

УДК 551.465

СТРУКТУРА ПРИБРЕЖНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ЛЬДА В ЗОНЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕКА–МОРЕ

© 2005 г. И. А. Мельников¹, С. Н. Дикарев¹, В. Г. Егоров², Е. Г. Колосова³, Л. С. Житина³¹Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва²Филиал Института энергетических проблем химической физики РАН, Московская обл., Черноголовка³Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, биологический факультет

Поступила в редакцию 15.03.2004 г., после доработки 20.03.2005 г.

Изучалась структура экосистемы прибрежных льдов в зоне влияния речного стока с февраля по апрель 2003 г. в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря. Показано, что в зимний период в зоне смешения речных и морских вод формируется сложная многокомпонентная система, состоящая из льдов с соленостью 0.5–0.8‰ и 4.3–4.5‰, подледного водно-кристаллического слоя с соленостью 2.86–3.04‰ и мощностью до 50–60 см и морской воды с соленостью 27‰. Пресноводные и солоновато-водные характеристики льда проявляются особенно заметно в прибрежной полосе, а морские – в центральной части губы. Эта “трехэтажная” водно-ледовая система устойчива в течение всего зимнего периода и разрушается с наступлением таяния. В ледовом фитоценозе выявлены заметные различия в видовом составе: доминирование пресноводных и солоновато-водных видов из группы *Chlorophyta* в береговом льду и преобладание морских водорослей *Bacillariophyta* во льдах из мористой части акватории. В ледовом зооценозе выявлена низкая численность животных в течение всего периода наблюдений.

Современные знания о биологических процессах в прибрежной зоне основаны, главным образом, на наблюдениях в летний период, а знания о процессах в зимний период незначительны и фрагментарны. В настоящее время имеется большой пробел в понимании роли морского льда в природных процессах прибрежной зоны, хотя о важности влияния ледового покрова на морфологию и население литорали говорилось неоднократно еще в 30–40-х гг. прошлого столетия [11, 1, 2, 7]. Хорошо известно, что такие процессы, как таяние и нарастание ледового покрова, накладывают мощное воздействие на состав, структуру и функционирование биологических сообществ в системе “вода–лед”, в которой лед играет ключевую роль в перераспределении энергетических потоков между биологическими компонентами этой системы [8]. Принимая во внимание современные климатические изменения и, как следствие, изменения в арктической среде, знание о природных процессах в зимний период важно для понимания причин наблюдаемой изменчивости на локальном и глобальном уровнях.

Начиная с 1996 г. в Кандалакшском заливе Белого моря проводится экологический мониторинг береговых и припайных морских льдов в период зимнего нарастания и весеннего таяния ледового покрова [5, 9]. Наблюдения проводили, главным образом, в зоне аккумулятивного и абразионного берегов, где формирующий ледовый покров подвержен воздействию приливов – отливов. Выполнявшийся мониторинг был направлен на изу-

чение процессов взаимодействия в системе лед–вода–дно в типично морской среде без влияния речного стока. В настоящей статье авторы ставят своей целью показать, как влияет речной сток на формирование структуры экосистемы прибрежного льда в период его максимального развития.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основой для настоящего исследования послужили пробы воды и льда, собранные 5–13 февраля, 14–17 марта, 9–12 апреля и 20–23 апреля 2003 г. Для проведения исследований был выбран ледовый полигон на расстоянии 1 км от впадения речки Пулонга в губу Чупа (рис. 1). Сбор ледовых кернов и проб воды из подо льда проводили на разрезе от берега к центру губы в 6-ти точках, удаленных друг от друга на расстоянии 50 м. Первые три точки отбора проб располагались в небольшом полузамкнутом заливчике, отделенном от губы невысокой каменистой грядой, а следующие три – непосредственно в самой губе. Каждый последующий сбор проб на припайном льду выполняли в одних и тех же фиксированных точках: каждая последующая точка отбора пробы отстояла на 3–5 м от места предыдущего сбора. Таким образом, в каждой из 6 точек было отобрано по 4 пробы льда, что давало возможность следить за динамикой биотических и абиотических параметров на разрезе от берега к центру залива. На полигоне наблюдений минимальная глубина в отлив (1 м подо льдом) была у берега в месте отбора

