступление аэрозольного минерального вещества и солей из водосбора и с поверхности моря отсутствует или минимально, большое значение поэтому приобретает вещество дальнего (тысячи км) переноса (Лисицын, 1978, 1994, 2011; Lisitzin, 1996).

Лишайники — очень устойчивая симбиотическая ассоциация грибов и зеленых водорослей или цианобактерий (Бязров, 2002). Вся поверхность тела лишайника подвергается воздействию загрязнителей, находящихся в воздухе, поэтому лишайники являются долгоживущими накопителями поллютантов, таких как тяжелые металлы, радионуклиды, фтор и хлорированные углеводороды (Баргальи, 2005). Данные о распространности, обилии видов лишайников и их элементном составе уже много лет используются для индикации загрязнения атмосферы (Garty, 2001; Бязров, 2002; Шевченко и др., 2004; Баргальи, 2005).

В Республике Карелия накопление тяжелых металлов лишайниками изучено слабо, опубликованы только единичные работы (Лазарева и др., 1992; Пантелеева, 2009). Сведений о таких исследованиях в окрестностях ББС МГУ в литературе мы не нашли.

В экспедициях в начале апреля 2010 г. и с 20 марта по 2 апреля 2012 г. проводилось исследование состава снежного покрова — как нерастворимых частиц, так и растворенной фазы.

Для изучения эолового переноса отобраны пробы свежеснежавшего снега и снежных шурфов. Для определения концентрации растворенной фракции металлов (точнее, суммы растворенной и коллоидных фракций) талую воду фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Концентрации металлов в фильтрате, подкисленном несколькими каплями азотной кислоты, определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе Element 2 (Thermo Finnigan) на кафедре геохимии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Изотопный состав кислорода и водорода талой снеговой воды анализировали в изотопной лаборатории географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова на масс-спектрометре «Delta-V» со стандартной опцией газ-бенч по стандартным методикам.

В 2010–2012 гг. на полуострове Киндо и в устьевой зоне Черной речки были отобраны пробы эпигейных (*Cladonia* spp.) и кустистых эпифитных (*Bryoria* spp. и *Usnea* spp.) лишайников. Отбор проб производился в стерильные полиэтиленовые пакеты, используя одноразовые полиэтиленовые перчатки. В лаборатории пробы хранили в холодильнике и затем высушивали при температуре 30–40°C в течение 3–5 суток. Высушенные пробы очищали от инородных примесей (фрагменты других растений, частицы почвы) с помощью пластикового пинцета. Далее пробы были перетерты в агатовой ступке растирочной машины FRITSCH pulversette (Германия). Растертые пробы были разложены смесью концентрированных ультрачистых  $H_2O_2$ ,  $HNO_3$  и  $HF$  в тefлоновых контейнерах с использованием микроволновой печи. Элементный состав лишайников был определен методами атомно-абсорбционной спектрометрии на приборах КВАНТ-2А и КВАНТ-Z.ЭТА в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Agilent 7500 в Лаборатории георесурсов и окружающей среды (Шевченко и др., 2011, 2012, 2013).

Концентрация нерастворимых частиц в снеге в период с 20 марта до 2 апреля 2012 г. была низкой (от 0,84 до 1,68 мг/л, в среднем 1,28 мг/л) и находилась на фоновом для Арктики уровне.

В снежной толще у причала ББС МГУ в интервале глубин 0–21 см вскрыт в основном снег, выпавший ранней вес-

ной (или поздней осенью), его значения  $\delta^{18}\text{O}$  варьируют от  $-11,8\%$  до  $-16\%$ , а значения  $\delta\text{D}$  от  $-77,63$  до  $-114,17\%$ . Для сравнения в свежем весеннем снеге на оз. Кисло-сладком значения  $\delta^{18}\text{O}$  составляют  $-14,7\%$ , а значения  $\delta\text{D}$   $-99,17\%$ . На оз. Верхнее Ершовском в верхних 20 см снежной толщи сохранился и зимний снег: его значения  $\delta^{18}\text{O}$  варьируют от  $-20,12$  до  $-22,3\%$ , а значения  $\delta\text{D}$  достигают  $-158,34\%$ . Здесь же в снежной корке на глубине 12–13 см значения  $\delta^{18}\text{O}$  составляют  $-15,7\%$ , а значения  $\delta\text{D}$   $-110,85\%$ . Таким образом, по распределению стабильных изотопов достаточно определенно отделяется снег зимнего периода от весеннего и осеннего (Васильчук, Котляков, 2000).

