

УДК 574.58(26)

СОВРЕМЕННАЯ ЭКОСИСТЕМА АРКТИЧЕСКОГО МОРСКОГО ЛЬДА: ДИНАМИКА И ПРОГНОЗ

© 2008 г. И. А. Мельников

Представлено академиком В.М. Котляковым 04.06.2008 г.

Поступило 07.06.2008 г.

В работе анализируются современные изменения в составе и функционировании экосистемы морского льда в Арктике без обсуждения причин природного или антропогенного влияния. Материалом для анализа послужили наблюдения, выполненные в 70–80 гг. прошлого века и в последнее десятилетие, включая наблюдения в период Международного полярного года (2007–2008 гг.). Показано, что идет интенсивное перестроение в составе ледяного покрова и, как следствие, заметные изменения в составе биологических сообществ морского льда в Северном Ледовитом океане (СЛО). Рассмотрены характерные особенности формирования экосистем многолетнего и сезонного морского льда. Дается прогноз перехода функционирования экосистемы пелагиали СЛО от условий перманентного состояния ледяного покрова к условиям сезонного развития льда.

Исследованиями в последнее десятилетие выявлено заметное изменение качественного и количественного состава биоты морского льда в СЛО по сравнению с составом в середине 1970-х годов. Так, общий список ледовых водорослей, идентифицированных за период 1975–1982 гг., насчитывает 172 вид [5], а за период 1997–2008 гг. – около 30 видов [6, 9, 11]. Преобладание морских диатомовых водорослей было важной особенностью фитоценоза морских льдов в 1970-е годы, а в последнее десятилетие их доминирование заметно снижается и возрастает роль других групп. Изменился и состав ледовой фауны. Такие массовые представители простейших и беспозвоночных, как фораминиферы, тинтинниды, клещи, нематоды, турбеллярии, коловратки, копеподы и амфиподы, связанные с обитанием в толще льда в 1970-е годы [5], в последнее десятилетие встречаются редко или в виде отдельных фрагментов тел этих организмов. Чтобы понять причины выявленных различий, необходимо рассмотреть особенности состава и динамики современного ледяного по-

крова СЛО, а также особенности формирования и функционирования экосистемы многолетнего и сезонного льда.

В середине 1970-х годов площадь морского льда в СЛО в момент его максимального развития составляла 8.43 млн.км² [1] и по данным спутниковых наблюдений в 1973–1976 гг. не наблюдалось заметных межгодовых колебаний [7, 13]. С начала 1980-х годов, в Арктике наблюдается потепление и, как следствие, сокращение площади льда, которое особенно заметно в последнее десятилетие: 7 млн.км² в 2000 г., 5.32 млн.км² в 2005 г. и 4.14 млн.км² в 2007 г. [8]. Приведенные данные отражают площадь льда, остающегося после летнего таяния на акватории океана (сентябрь). Наиболее устойчивую часть ледяного покрова представляют многолетние льды, поэтому величина 4.14 млн.км² отражает площадь именно многолетнего льда, пережившего активное летнее таяние 2007 г. Если в 1970-е годы площадь многолетнего льда в зимний период составляла 70–80% площади СЛО [3], то в феврале 2008 г. только 30%, что на 10% менее чем в 2007 г. При этом остаточный лед становится моложе: с середины до конца 1980-х годов более 20% арктического морского льда было старше 8 лет, а в феврале 2008 только 6% льда имело возраст 6 лет [8]. Приводимые здесь данные о сокращении площади морского ледяного покрова не означают, что ледяной покров полностью исчезает. Речь идет только об уменьшении площади многолетнего льда, что приводит к увеличению площади открытой воды, на которой формируются сезонные льды в зимний период, т.е. в настоящее время идет динамичный процесс перестроения в составе морского ледяного покрова СЛО с доминирования многолетних на доминирование сезонных льдов, физические и биологические характеристики которых принципиально различаются.

