

Схематический разрез через котловину озера Эльгыгытгын.

анализ, палеомагнитный анализ и т.д. В обобщенном виде результаты этих исследований опубликованы в международном научном журнале «Science». В ближайшее время в международных и российских изданиях появится целый ряд статей, посвященных этим результатам.

Важнейшим результатом является сам факт того, что получен непрерывный ряд данных о развитии климата за последние 3,5 млн лет, т.е. отрезок времени, почти на 1 млн лет превышающий продолжительность всего четвертичного периода. Этот ряд данных научной общественности еще предстоит осмыслить в полной мере, и это осмысление, безусловно, приведет к новому пониманию развития климатической системы.

Наиболее любопытными особенностями, на наш взгляд, являются выявленные так называемые «супермежледниковья», т.е. аномально теплые периоды, причины которых непросто объяснить на основе современных представлений о развитии климатической системы. Такие аномально теплые условия выявлены для интервалов, соответствующих морским кислородно-изотопным стадиям (МИС) 11, 31, 49,

55, 77, 87, 91 и 93. В особенности это очевидно при сравнении этих интервалов с интервалами, соответствующими последнему (МИС 5e) и современному (МИС 1) межледниковьям. В самые теплые периоды МИС 1 и МИС 5e, по данным из озера Эльгыгытгын, среднеиюльские температуры превышали сегодняшние лишь на 1–2 градуса, а среднегодовое количество осадков не более чем на 50 мм. Тогда как во время МИС 11 и 31 аналогичные показатели были выше, чем во время МИС 1 и 5e на 4–5 градусов и 300 мм. При этом расчетное количество инсоляции на земную поверхность во время МИС 11 и 31 было значительно ниже, чем во время МИС 1 и 5e. Интересно также, что «супермежледниковья», выявленные по данным озера Эльгыгытгын, соответствуют периодам деградации антарктического ледника, выявленным по данным проекта «ANDRILL», что демонстрирует теснейшую климатическую связь между Южным и Северным полушариями.

*Г.Б. Федоров (АНИИ)  
Фотографии П.С. Минюка  
и М.Меллеса (M. Melles)*

### ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 57-Й РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

На II этапе 57-й РАЭ (34-й рейс НЭС «Академик Федоров») сотрудниками Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН были проведены геохимические исследования по маршруту судна и на материке Антарктида (снежно-ледяного покрова, почв, лишайников и мхов). Цель исследования – изучение осадочного вещества (взвеси) в системе «атмосфера–океан–лед–антарктический материк» и загрязненности почв в районе антарктических станций. В океанологии взвесью принято считать частицы раз-

нообразного происхождения, пассивно взвешенные в морской воде и имеющие размеры от 0,5 мкм до 1 мм. В 1 л морской воды содержится примерно 5–6 млн частиц (биогенных и терригенных). Поэтому изучение взвеси имеет большое значение для понимания процессов современного осадконакопления и влияния загрязняющих веществ на окружающую среду, для исследования микро- и наночастиц в водной толще. В Южном океане, в котором были проведены исследования в 57-й РАЭ, они изучены слабо.

По маршруту движения судна было сделано четыре разреза: субмеридиональный – порт Кейптаун – 60° ю.ш., субширотный – от 15° в.д. до залива Прюдс, широтный – от залива Прюдс (ст. Прогресс) до залива Ардли (ст. Беллинсгаузен), межконтинентальный разрез – пролив Брансфилд – Рио-де-Жанейро – Балтийское море.

