

КРИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКОГО ЛЬДА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ АНТАРКТИКИ

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

² Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН

Цель настоящего исследования – анализ биотонических характеристик морского льда и особенностей функционирования ледовых и планктонных сообществ в прибрежной зоне Восточной Антарктики. Анализ проведён на основе изучения водных и ледовых проб, отобранных в 2006–2008 гг. на прибрежных станциях Молодёжная, Прогресс и Мирный, во фьорде Нелла (залив Прюдс, Земля Принцессы Елизаветы). Показано, что в летний период диатомовые водоросли и цисты динофлагеллят развиваются под сильным влиянием талых пресных вод. Особое место в прибрежной зоне занимают инфильтрационные льды, в которых диатомовые водоросли создают органическое вещество, многократно превышающее его концентрацию в воде под льдом. Предполагается, что в зимний период, когда фотосинтез фитопланктона под льдом прекращается, именно органическое вещество, синтезированное ледовой флорой в инфильтрационных льдах, служит пищевым депо для крионелогической фауны, криля, зоопланктона и рыб, биотонически связанных с морским ледяным покровом Антарктики.

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежная зона Антарктики представляет собой уникальное природное образование, вследствие насыщенности биологической жизни, начиная от качественного и количественного разнообразия микроскопических планктонных водорослей до высших звеньев трофической сети экосистемы Южного океана. Важнейшей биологической характеристикой этой зоны служит высокая первичная продукция, создаваемая ледовыми и планктонными водорослями, которая обеспечивает и поддерживает высокую численность и биомассу криля, рыб, птиц и млекопитающих в прибрежной зоне, что ставит её в одну из самых высокопродуктивных зон Мирового океана.

В настоящее время изменения природной среды Антарктики достаточно хорошо документированы, главным образом по исследованиям в районе Антарктического п-ова, где за последние 40 лет наблюдается заметное увеличение площади открытой ото льда воды и, соответственно, сокращение площади морского ледяного покрова и продолжительности его существования, а также заметное разрушение покровных ледников [Doake, Vaughan, 1991; Zwally, 1991; Gammie, 1995; Vaughan, Doake, 1996; Rott et al., 1996; Hewitt, 1997]. Как следствие таких изменений, в районе Антарктического п-ова зарегистрировано увеличение численности сальпы *Salpa thompsoni* на фоне заметного уменьшения численности и биомассы эуфаузииды *Euphausia superba*. Вместе с тем в приконтинентальной Антарктике, кроме районов Антарктического п-ова и субантарктических островов, нет очевидных свидетельств крупномасштабных изменений состава биологических сообществ под влиянием глобального потепления. Однако при сценарии устойчивого сокращения площади морских льдов можно предполагать существенное перестроение состава и структуры экосистемы морской Антарктики, что приведёт к перестроениям в её пищевой сети, а, следовательно, к глобальному изменению потоков углерода в этом важном районе планеты.

Основная цель настоящего исследования – дать анализ биотонических характеристик морского льда и особенностей функционирования ледовых и планктонных сообществ в прибрежной зоне Восточной Антарктики. Основным источником для исследования послужили материалы сезонных наблюдений в РАЭ-52 (декабрь 2006 – январь 2008 гг.). Сезонные работы включали сбор ледовых и планктонных проб, а также подлёдной воды в акваториях российских континентальных станций Молодёжная, Прогресс и Мирный. Обработка собранного материала выполнялась в лабораториях Института океанологии и Ботанического института. К обсуждению особенностей

функционирования прибрежной экосистемы морского льда привлечены также материалы наблюдений в Адмиральском заливе на о. Кинг-Джорж в период работ на польской станции им. Г. Арцтовского в 1988–1989 гг.

В работе используются термины и понятия в соответствии с международной номенклатурой и терминологией по морским льдам [Волков, Трёшников, 1968] и ледовой биоте [Horner et al., 1992].

пробы использовали для концентрирования ледовых организмов на предмет выявления видового состава ледовой флоры и фитопланктона. Для этого воду концентрировали до объема 50 мл методом обратной фильтрации через нуклеопоровый фильтр с размером пор 1 мк. Сконцентрированные пробы фиксировали формалином до концентрации 1 % для последующего анализа видового состава по методу [Кисилёв, 1969].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период работ РАЭ-52 в 2006–2007 гг. криобиологические исследования охватывали зону морских льдов на разрезе вдоль 70° в.д. от появления первых признаков мелкобитого льда до границы сплошного недеформированного припайного льда, а также на припае в районе станций Молодёжная, Прогресс и Мирный. Кроме того, были выполнены наблюдения за развитием биологических сообществ морского льда и поверхностной воды во фьорде Нелла в районе станции Прогресс, расположенной на побережье залива Прюдс Земли Принцессы Елизаветы в Восточной Антарктиде.