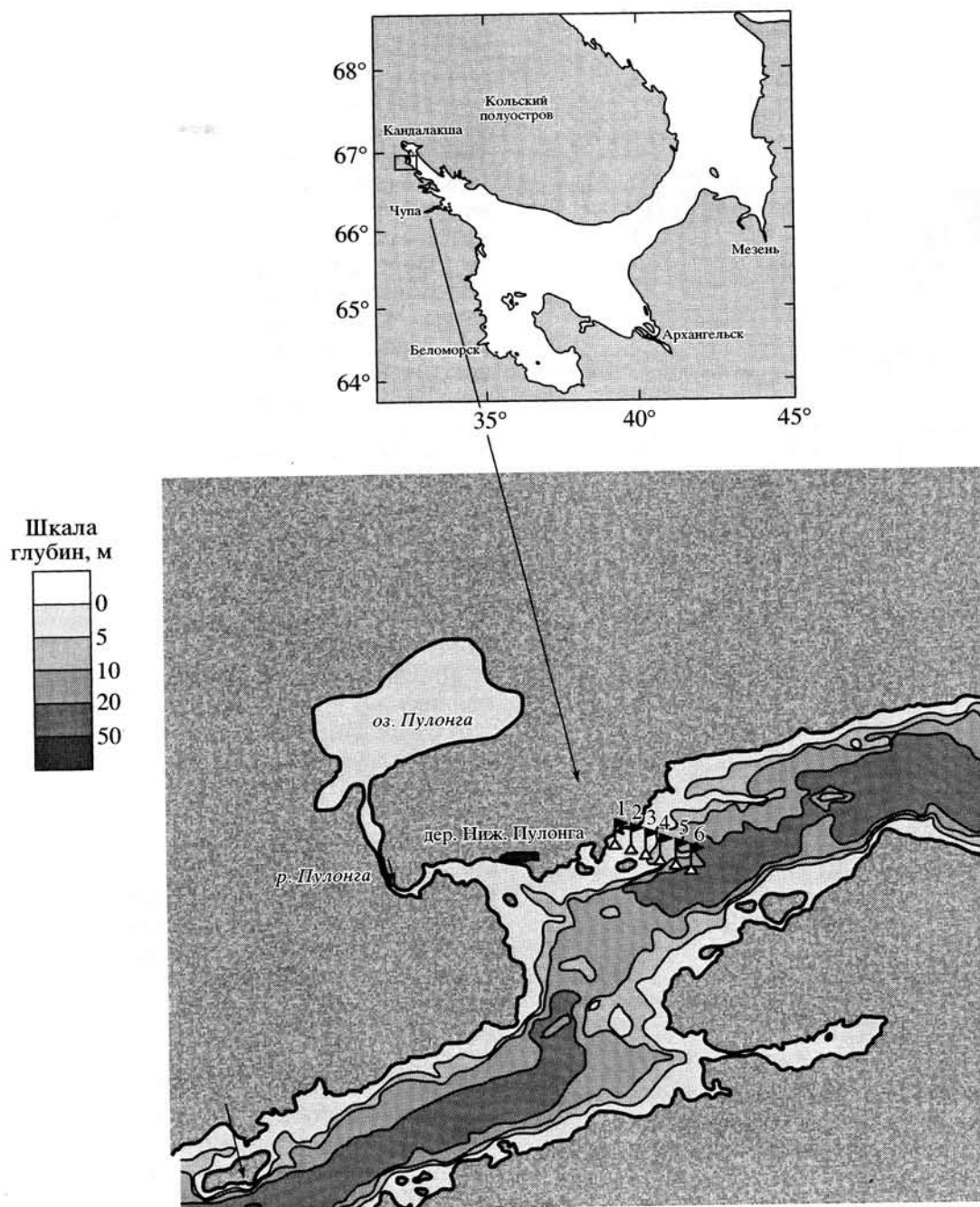


Рис. 1. Район работ в феврале–апреле 2003 г. в губе Чупа Канда拉克шского залива Белого моря. На нижнем снимке стрелкой показан разрез, на котором проводили сборы проб воды и льда от берега (т. 1) к центру губы (т. 6).