В результате установлено, что изменчивость концентраций взвеси, хлорофилла «а», липидов, в меньшей степени углеводов (УВ) определяется в основном гидрологической структурой поверхностных вод. Увеличение содержания всех соединений происходит при поднятии вод во фронтальных зонах, а также при ледообразовании. Это обусловлено в основном ростом продуктивности поверхностных вод, а не загрязнением. В качестве примера приведено распределение изучаемых соединений на субмеридиональном разрезе (рис. 1). Синхронное изменение концентраций взвеси и хлорофилла «а» свидетельствует о том, что основу взвеси в поверхностных водах составляет фитопланктон. Коэффициент аппроксимации между хлорофиллом «а» и концентрациями взвеси, определенными оптическим методом по показателю ослабления света (С), составил  $R^2 = 0,88$ . Концентрации липидов и УВ в начале субмеридионального разреза изменялись в противофазе с распределением показателя ослабления света и хлорофилла «а», что, возможно, обусловлено влиянием нефтяных загрязнений поступающих от п. Кейптаун (рис. 1). Кроме того на поступление УВ в поверхностные воды влияют золотые перенос с африканского материка, и особенности циркуляции атмосферных потоков на 40° ю.ш. Их содержание ниже величины ПДК для нефтяных УВ – 50 мкг/л и соответствует средним концентрациям УВ в пелагических районах Мирового океана. Примечательно, что в распределении УВ также наблюдается максимум в районе 55° ю.ш., связанный с очагом вихревых образований (рис. 1). В противоположность этому, на разрезе через Атлантический океан, в районе Пиренейского п-ва установлены очень высокие концентрации УВ (до 95 мкг/л). Судя по оптическим данным, в этом районе не происходит увеличение взвеси, поэтому рост содержания УВ, скорее всего, вызван локальным загрязнением поверхностных вод.

Изучение снежно-ледяного покрова на припайных льдах показало, что снег практически не со-

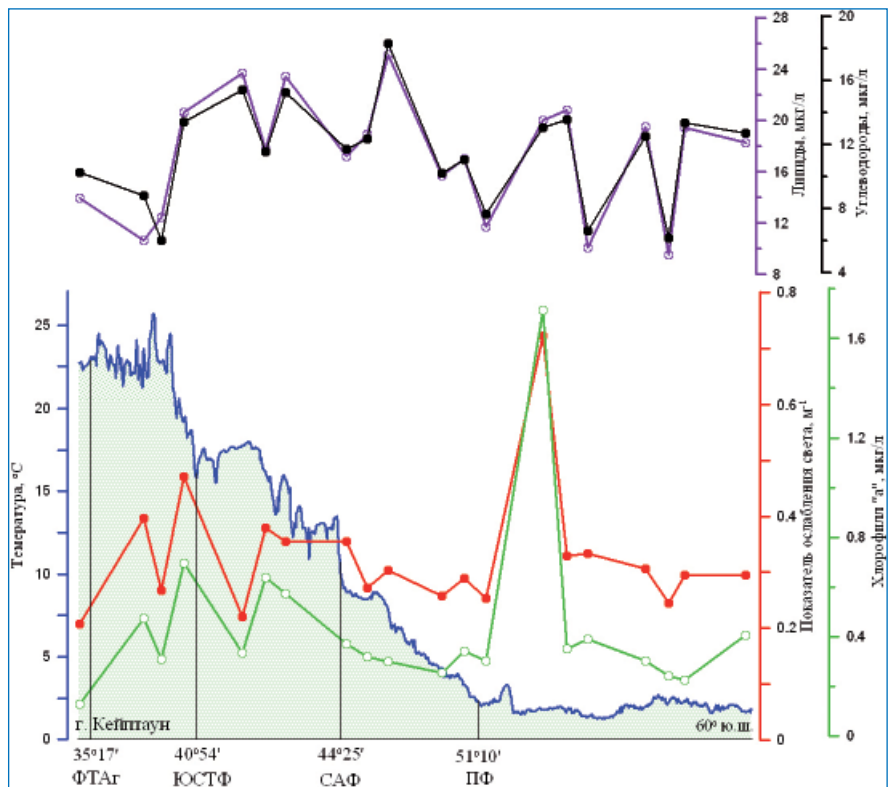


Рис. 1. Распределение температуры, показателя ослабления света, хлорофилла «а», липидов, углеводов во взвеси и биогенных элементов в поверхностных водах океана на субмеридиональном разрезе от порта Кейптаун до 60° ю.ш. по маршруту движения в 34-м рейсе НЭС «Академик Федоров» (ФТАг – фронт течения Агульяс, ЮСТФ – Южный субтропический, САФ – Субантарктический, ПФ – Полярный фронты, АД – Антарктическая дивергенция).