Сбор проб поверхностной воды и планктонные ловы проводили с борта НЭС «Академик Фёдоров» и на припае в районе континентальных станций, а ледовые пробы, как правило, отбирали только на припае во время стоянок судна (табл. 1). Для отбора ледяных кернов использовали кольцевой бур с внутренним диаметром 180 мм. При каждом отборе керна из пробуренной лунки с помощью пластикового шприца отбирали пробы поверхностной морской воды. Ледяной керн делили на кратные секции по 10 или 20 см в зависимости от толщины льда. Пробу каждой секции помещали в пластиковые контейнеры и затем растапливали при комнатной температуре. Собранные пробы хранились в морозильной камере НЭС «Академик Фёдоров» до проведения измерений. Солёность морского льда измеряли на солемере Beckman SoluBridge (модель RB-5-349A, точность измерения ± 0.1 ‰). Концентрации минеральных форм кремния и фосфора, а также интенсивность флуоресценции (F_o) в пробах растопленного льда и морской воды измеряли в стационарных условиях по методам [Современные..., 1991; Погосян и др., 1996]. Часть талой воды ледовой

РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Дрейфующий лёд. Начало работ в РАЭ-52 в декабре 2006 г. совпало со временем интенсивного разрушения ледяного покрова, и первые признаки появления мелкобитого льда сплошностью до 8–9 баллов были отмечены на 66°18' ю.ш., 42°19' в.д. (рис. 1, а см.цветную вклейку). В это время дрейфующие льды охватывают широким поясом континент, занимая пространство между неподвижными припайными льдами и открытым океаном. Сплочённость ледяных полей постепенно уменьшается к северу от припая и разреженные ото льда водные пространства появляются на значительном удалении от кромки припайных льдов. Льды этого широкого циркумконтинентального пояса представляют собой уникальный физический и биологический субстрат вследствие специфических особенностей формирования ледовой структуры и развития ледовых водорослей. Это так называемые инфильтрационные льды [Буйницкий, 1973], в которых диатомовые водоросли развиваются главным образом в снежно-ледяном слое и придают бурый цвет льдам своими пигментами (рис. 1, б см.цветную вклейку). Здесь доминируют диатомовые *Fragilariopsis cylindrus*, *F.curta*, *Eucampia antarctica* и *Distephanus speculum* [Melnikov, 2005]. Биомасса водорослей инфильтрационных льдов значительно выше биомассы фитопланктона, развивающегося в это время в воде подо льдом. По наблюдениям в заливе Мак-Мёрдо [Kottmeier et al., 1984], в летний период инфильтрационный лёд содержит то же количество хлорофилла, как вся толща воды от 10 до 1000 м, на основании чего можно заключить, что растительное сообщество таких льдов вносит значительный вклад в первичную продукцию районов, где они развиваются.

Таблица 1. Пробы морского льда, взятые на припайном льду в период работ РАЭ-52

Станция	Дата отбора проб	Толщина льда, см
Молодёжная, 66°54' ю.ш., 45°24' в.д.	13.12.2006	215
	13.12.2006	120
Мирный	30.12.2006	147
Прогресс	19.12.2006	96

Припайный лёд сохранялся в течение всего периода наблюдений у станций Молодёжная (рис. 2 см.цветную вклейку), Прогресс и Мирный. Были выявлены различия в толщине льда (до 1 м) между станциями, и это различие, вероятно, было связано с физическими особенностями формирования припая зимой, а не с интенсивностью таяния льда в этот период: верхние слои льда до 30 см состояли из твёрдого фирна и площадь снежиц на верхней поверхности льда не превышала 5 % площади ледяного покрова.

Солёность льда во всех исследованных кернах различалась незначительно и её распределение по толщине имело сходный характер: возрастала при переходе от верхних к нижним слоям (рис. 3). Отмечены низкие величины концентрации минерального кремния (менее 5 мкг/л). Интенсивность флуоресценции по всей толщине льда была очень слабой, что, вероятно, связано с низкой фотосинтетической активностью ледовых водорослей в этот период. Незначительные скопления водорослей отмечены на нижней и на верхней, «обсохшей» поверхности льда между многочисленными проталинами. Скопления снизу образованы диатомовыми водорослями, а наверху – цистами динофлагеллят. Отмеченное увеличение солёности, концентрации минерального кремния и интенсивности флуоресценции в нижних слоях припайного льда станции Прогресс по сравнению с другими припайными льдами, вероятно, связано с различиями условий и временем формирования льда.