Основными физическими показателями различий между многолетними и однолетними льдами служат толщина и соленость. Как известно, чем старше лед, тем он мощнее и преснее, и наоборот. По данным наблюдений в околополюсном районе СЛО средняя толщина льда в период

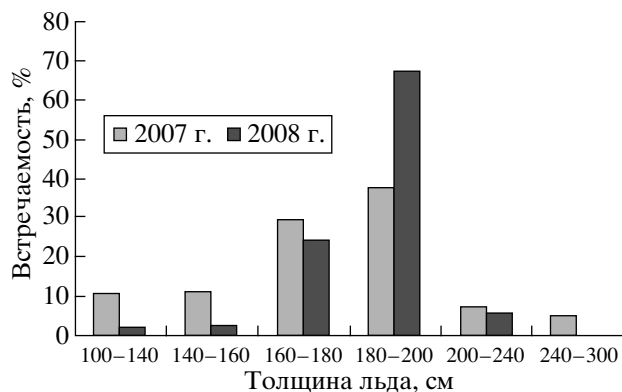


Рис. 1. Встречаемость льдов различной толщины в околополюсном пространстве СЛО по данным наблюдений в ПАЛЭКС в апреле 2007 и 2008 гг.

максимального развития составила $177.1 \text{ см} \pm 13.2$ ($n = 133$) и $181.4 \text{ см} \pm 13.3$ ($n = 203$), в 2007 и 2008 гг. соответственно, [9]. Отмечено увеличение встречаемости сезонных льдов (группы льдов толщиной 180–200 см) с 37% в 2007 г. до 68% в 2008 г. и уменьшение встречаемости многолетнего льда (группа льдов 240–300 см): так, в 2007 г. керны льда толщиной более 240 см были встречены 6 раз в 133 измерениях, а в 2008 г. ни разу в 203 измерениях (рис. 1). Величины солёности отражают типичное вертикальное распределение, характерное для солёности сезонного льда в пределах 5–8‰ по всей толще в группе 180–200 см и многолетнего льда в группе 240–300 см от значений 0.1–0.5‰ в верхних и до 2–3‰ в нижних слоях (рис. 2).

В условиях стабильного климата многолетний морской лёд – это целостная и устойчивая во вре-

мени экологическая система с постоянным видовым составом флоры и фауны [5]. Ее устойчивость сохраняется за счет среднеравновесной толщины, поддерживаемой летним стаиванием сверху и зимним компенсационным нарастанием снизу [4]. Это свойство, которое можно определить как гомеостаз ледяного покрова – способность сохранять свою среднеравновесную толщину, имеет важное экологическое значение. Оно выражается в том, что вертикальная структура населяющих его биологических сообществ сохраняется в результате действия двух разнонаправленных потоков: движения кристаллической структуры снизу вверх вследствие термодинамических процессов ледотаяния и ледообразования и встречного пассивного и/или активного движения самих организмов сверху вниз. Зимнее нарастание льда происходит снизу на уже существующий лёд, толщина которого после летнего таяния сохраняется до 2 м, и организмы, заселяющие эти растущие снизу слои, находятся в мягких температурных условиях, близких к температуре морской воды (около -2°C), что способствует их выживанию в зимний период. Наличие сбалансированной связи между районами продуцирования и выноса многолетнего льда из бассейна, особенности его циркуляции в совокупности с механизмами, поддерживающими постоянство видового состава ледовых организмов в пределах вертикальной кристаллической структуры, в целом определяют стабильность экосистемы многолетнего льда в пространстве СЛО.

Напротив, сезонные льды – это зависимая и неустойчивая во времени экосистема, продолжительность существования которой определяется комплексом факторов среды, среди которых наиболее важным считается температура. Формиро-