держит взвесь (при удалении от берега значения С составили всего 0,14–0,15 м<sup>-1</sup>), так как Антарктида закрыта ледовым щитом и в воздухе мало аэрозолей. Однако в районах, где сопки не покрыты снегом, происходит интенсивное выдувание взвешенных частиц (фьорд Нелла, залив Прюдс). Поэтому увеличивалось значение показателя ослабления света (до 1,41 м<sup>-1</sup>), концентрация хлорофилла «а» (до 0,63 мкг/л), только содержание УВ оставалось низким – 6–10 мкг/л.

Во фьорде Санни залива Прюдс были отобраны керны льда длиной 154 см (рис. 2). Это многолетний конжеляционный лед, под толстым слоем снега (более 1 м), в котором нарастание происходи-



Рис. 2. Фотография керна, отобранного во фьорде Санни залива Прюдс: а – весь керн; б – нижняя его часть.



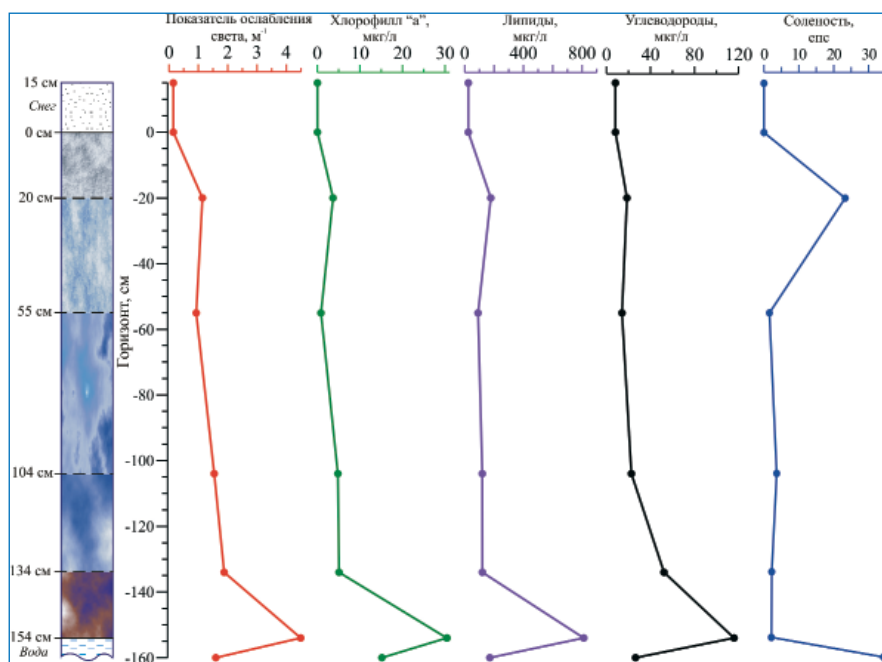
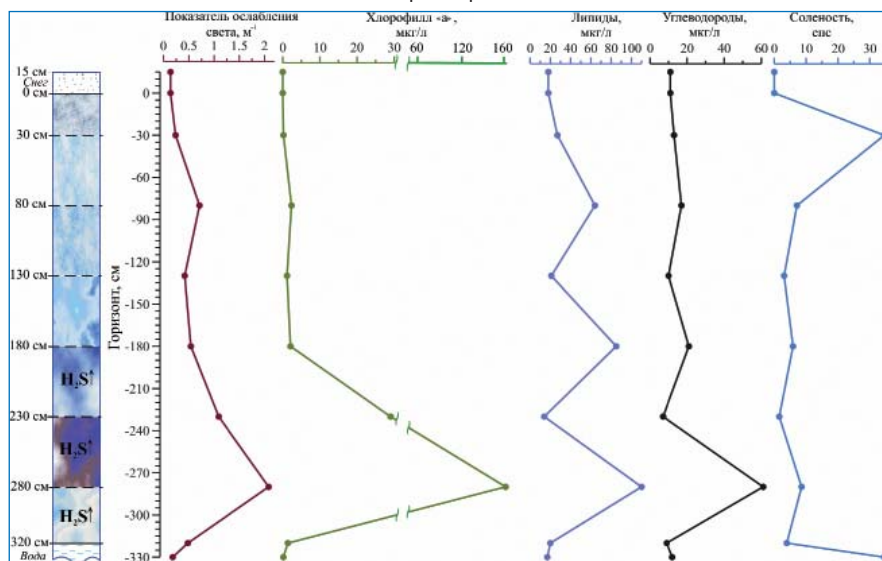


Рис. 3. Распределение различных соединений во взвеси в керне льда, отобранного в фиорде Санни, залив Прюдс, море Содружества.