Прибрежный лёд. Наблюдения выполнены во фьорде Нелла ($69^{\circ} 22'$ ю.ш. и $76^{\circ} 23'$ в.д.) в заливе Прюдс (Земля Принцессы Елизаветы, Восточная

Антарктика). Фьорд имеет подковообразную форму с узким горлом, большей частью забитым мелкими айсбергами (рис. 4 см.цветную вклейку). Ледяной покров сохраняется здесь около 10 месяцев в году и за последние 20 лет вскрывался ото льда всего 5 раз. Генеральный ветер – восточный, горы защищают ледяной покров от взлома при сильных ветрах, а южный ветер, скатывающийся с ледника Долк, не взламывает лёд, так как он блокирован айсбергами, заякоренными в горле бухты. Поэтому таяние льда происходит непосредственно во фьорде.

За время наблюдений с 26 декабря 2006 г. по 9 января 2007 г. толщина льда уменьшилась с 111 до 53 см вследствие интенсивного таяния в этот период. Величины солёности и концентрации минерального кремния были очень низкие. Так, солёность по всей толщине льда изменялась в пределах 0.1–0.5 ‰, а значения концентраций минерального кремния не превышали 3 мкг/л (рис. 5, а), что характерно для пресноводного льда, развивающегося, например, в зонах взаимодействия «река–море» [Мельников и др., 2005].

Водный слой, контактирующий непосредственно с морским льдом, был также сильно распреснён (рис. 5, б). Пробы для измерения солёности в приледовом слое отбирались через каждые 10 см, начиная от нижней поверхности льда до глубины 80 см. За время наблюдений солёность в слое 0–50 см заметно уменьшается от значений 10–14 ‰ в начале наблюдений до 3–4 ‰ в конце; слой скачка плотности находится в слое 45–60 см, а типично морские условия начинаются глубже 80 см. В настоящее время непонятно, является ли тающий морской лёд во фьорде

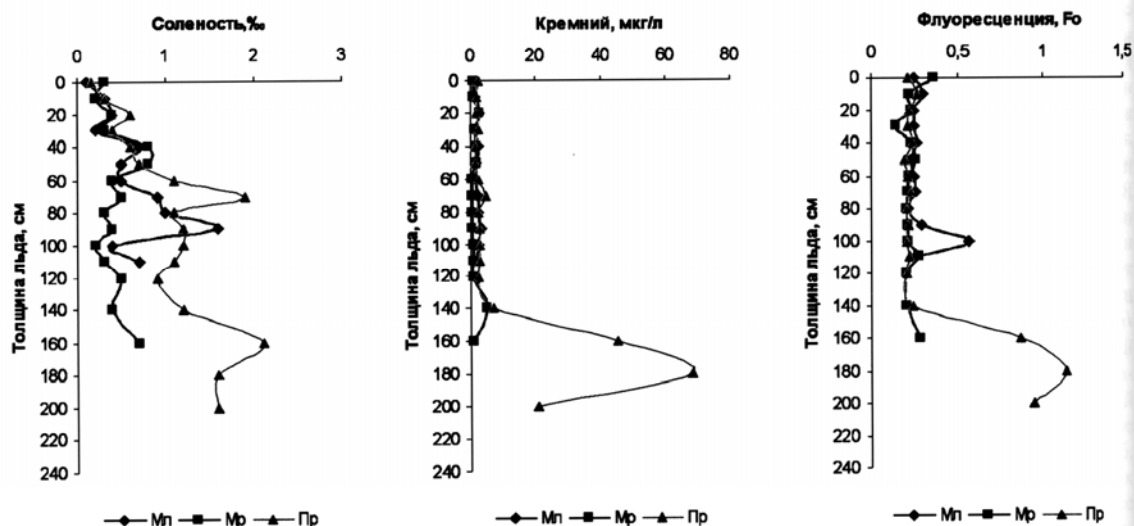


Рис. 3. Солёность, минеральный кремний и интенсивность флуоресценции в толще припайного льда у станций Молодёжная (Мл), Мирный (Мр) и Прогресс (Пр) по данным наблюдений в период работ РАЭ-52. Сведения о толщине льда приведены в табл. 1.