первого керна (точка 1), а в месте отбора последнего керна (точка 6) в центре губы Чупа глубина составляла 15 м; максимальная амплитуда прилива в районе работ – около 2 м.

Ледовые керны отбирали с помощью механического SIPRE-бура с внутренним диаметром 9 см. В отобранном керне льда измеряли температуру через каждые 10 см; затем керн делили на кратные три части (по 20 см каждая): верхняя, контактирующая со снегом, средняя и нижняя, контак-

тирующая с водой. Ледовые пробы помещали в пластиковые банки, переносили в теплое помещение и растапливали при комнатной температуре. В талой воде каждой пробы измеряли соленость на солемере Beckman SoluBridge (модель RB-5-349A, точность измерений $\pm 0.1\%$). Из этих же проб отбирали по 50 мл талой воды для последующих измерений величин концентрации минеральных форм кремния и фосфора по методу Морфи–Райли [14]. Остаток воды фиксировали

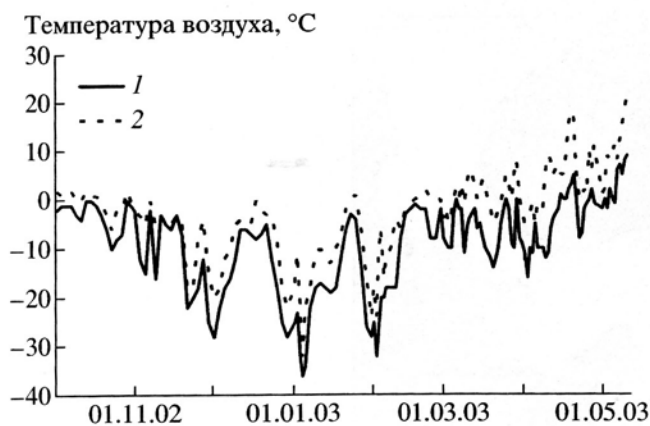


Рис. 2. Минимальная (1) и максимальная (2) температура воздуха за период зимнего роста и весеннего таяния ледового покрова в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря с октября 2002 г. по май 2003 г.

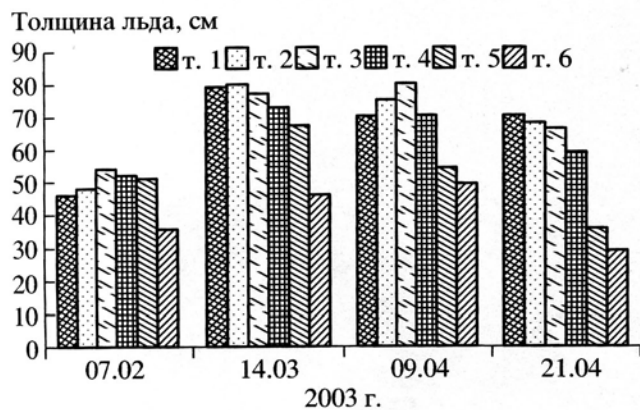


Рис. 3. Изменение толщины льда на разрезе от берега (т. 1) к центру губы Чупа (т. 6) за период с февраля по апрель 2003 г. (Кандалакшский залив Белого моря).

формалином до концентрации 2%, затем отстаивали и декантировали, а осевшую взвесь собирали для последующего анализа видового состава ледовой флоры и фауны.