ло как сверху, так и снизу. Неоднородное строение льда подтверждает распределение в нем солености (рис. 3). В верхней, прозрачной части льда (0–20 см) соленость была близка к солености морской воды. Обусловлено это образованием инфильтрационного льда при опускании под тяжестью снега верхней пористой поверхности льда ниже уровня воды. Если замерзание происходит при относительно низких температурах, то рассол на поверхности льда выделяет сухие кристаллы соли, располагающиеся в виде пучков или кустиков на льду. Видимо, этими процессами можно объяснить столь высокую соленость в верхней части льда. Поэтому в слое 0–20 см по сравнению со снегом резко увеличилось количество биогенной взвеси (возросли значения *S* и концентрации органических соединений), а в слое 20–55 см (матовый, водно-снежный конжеляционный лед) произо-

Рис. 4. Распределение различных соединений во взвеси в керне льда, отобранного в бухте Ленинградской моря Лазарева.



шло их уменьшение. По длине керна льда происходило неравномерное увеличение концентраций всех соединений к нижнему слою (снежно-водный пластинчатый лед с большими каналами, рис. 2б). Связано это с увеличением содержания самой взвеси, так как значения *S* в нижнем 20-сантиметровом слое превосходят их концентрации в подледной воде в 2,8, хлорофилла – в 2, а липидов и УВ более чем в 4 раза. Большой диаметр каналов на нижней поверхности льда способствует увеличению потока воды в лед над выходом рассола, что приводит к уменьшению солености нижнего слоя. Органические соединения аккумулируются в основном во взвеси на границе лед–вода, так как здесь происходит как их механическое концентрирование, так и фотосинтез водорослей внутри льда, способствующий образованию этих соединений.

Водоросли, выделенные из нижних горизонтов керна, содержали высокие концентрации липидов и УВ (в слое 104–134 см – 30,8 и 13,9 мг/г, а в слое 134–155 см – 50,5 и 20,9 мг/г сухого веса соответственно), т.е. их количество также возрастало к границе лед–вода. В марте 2010 г. (55-я РАЭ) в этом районе был отобран керн длиной 2,5 м, характер распределения всех изучаемых компонентов был аналогичным. Однако степень их концентрирования в нижней части льда, по сравнению с подледной водой, была еще выше, так лед был, видимо, старше.

В бухте Ленинградской моря Лазарева на многолетнем льду были отобраны керны длиной 3,2 м, под толстым слоем плотного фирна. Нам пришлось использовать все насадки на бур, чтобы добраться до подошвы льда. Верхний слой керна (0–30 см, инфильтрационный лед) оказался чрезвычайно хрупким и откололся при бурении. Соленость воды в этом слое, так же, как во льду во фьорде Санни высокая – 23,28 ‰. Начиная с горизонта 180 см и ниже растопленная вода пахла сероводородом. Концентрации всех изучаемых соединений увеличивались в слое 230–280 см, особенно резко – хлорофилл «а» (рис. 4). Причем в осадке, образовавшемся после растапливания слоя льда с горизонта 230–280 см, концентрации хлорофилла «а» достигли 168 мкг/л, а доля феофитина «а» (продукт разложения хлорофилла) – 38 %. В восстановительных условиях под толщей фирна во льду активные процессы фото-

синтеза практически невозможны. Скорее всего, когда этот слой был нижним, столь высокие концентрации возникли на границе лед–вода. В плотном льду из-за низких температур разложение органических соединений происходит медленно, поэтому они сохраняются длительное время. В нижнем, более «молодом» слое льда наблюдалось снижение концентраций всех изучаемых соединений.

Таким образом, условия образования снежно-ледяного покрова в значительной степени определяют распределение в нем не только физических, криобиологических, но и геохимических параметров. Толщина льда влияет на содержание взвеси и органических соединений во взвеси в большей степени, чем для растворенных соединений. Поэтому в ядрах льда, отобранных во фьорде Санни залива Прюдс и бухте Ленинградской моря Лазарева, распределение изучаемых соединений различалось. Впервые отмечено, что под толстым слоем снега (1,5 м) в плотном льду на глубине около 1 м могут существовать анаэробные условия, способствующие «консервации» хлорофилла «а».