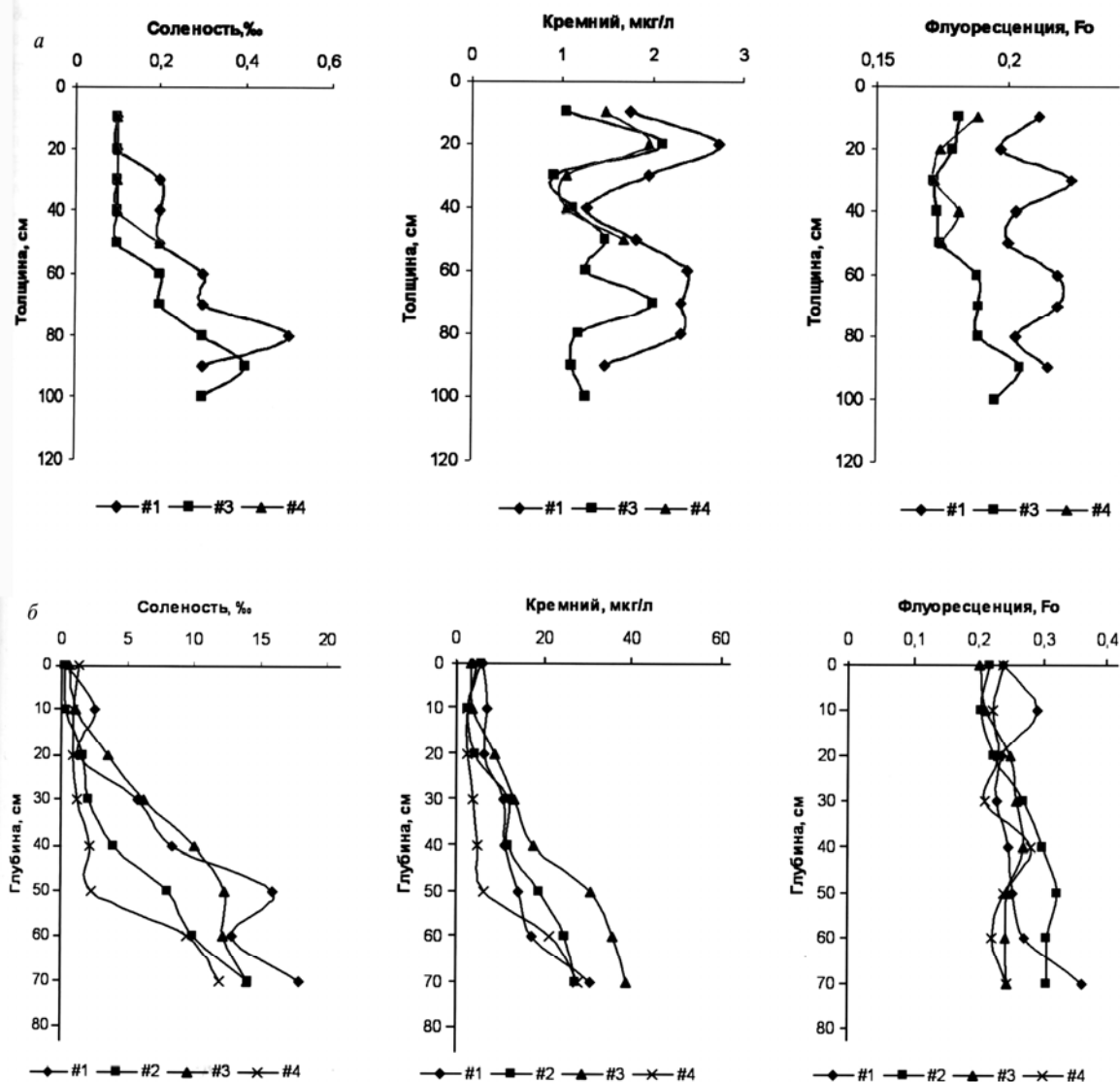


Рис. 5. Динамика солёности, минерального кремния и интенсивности флуоресценции в толще льда (а) в водном слое 0–80 см подольдом (б) во фьорде Нелла с 26 декабря 2007 г. (проба № 1) по 9 января 2007 г. (проба № 4).