Концентрации суммы растворенных форм металлов были на фоновом уровне (Caritat et al., 1998; Гордеев, Лисицын, 2005; Шевченко, 2006). Однако концентрация растворенного стронция в снеге из окрестностей ББС МГУ на два порядка превышает концентрации стронция в снеге фоновых районов Арктики и близки к концентрациям в снеге, отобранном на дрейфующих льдах Центральной Арктики (Бардин и др., 1990), что говорит о влиянии морской соли. Под действием ветра капли морской воды поступают в приводный слой атмосферы и переносятся на сотни метров, оседая затем на снежный покров.

В целом, химический состав эпигейных лишайников варьирует в широких пределах и зависит от воздействия многих факторов. Привнос литогенной пыли играет главную роль для таких элементов как Ti, Cr, Co, Ga, Fe, Zr, Nb, Ga, Th, U, PЗЭ. Для Pb, Zn, Cd, Bi, Hg, Se важную роль играет дальний перенос от удаленных источников загрязнения. Влияние Мончегорского медно-никелевого комбината «Североникель» (Мурманская область) прослеживается на большие расстояния и выражается в районе ББС МГУ в дополнительном, по сравнению с фоновыми районами, обогащении лишайников Cu, Ni, Co, Pb, Cd. Влияние моря отражается в повышении содержания и коэффициентов обогащения натрия и магния, а также отношения Na/K.

В окрестностях ББС МГУ в кустистых эпифитах сравнительно много Cu и Co (основным их источником по модельным оценкам является Мончегорский медно-никелевый ком-

бинат), но мало Mn (Шевченко и др., 2011; Виноградова и др., 2012).

Для оценки роли различных источников в формировании состава проб были рассчитаны коэффициенты обогащения лишайников (КО) элементами относительно среднего состава земной коры по формуле:

$$КО = (\text{Эл./Al})_{\text{проба}} / (\text{Эл./Al})_{\text{земная кора}},$$

где «Эл.» и «Al» — концентрации интересующего нас элемента и алюминия в пробе и в континентальной земной коре (Rudnick, Gao, 2003), соответственно.

В районе БЭС МГУ повышены КО кобальта и кадмия, что, по-видимому, связано с воздействием металлургической промышленности Кольского полуострова.

В пробах, отобранных вблизи БЭС МГУ, наблюдаются пониженные коэффициенты обогащения марганца. Средний КО марганца для выборки составляет 47, в то время как вблизи БЭС МГУ КО марганца варьирует от 10 до 27. В пробах, отобранных вблизи от береговой линии, наблюдаются повышенные КО Cu, Ni, Co, Zn и Cd, что может быть связано как с воздействием морского аэрозоля, так и с воздействием Мончегорского комбината.

В целом, воздушный перенос играет важную роль в поставке тяжелых металлов в окружающую среду окрестностей БЭС МГУ. Исследования особенностей поступления тяжелых металлов из разных источников и их потоков продолжаются.

Авторы признательны директору БЭС МГУ А.Б. Цетлину и ее сотрудникам В.П. Сивонен, В.В. Сивонену, Л.Д. Папунашвили, Н.А. Вершинину, А.В. Савченко, Е.Д. Красновой и многим другим за помощь, М.П. Журбенко за определение видового состава лишайников, В.В. Гордееву и Л.Л. Деминой за помощь в выполнении атомно-абсорбционной спектрометрии. Работы проводились при финансовой поддержке Программы № 23 фундаментальных исследований Президиума РАН (проект «Трансевропейский меридиональный геолого-геохимический морской разрез»), РФФИ (грант 11-05-00300-а), гранта поддержки ведущих научных школ НШ-618.2012.5.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА  
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

БЕЛОМОРСКАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ  
ИМЕНИ Н.А. ПЕРЦОВА

## **МАТЕРИАЛЫ**

**научной конференции  
«Морская биология, геология, океанология —  
междисциплинарные исследования  
на морских стационарах»,  
посвященной 75-летию  
Беломорской биологической  
станции им. Н.А. Перцова  
27 февраля – 1 марта 2013 года**