На материке Антарктида в снеге, так же, как на припайном льду, содержание всех органических соединений станций оказалось низким. Особенно интересовал нас район оз. Степпед (расположенного между российской станцией Прогресс и китайской станцией Зонгшан), где мы проводили исследования начиная с 2001 г. Здесь наблюдалась большая изменчивость концентраций от года к году, а в 2008 г. в воде озера было много водорослей, и она пахла сероводородом. В 2010 г. в воде озера водоросли и сероводород отсутствовали, то есть экосистема озера восстановилась. Во время наших исследований в 2012 г. содержание хлорофилла «а» во льду (1,22 мкг/л) и в подледной воде озера (0,59 мкг/л) оказалось довольно высоким (рис. 5), что может свидетельствовать о высокой первичной продукции в озере. В то же время количество самой взвеси по показателю ослабления света во льду и в подледной воде было ниже, чем в снеге (соответственно 0,412 и 0,529 м<sup>-1</sup>). Следовательно, взвесь озера включает значительную долю органических частиц, концентрация которых обусловлена биологическими факторами. Осадок на дне озера, состоящий в основном из детрита и остатков водорослей, имел черный цвет, пах сероводородом и содержал высокие концентрации органических соединений (УВ – 1798 мкг/г), что косвенно может указывать на начальный этап эвтрофирования экосистемы этого озера. Степпед – эпителизовое озеро, его состояние обусловлено интенсивностью взаимодействия вод озера с морем, и состояние озера обусловлено в основном не загрязнением, а естественными гидробиологическими процессами. Сравнение данных по исследованию снежно-ледяного покрова оз. Степпед в 2001, 2003, 2008 и 2010 гг. показало, что, несмотря на низкие антарктические температуры, происходит достаточно быстрая трансформация органических соединений, в том числе УВ.

В почвах концентрацию УВ определяет источник органического вещества: антропогенный

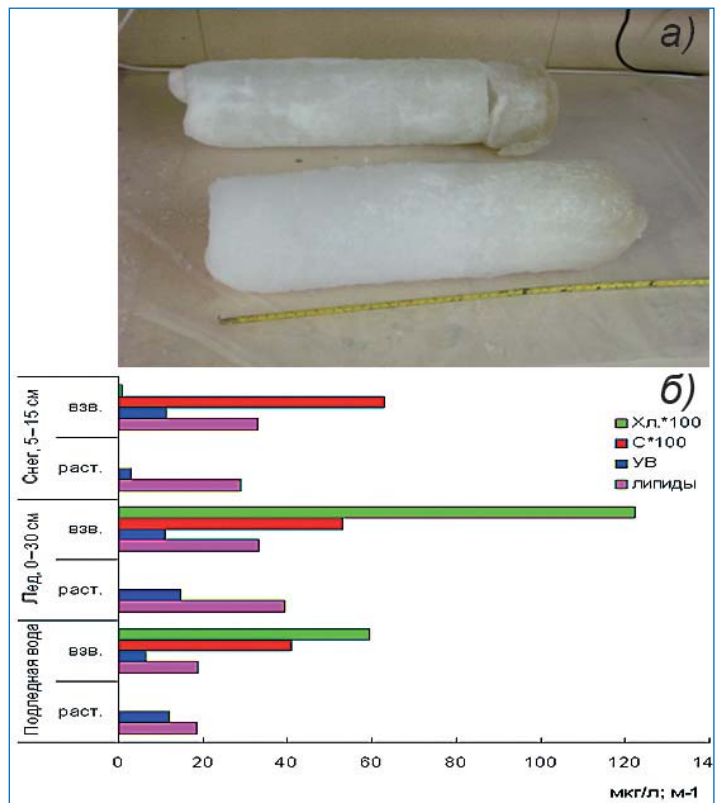


Рис. 5. Фотография кернов льда (а) и концентрации органических соединений и взвеси (б) в снежно-ледяном покрове оз. Степпед в 2012 г.