единственным источником поступления пресной воды под лёд? Могут ли быть таким источником тающие снежники, образующиеся в зимний период на западных склонах полуострова Брукнес? Можно предполагать, что источником пресной воды могут быть и айсберги, заякоренные в горле фьорда (см. рис. 4). Течение, входящее во фьорд с востока и омывающее стены айсбергов, может быть источником поступления талой воды айсбергов во фьорд, где она, смешиваясь с приледовой (морской) водой, участвует в образовании солоноватоводного слоя. Если распреснённый слой формируется задолго до начала весеннего таяния,

то можно говорить о заметной роли тающих айсбергов, и если процесс активного формирования этого слоя совпадает с началом весенней абляции морского ледяного покрова, то можно говорить о роли морского льда или, по крайней мере, о комбинации этих источников талой воды.

Список видового состава водорослей, идентифицированных во льду и подлёдной воде, насчитывает 35 таксонов; в основном это диатомовые водоросли, причём фитопланктон значительно беднее по видовому составу, чем ледовая флора: только 20 видов являются общими в растительном сообществе (табл. 2).

Таблица 2. Видовой состав водорослей, идентифицированных в водных и ледовых пробах в период наблюдений с 26.12.2006 по 09.01.2008 во фьорде Нелла (станция Прогресс)

Вода	Видовой состав	Лёд
+	<i>Rhizosolenia attenuata</i> F.semispina Sundström <imbricata	+
+	<i>Thalassiosira</i> sp. 2	+
	<i>Thalassiosira</i> c <i>F.perpusilla</i>	+
+	<i>Amphora</i> sp. 1	+
	<i>Banquisia belgicae</i> (Van Heurck) Paddock	+
	<i>Berkeleya rutilans</i> (Trent.) Grun.	+
+	<i>Cocconeis</i> sp.1	+
+	<i>Cymbella</i> sp.	+
	<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehr.) Reimann et Lewin	+
	<i>Entomoneis</i> sp. 1	+
+	<i>Fragilariopsis curta</i> (V.H.) Hustedt	+
+	<i>F.cylindrus</i> (Grun.) Krieg.	+
+	<i>F.kerguelensis</i> (O'Meara) Hustedt	+
+	<i>F.obliquecostata</i> (V.H.) Heiden	+
+	<i>F.rhombica</i> (O'Meara) Hustedt	+
+	<i>Gyrosigma</i> c <i>F.spenceri</i> (Quekett) Griffith et Henfrey	+
+	<i>Haslea</i> sp. (= <i>Nitz.sp.3</i>)	+
+	<i>Navicula</i> cf. <i>directa</i>	+
+	<i>Navicula</i> sp. 1	+
	<i>Navicula</i> sp. 2	+
+	<i>Navicula</i> sp. 3	+
+	<i>Pinnularia</i> sp.	+
+	<i>Pseudogomphonema</i> sp.	+
+	<i>Dictyocha speculum</i> Ehr.	+
	<i>Pseudo-nitzschia</i> cf. <i>heimii</i> Manguin	+
	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.2	+
	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.3	+
	<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.4	+
	<i>Synedropsis</i> sp.	+
	<i>Pennatophyceae</i> gen. sp.	+
+	<i>Amphidinium</i> sp.	+
	<i>Prorocentrum</i> sp.	+
	<i>Protoperidinium</i> sp. 2	+
	<i>Protoperidinium</i> sp. 3	+
+	<i>Dinoflagellata</i> cysts	+
Число видов: 20	Общее число видов: 35	Число видов: 35

Обращает на себя внимание значительное различие в содержании диатомовых и цист динофлагеллят во льду и подлёдной воде. Если во льду численность цист составляет 90 %, а диатомовых водорослей 10 %, то в фитопланктоне, развивающемся в поверхностной воде подо льдом, напротив, наблюдается преобладание диатомовых над цистами динофитовых: 84 и 16 %, соответственно. Такое различие, вероятно, обусловлено физическими различиями условий, в которых развиваются микроорганизмы. Поскольку солёность льда менее 0.5 ‰ (см. рис. 5, а), то большинство морских диатомовых водорослей не выдер-

живают распреснение и не способны развиваться в такой среде, в отличие от динофитовых, цисты которых более адаптированы и могут выдерживать значительное распреснение.

ОБСУЖДЕНИЕ

Некоторые особенности динамики морского льда и его биоты в прибрежной зоне Антарктики частично обсуждались на примере береговых льдов

Адмиральского залива (о. Кинг-Джордж, Антарктический полуостров) и припайных льдов моря Дейвиса [Мельников, 1993; 2005]. Выполненные исследования во фьорде Нелла в период проведения РАЭ-52 позволяют сделать сравнение с аналогичными наблюдениями в прошлые годы и выявить новые факты функционирования морского льда в прибрежной зоне Антарктики.