После взятия ледовых кернов из пробуренных отверстий с помощью 1-литрового пластикового шприца отбирали пробы воды, в которых проводили измерения величин солености и концентраций минеральных форм кремния и фосфора; методика обработки проб воды была аналогична таковой в ледовых пробах.

Для получения информации о динамике гидрофизических параметров подо льдом в настоящем исследовании использовали автоматический регистратор (далее, гидрозонд) гидрофизикохимических параметров водной среды (АРВ-2002, разработка фирмы "Гранит", Санкт-Петербург) для измерения (в скобках дается точность измерения): температуры ($\pm 0.1^\circ\text{C}$), солености ($\pm 3\%$ те-

кущего значения измеряемой величины), кислорода ($\pm 5\%$ верхнего предела измерения), pH (± 0.1 ед. pH) и фотосинтетически активной радиации (ФАР) ($\pm 5\%$ текущего значения измеряемой величины). В начале наблюдений 09 февраля 2003 г. провели вертикальное профилирование от нижней поверхности льда до глубины 140 см с ежесекундной записью измерений через каждые 10 см; время экспозиции гидрозонда на каждом горизонте 5 мин. 14 февраля 2003 г. гидрозонду придали положительную плавучесть и закрепили фалом за дно. Его положение в воде было рассчитано так, чтобы датчики гидрозонда в момент отлива находились в 10–20 см от нижней поверхности льда, а в прилив, когда лед поднимался на 2 м вверх, его датчики находились в морской среде. Таким образом, дважды в течение суток зонд фиксировал информацию о гидрофизических характеристиках непосредственно у льда и на удалении до 2 м ото льда. Измерения всех пяти параметров проводились автономно каждые 10 мин и все данные накапливались и хранились в памяти гидрозонда. Общее время экспонирования с 14 февраля по 20 апреля 2003 г.

Для изучения видового состава подледного зоопланктона проводили ловы планктонным сачком с входным отверстием 40×20 см и размером ячеей 150 мкм. Для изучения видового состава микропланктона из подо льда отбирали воду с помощью 1-литрового шприца: 5 л воды пропускали на установке обратной фильтрации через планктонный газ с размером ячеей 10 мкм, а 10 л пропускали через нейлоновый фильтр с размером ячеей 0.2 мкм. Обработку проб сетного зоопланктона и проб микропланктона, сконцентрированных методом обратной фильтрации, проводили по стандартной методике [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ледовая обстановка. Ледовый покров в районе наблюдений начал формироваться в конце ноября, когда температура воздуха понизилась до -30°C , однако с наступившим потеплением и сильным ветром в середине декабря лед разрушился и вновь сформировался только в конце декабря, когда температура воздуха устойчиво держалась ниже -10°C , понижаясь временами до -38°C (рис. 2). С этого момента толщина льда на припае возрастала, достигнув максимальной величины во второй декаде марта по всему разрезу от берега до середины губы Чупа (рис. 3).

В начале зимы толщина льда увеличивалась только за счет его нарастания снизу, поскольку лед был сильно охлажден. В первой декаде февраля толщина снежного покрова была сравнима с толщиной самого льда. Поскольку снег является мощным термоизоляционным субстратом, то холода в этот период было недостаточно для намер-

зания льда снизу: температурный градиент между верхними и нижними слоями ледовых кернов в трех точках ледового полигона составлял в это время всего лишь 2.5°C (рис. 4). С потеплением, наступившим в середине февраля, снежный покров начал таять днем и образующаяся талая вода замерзала ночью на границе раздела снег–лед из-за понижения ночной температуры воздуха. С этого момента увеличение толщины льда происходило только сверху.

В начале апреля максимальная (дневная) и минимальная (ночная) температуры различались значительно (рис. 2): лед прогревался до -1°C по всей толще от верхней (воздушной) до нижней (морской) поверхности. С этого момента отмечено заметное разрушение ледового покрова: в припае появились трещины, толщина льда уменьшилась на всем разрезе от берега к центру залива. В районе работ ледовый покров полностью исчез в первой декаде мая, когда температура воздуха уже не опускалась ниже 0°C .