(деятельность станции) или биогенный (сама порода, гуано пингвинов). В почвах в районе антарктических станций повышенные их концентрации установлены там, где хранится топливо или происходит его перегрузка. В частности, в районе ст. Новолазаревская максимальная концентрация УВ в почве установлена вблизи ДЭС (2336–2463 мкг/г, рис. 6а). Примечательно, что в почвах сезонной ст. Дружная (рис. 6б) концентрации УВ были значительно ниже, чем в почвах ст. Новолазаревская, и почти не изменилось по сравнению с 2010 г. Содержание С<sub>орг.</sub> в почвах, загрязненных нефтепродуктами (данные 2010 г.), состояло практически из УВ. На берегах озер, удаленных от антарктических станций, содержание УВ изменялась в интервале 29–93 мкг/г. Здесь доля УВ в составе С<sub>орг.</sub> не превышала 0,8 %. Для сравнения в почве иностранных антарктических станций (в частности, на ст. Мак-Мердо) концентрации алифатических УВ изменялись от менее чем 30 до 29100 мкг/г, а полициклических ароматических углеводородов – от 664 до 72267 нг/г сухой массы. Эти величины оказались более высокими, чем концентрации УВ в почве станций Новолазаревская и Дружная.

Самые низкие концентрации УВ были установлены в почвах на берегу оз. Китеж в районе ст. Беллинсгаузен, где их содержание изменялось в интервале 3–7 мкг/г. Увеличение концентраций УВ происходит в лишайниках (до 300 мкг/г) и особенно во мхах (до 600 мкг/г, рис. 7). Лишайники, не имея корневой системы, питаются исключительно за счет веществ эолового разноса, т.е. аккумулируют органические соединения из воздуха. В суровых условиях Антарктиды они обладают достаточной биологической активностью, обеспечивающей нормальное протекание жизненных

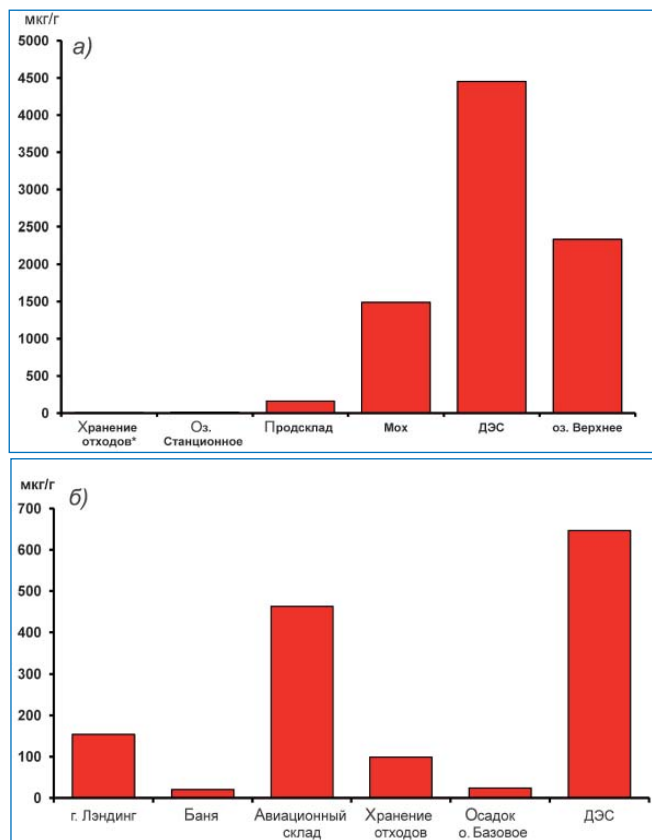


Рис. 6. Концентрация углеводов в пробах почвы на станциях Новолазаревская (а) и Дружная (б).

процессов, приводящих к образованию и накоплению химических веществ, в том числе и УВ.