Известно, что в прибрежной зоне доминируют в основном два типа льда:

- 1) припайный лёд, как правило, неподвижный (по крайней мере, до момента взлома припая)
- 2) дрейфующий лёд, образующийся из припайного после его разрушения. Припайный лёд образуется в конце мая и сохраняется до конца сентября.

Начало формирования припая и время его существования определяют орография берега, приливо-отливные течения и ветер. По данным [Worby, 1999], в районе о. Анверс (Антарктический полуостров) лёд существует более 6 месяцев в году; в районе залива Мак-Мёрдо – более 11 месяцев, а у о. Сигни (Южные Оркнейские острова) – не более 1–2 месяцев. Зимой 1987 г. Адмиральский залив на о. Кинг-Джордж замерзал в июне несколько раз, но всякий раз сильный ветер и волнение взламывали лёд и выносили его из залива. В начале июля залив замёрз, и лёд продержался в течение 46 дней, достигнув толщины 46 см в центре залива и 73 см на его периферии. С 18 по 19 августа, после сильного ветра лёд взломало и вынесло в пролив Брансфилд, и только в небольших заливах лёд сохранился до конца сентября.

Поскольку климатические факторы в районе Антарктического полуострова мягче таковых в приконтинентальной Антарктике, то льды, формирующиеся в Адмиральском заливе, более тонкие, а, следовательно, более слабые, менее устойчивые к ветровым нагрузкам, чем, например, припайные льды Восточной Антарктики или во фьорде Нелла, где они достигают толщины 2 м, не подвержены взламыванию и остаются во фьорде до начала таяния. Хотя количество прибрежных льдов Антарктического полуострова, как и дрейфующих льдов приконтинентальной Антарктики, невелико по отношению к площади ледяного покрова Южного океана, они играют важную роль в создании органической продукции благодаря фотосинтезу ледовых водорослей при формировании инфильтрационного льда [Буйницкий, 1973]. Это явление связано с накоплением снега на тонком льду.

Когда масса снега на поверхности льда становится критической по отношению к массе самого льда, лёд погружается со снежной массой ниже уровня воды, и с этого момента вода по капиллярной системе начинает поступать на границу раздела «снег–лёд». Вместе с водой в этот пограничный слой поступают единичные клетки фитопланктона, главным образом

диатомовые водоросли. Поскольку света в этом биотопе достаточно, как достаточно и содержания биогенных веществ, например, минерального кремния, то здесь создаются благоприятные условия для фотосинтеза ледовых диатомей. Так, по данным наблюдений в западной части моря Уэдделла [Melnikov, 1998], концентрация хлорофилла *a* в инфильтрационном слое достигала 3000 мкг/л, а в прибрежной зоне Антарктического полуострова 1500–1800 мкг/л, в то время как в воде подо льдом она находилась в пределах 20–50 мкг/л [Мельников, 1993; Melnikov, 1998]. В обоих случаях в инфильтрационном сообществе доминировали *F.cylindrus*, *F.curta*, *E.antarctica* и *D.speculum*. В донном сообществе большую роль играли прикрепляющиеся виды водорослей *N.stellata*, *A.kufferathii*, а также *F.cylindrus*, *F.curta* и *N.lecontei*. Мы не рассматриваем сейчас причины, определяющие предпочтение роста клеток диатомовых во льду, а не в воде подо льдом; важно обратить внимание на тот факт, что в зимний период, когда фотосинтез фитопланктона подо льдом прекращается, развивающиеся во льду диатомовые водоросли создают органическое вещество, многократно превышающее его концентрацию в воде подо льдом [Melnikov, 1998]. Это органическое вещество служит пищевым депо для криопелагической фауны [Menshenina, Melnikov, 1995], криля [Melnikov, Spiridonov, 1996], зоопланктона [Pasternak, 1995] и рыб [Evseenko, 1994], биотопически связанных с морским льдом пелагиали Антарктики.