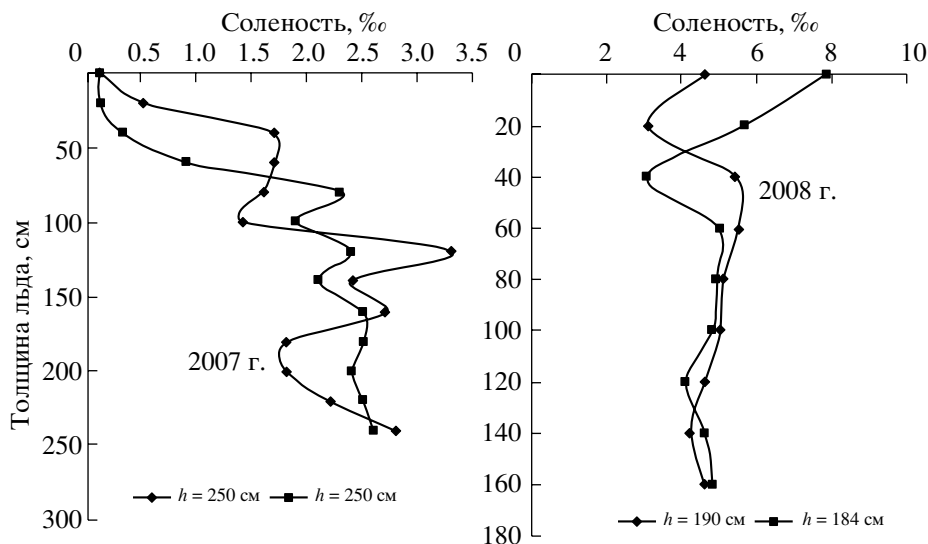


Рис. 2. Вертикальное распределение солёности в многолетних (◆) и сезонных (■) льдах по наблюдениям в околополюсном районе СЛО в период работ ПАЛЭКС (апрель 2007 и апрель 2008 гг.).



Рис. 3. Развитие ледовых водорослей на границе раздела лед–снег в инфильтрационном льду (экспедиции “Арктика-2000”, август–сентябрь 2000 г.). Мощность инфильтрационного слоя и толщины льда оценивалась визуально с борта нэс “Академик Федоров” по продвижению ледокола в районе поднятия Менделеева на 82° с.ш., 179° з.д., и составляла в среднем около 30 см при толщине льда 35–40 см.

вание сезонных льдов начинается на открытой воде при низкой температуре воздуха. Когда образуются первые слои, то в ледовую кристаллическую структуру нижнего растущего слоя механически захватываются планктонные организмы, находящиеся в данный момент в воде. Поскольку качественный и количественный состав планктона в воде в осеннее-зимний период беден, то количество включенных в лед организмов оказывается невелико. Те же организмы, которые оказываются механически включенными в лед, попадают в условия сильного охлаждения, поскольку верхняя поверхность контактирует с воздухом, температура которого в этот период понижается до -30 – -40°C , и часть из них выживает, а большинство организмов из-за резкого охлаждения погибает. Вероятно поэтому весной, в период максимального развития льда, в его толще встречаются единичные клетки водорослей, простейших и отдельные экземпляры беспозвоночных организмов, механически включенные в структуру льда в период зимнего роста. В осенний период при низкой температуре воздуха и интенсивном накоплении снега на льду могут возникать условия для формирования так называемого, инфильтрационного льда (термин Буйницкого В.Х., 1973). Когда лед еще тонкий и вес снега становится существенным по отношению к весу самого льда, лед притапливается ниже уровня моря, так что морская вода вместе с клетками планктонных водорослей поднимается по капиллярной системе к границе лед–снег. Поскольку снег является хорошим теплоизолятором и света еще достаточно для фотосинтеза, то в этом слое создаются благоприятные условия для развития водорослей. Биомасса водорослей и концентрация синтезируемого ими органического вещества в этом слое многократно превышают те же показатели в воде подо льдом. Такие льды впервые были встречены в период работ экспедиции нэс “Академик Федоров” в канадском секторе СЛО на 82° с.ш. и 170° з.д. в сентябре 2000 г. (рис. 3). Формирование инфильтрационных льдов – явление типично антарк-

тическое [2], и в настоящий момент нет прямых свидетельств дальнейшего развития инфильтрационных льдов в СЛО. Однако можно предположить, что это явление продолжится в будущем с учетом возрастающей роли сезонных льдов и увеличения снежных осадков в Арктике.