Подводя итоги, необходимо отметить, что, несмотря на то, что на II этапе 57-й РАЭ основой работ были логистические операции, мы смогли провести исследования поверхностных вод, снежно-ледяного покрова в прибрежных районах Антарктики и на континенте; были отобраны и проанализированы про-

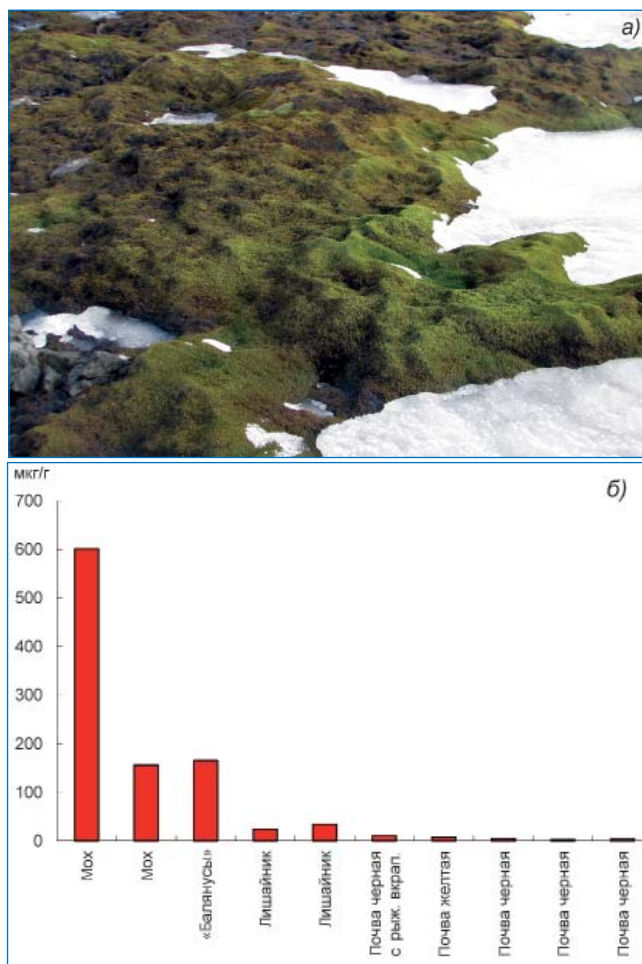


Рис. 7. Фотография мхов (а) и концентрации УВ во мхах, лишайниках и почвах (б) на берегу озера Китеж, ст. Беллингаузен.

бы почв, лишайников, мхов в районе антарктических станций. Все представленные материалы получены на борту НЭС «Академик Федоров».

*И.А.Немировская (ИО РАН им. П.П.Ширшова)*

## ПЕРВЫЙ РЕЙС НИС «ПРОФЕССОР МОЛЧАНОВ» ПО ПРОЕКТУ «АРКТИЧЕСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

10 июля 2012 г. в порт Архангельск после рейса продолжительностью 40 суток возвратилось НИС «Профессор Молчанов». Судно работало по проекту «Арктический плавучий университет» по маршруту Архангельск – Белое море – Баренцево море – Земля Франца-Иосифа – Новая Земля – о. Колгуев – Белое море – о. Сосновец – Соловки – Архангельск. Проект «Арктический плавучий университет» реализован благодаря совместному софинансированию Росгидромета и САФУ (Минобрнауки). Поддержало проект и Русское географическое общество. 10 апреля 2012 г. на расширенном заседании Попечительского совета Русского географического общества в Санкт-Петербурге председателю Архангельского центра РГО, начальнику ФГБУ «Северное УГМС» Леониду Васильеву грант на проект вручил премьер-министр РФ и председатель Попечительского совета Русского географического общества Владимир Путин.

В рамках совместного проекта «Арктический плавучий университет» на борту судна «Профессор Молчанов» размещена уникальная лаборатория с современным оборудованием для обучения студентов вузов России и проведения научных исследований в Арктике. Приобретены гидрологический зонд, розетка, спектрофотометры, дночерпатель, мобильная гидрохимическая лаборатория и др. В первом рейсе, который стартовал 1 июня, приняли участие 22 студента Северного Арктического федерального университета и 25 преподавателей и сотрудников научных учреждений Росгидромета (ААНИИ, ГОИН, РГГМУ, Северного УГМС), САФУ и РАН.

Судно «Профессор Молчанов» работало по научной программе, утвержденной Росгидрометом и САФУ. Программа работ «Арктического плавучего университета» предусматривала два крупных направле-