Развитие водорослей во фьорде Нелла имеет иной характер. Здесь диатомовые водоросли и цисты динофлагеллят развиваются под сильным влиянием талых пресных вод, причём пресноводные характеристики льда проявляются как в прибрежной полосе, так и в центральной части фьорда. Здесь была выявлена сложная многокомпонентная система, состоящая из льда со свойствами пресноводного и морского влияния, подлёдного солоноватого слоя с солёностью 4–5 ‰ и мощностью до 50–60 см, и нижележащей морской водой с солёностью 34–35 ‰. Эта «многоэтажная» водно-ледовая система синхронно смещается по вертикали вследствие приливных колебаний до 2 м, но достаточно устойчива, поскольку ледяной покров «отключает» ветро-волновое перемешивание. Пока неясно, как формируется эта система, каков механизм заселения биоты в лёд и когда происходит распреснение льда. Последующие наблюдения могут дать новое знание о функционировании «псевдоэстуарной» экологической системы Антарктики, где источником пресной воды могут быть талые воды морского льда, прибрежных снежников и/или айсбергов, а, возможно, и расположенных выше озёр.

Важность получения такой информации трудно переоценить, поскольку она связана с пониманием функционирования экосистемы морского льда, в данном случае во фьорде Нелла. Действительно,

в гидробиологической литературе по морским экосистемам Антарктики нет ни одного упоминания о функционировании таких экологических систем. Если в Арктике такие системы известны, например, эстуарные системы взаимодействия «река–море», где река является мощным поставщиком пресной воды в залив, в котором формируется лёд [Дикарев и др., 2005; Мельников и др., 2005], то в Антарктике такие системы либо неизвестны, либо не изучались, либо на них не обращали должного внимания. Принимая во внимание обилие айсбергов в шельфовой зоне, можно предположить, какое мощное влияние они могут оказывать на экосистемы морского льда и, соответственно, на функционирование биологических сообществ, связанных с развитием в прибрежной зоне Антарктики.

ЛИТЕРАТУРА

- Буйницкий В.Х. Морские льды и айсберги Антарктики. Л.: ЛГУ. 1973. 255 с.
- Волков Н.А., Трёшников А.Ф. О новой международной номенклатуре морских льдов // Проблемы Арктики и Антарктики. 1968. Вып. 32. С. 136–143.
- Дикарев С.Н., Мельников И.А., Евдокимов Ю.В. и др. Натурные гидрофизические исследования состояния приливного эстуария реки Пулонга в зимний период // Океанология. 2005. Т. 45. № 3. С. 349–359.
- Кисилёв И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука. 1969. 657 с.
- Мельников И.А. Хлорофилл «а», взвешенный органический углерод и минеральный кремний в морском льду залива Адмиралити (о. Кинг-Джордж, Зап.Антарктика) // Тр. Института океанологии РАН. М.: Наука. 1993. С. 83–91.
- Мельников И.А. Химический и биологический состав морских припайных льдов и поверхностных вод моря Дейвиса // Арктика и Антарктика. 2005. Вып. 4. № 38. С. 66–73.
- Мельников И.А., Дикарев С.Н., Егоров С.Н. и др. Структура прибрежной экосистемы льда в зоне взаимодействия река–море // Океанология. 2005. Т. 45. № 4. С. 542–550.
- Погосян С.И., Сивченко М.А., Максимов В.Н. Физиологическая гетеротрофность популяции микроводорослей. Классификация ценобиов *Scenedesmus quadricauda* по типам кривых индукции флуоресценции хлорофилла // Изв. РАН. Сер. биол. 1996. № 3. С. 337–343.
- Современные методы гидрохимических исследований океана. М.: Институт океанологии РАН. 1991. 120 с.
- Doake C.S.M., Vaughan D.G. Rapid disintegration of the World Ice Shelf in response to atmospheric warming // Nature. 1991. V. 350. P. 328–330.
- Evseenko S.A. Fish larvae and juveniles from the western Weddell Sea // Proc. of the SCAR VI Biology Symposium. Venice. 1994. P. 87.
- Gammie F. Breakway iceberg due to warming // Nature. 1995. V. 274. P. 108.
- Hewitt R.P. Areal and seasonal extent of sea-ice cover off the northwestern side of the Antarctic Peninsula: 1979–1996 // CCAMLR Science. 1997. V. 4. P. 65–73.
- Horner R.A., Ackley S.F., Dieckmann G.S. et al. Ecology of sea ice biota. 1. Habitat, terminology, and methodology // Polar Biology. 1992. N 12. P. 417–427.
- Kottmeier S.T., Muscat A.M., Craft L.L. et al. Ecology of sea-ice microbial communities in McMurdo Sound, Antarctica, in 1983 // Antarctic J. of US. 1984. V. 19. N 5. P. 129–131.
- Melnikov I.A. Winter production of sea ice algae in the western Weddell Sea // J. of Marine Systems. 1998. V. 17. N 1–4. P. 195–206.
- Melnikov I.A., Spiridonov V.V. Antarctic krill, *Euphausia superba* Dana (Crustacea Euphausiacea) under perennial sea ice in the western Weddell Sea // Antarctic Science. 1996. V. 8. N 4. P. 323–329.
- Menshenina L.L., Melnikov I.A. Under-ice zooplankton of the western Weddell sea // Polar Biology. 1995. N 8. P. 126–138.
- Pasternak A.F. Cut content and feeding rhythm in dominant copepods in the ice-covered Weddell Sea, March 1992 // Polar Biology. 1995. V. 15. P. 583–586.
- Rott H., Skvarca P., Nagler T. Rapid collapse of northern Larsen Ice Shelf, Antarctica // Science. 1996. V. 271. P. 788–792.
- Vaughan D.G., Doake C.S.M. Recent atmospheric warming and retreat of ice shelves on the Antarctic Peninsula // Nature. 1996. V. 379. P. 328–331.
- Worby A.P. Observing Antarctic sea ice: a practical guide for conducting sea ice observations from vessels operating in the Antarctic pack ice // A CD-ROM produced for the Antarctic Sea Ice Processes and Climate (ASPeCT) program of the SCAR Global Change and the Antarctic (GLOCHANT) program. Hobart, Australia. 1999.
- Zwally H.J. Break-up of Antarctic ice // Nature. 1991. V. 350. P. 274.

КРИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКОГО ЛЬДА ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ АНТАРКТИКИ

а



б



Рис. 1. Дрейфующие льды сплочённостью до 9 баллов (а) с включениями диатомовых водорослей (б). Снимки сделаны с борта НЭС «Академик Фёдоров» антарктическим летом 2006/07 г.

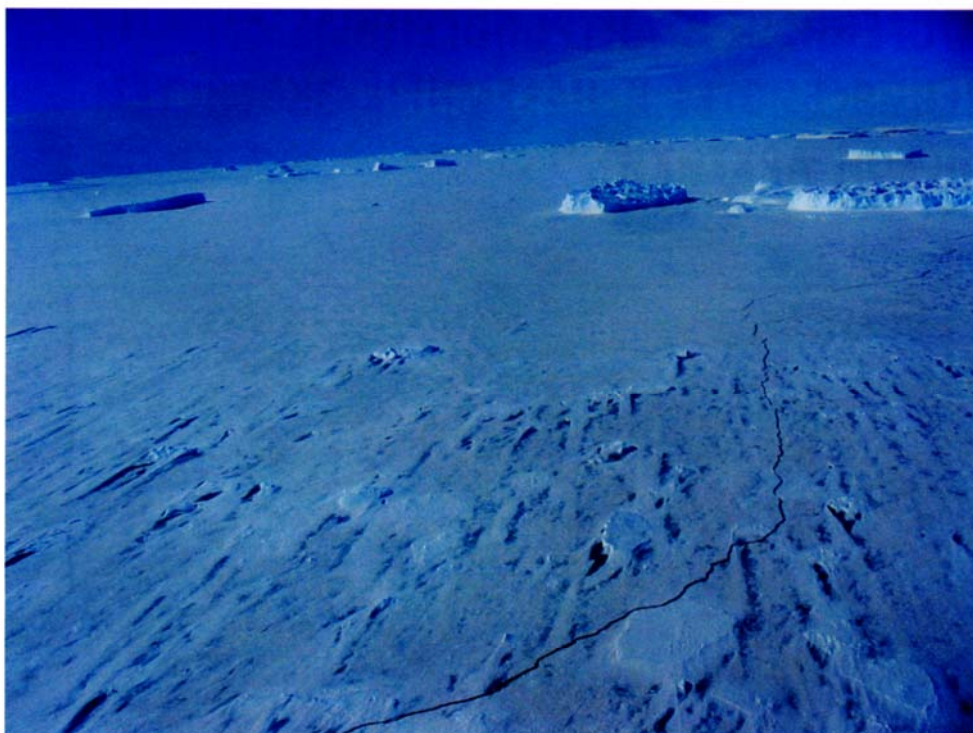


Рис. 2. Недеформированный припайный лёд в районе станции Молодёжная 13 декабря 2006 г.



Рис. 4. Фьорд Нелла у станции Прогресс на побережье залива Прюдс, Земли Принцессы Елизаветы.