Сравнивая механизмы формирования этих двух типов морского льда, можно заключить, что главная причина выявленных различий между составом биологических сообществ морского льда в 70-е годы и последнего десятилетия заключается в том, что рассматривались и сравнивались две разные по структуре и функционированию экосистемы многолетнего и сезонного морского льда. Действительно, в первом случае постоянный видовой состав водорослей и фауны беспозвоночных поддерживался механизмами, формирующими среднеравновесную толщину, и процессами заселения и развития организмов в пределах вертикальной кристаллической структуры льда. В его составе преобладали водоросли бентического типа, адаптированные к обитанию в условиях твердого субстрата и способные к передвижению в узких межкристаллических пространствах льда. Во втором случае видовой состав ледовой флоры формировался непосредственно из воды и представлен в основном типичными планктонными формами, образующими длинные цепочки из клеток и развивающимися в основном в нижнем слое льда или на его нижней поверхности [5].

Таким образом, в современном морском арктическом ледяном покрове сосуществуют две различные по составу и функционированию экологические системы многолетнего и сезонного льда. Поскольку доля первой динамично уменьшается и одновременно возрастает доля последней, то на данном этапе происходит постепенное перестроение в экосистеме пелагиали СЛО. Если такая динамика сохранится, то можно предположить, что со временем морская Арктика будет приобретать черты морской Антарктики. Действительно, в Южном океане ледяной покров исчезает летом и восстанавливается зимой. Сезон-

ные льды доминируют, занимая более 80% площади ледяного покрова в течение 8 месяцев, а многолетние – менее 20% его площади [12]. Сезонный лед в Южном океане развивается на акватории к северу от 70° ю.ш.. В этих широтах нет продолжительной полярной ночи и света зимой достаточно для поддержания фотосинтеза ледовой флоры [10]. Суммарная органическая продукция Антарктики создается в основном фитопланктоном в летний период и частично флорой инфильтрационных льдов зимой. Напротив, весь морской арктический ледяной покров расположен к северу от 70° с.ш. и все биологические сообщества развиваются в более жестких условиях среды. В центральных районах, постоянно занятых морским льдами, суммарная органическая продукция складывается из продукции, создаваемой водорослями многолетнего льда (более 90%), и продукции водорослей сезонных льдов и фитопланктона, на долю которых приходится менее 10% [5]. В районах, где доминируют сезонные льды, например, на акватории арктических морей, вскрывающихся летом ото льда, органическая продукция фитопланктона составляет 97–99% [14]. В настоящее время в центральных районах СЛО происходит перестроение функционирования экосистемы пелагиали к условиям сезонного цикла развития ледяного покрова, поэтому здесь следует ожидать рост органической продукции, создаваемой фитопланктоном, и уменьшение вклада ледовой флоры многолетних льдов. Такой цикл развития может привести к перестроению всей низшей трофической структуры океана и, возможно, от-

разится на всех высших звеньях трофической сети, включая рыб, птиц и млекопитающих.

Данная работа поддержана грантом РФФИ 08–05–00219.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас океанов. М.: Глав. ред. Атласов океанов Центр. картогр. произв. ВМФ СССР, 1980. 184 с.
2. Буйницкий В.Х. Морские льды и айсберги Антарктики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. 255 с.
3. Захаров В.Ф. Льды Арктики и современные природные процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 136 с.
4. Зубов Н.Н.. Льды Арктики. М.: ГУСМП, 1945. 360 с.
5. Мельников И.А. Экосистема арктического морского льда. М.: Ин-т океанологии РАН, 1989. 191 с.
6. Мельников И. А. // Биология моря. 2005. Т. 31. № 6. С. 3–10.
7. Carsey F.D. // J. Geophys. Res. 1982. V. 89. P. 7245–7258.
8. http://nsidc.org/data/seaice_index/n_plot.html
9. <http://www.paicex.ru>
10. Melnikov I.A. // J. Mar. Syst. 1998. V. 17. P. 195–206.
11. Melnikov I.A., Kolosova L.G., Welch H.E. et al. // Deep-Sea Res. 2002. V. 49. P. 1623–1649.
12. NASA SP-459. Antarctic Sea Ice, 1973–1976: Satellite Passive-microwave observations. W.: NASA Sci. Tech. Info. Branch, 1983. 206 p.
13. NASA SP-489. Arctic Sea Ice, 1973–1976: Satellite Passive-microwave observations. W.: NASA Sci. Tech. Info. Branch. 1987. 296 p.
14. Subba Rao D.V., Platt T. // Polar Biol. 1984. V. 3. P. 191–201.