Океанографическая обстановка. Важной гидрофизической особенностью в районе наблюдений было наличие распресненного слоя между нижней поверхностью льда и собственно морской водой, устойчиво существовавшего с начала наблюдений в феврале до конца апреля. На рис. 5 показано вертикальное распределение солёности, температуры, pH, растворенного кислорода и ФАР в воде от нижней поверхности льда до глубины 140 см. Измерения проведены с помощью гидрозонда (одно измерение в минуту) с экспозицией на каждом горизонте по 5 мин на разрезе через каждые 10 см, т.е. каждая точка на графике представляет собой среднюю величину из пяти измерений на каждом горизонте.

Распресненный слой мощностью 0–50 см представлял собой гетерогенную смесь не смерзшихся пластинчатых кристаллов и воды между ними. Его характеристики: солёность в пределах 2.86–3.04‰, температура минус 0.08 – 0.24°C , pH 7.29–7.32 и растворенный кислород 9.04–9.07 мг/л. Слой скачка солёности мощностью около 15–20 см разделял распресненный слой и, собственно, морскую воду, характеристики которой были следующими: солёность 27.85–28.16‰, температура минус 0.98 – 1.02°C , pH 8.21–8.16 и растворенный кислород 7.90–7.94 мг/л. Фотосинтетически активная радиация (ФАР) уменьшалась почти на порядок от 0.5 Вт/м^2 , приходящей на нижнюю поверхность льда, до 0.05 Вт/м^2 , выходящей из этого слоя и поступающей в морскую воду. Таким образом, в пределах одного метра от нижней поверхности льда сосуществовали две разные по своим характеристикам гидрофизические системы, разделенные слоем скачка плотности: верхняя (приледовая) распресненная водно-кристаллическая

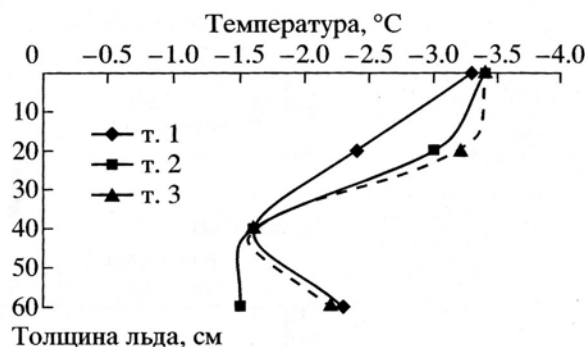


Рис. 4. Вертикальное распределение температуры в толще льда на разрезе в точках 1, 2 и 3 в губе Канда-лакшского залива Белого моря (07.02.2003 г.).

прослойка мощностью 0–50 см и нижележащая морская вода.

Водно-кристаллический распресненный слой подо льдом устойчиво сохранялся в условиях действия приливов–отливов в течение всего зимнего периода до наступления весеннего ледотаяния. На рис. 6 показана динамика температуры и солёности в слое 0–50 см по данным непрерывной записи измерений величин этих параметров с 14 февраля по 20 апреля 2003 г. Оба показателя незначительно изменялись за весь период роста льда в феврале–марте (холодный период); с наступлением весеннего ледотаяния в первой декаде апреля (теплый период) распресненный слой начал разрушаться и в последней декаде апреля смешался с морской водой: величины температуры и солёности в слое подо льдом достигли таковых в морской воде, т.е. -0.7°C и 27‰. Гидрофизические особенности формирования подледного слоя в районе губы Чупа за этот период наблюдений специально обсуждаются нами в работе [4].

Абиотические характеристики морского льда.

На рис. 7 показана динамика средних величин солёности во льду на разрезе от берега (точка 1) к центру губы (точка 6). Каждая точка на графике соответствует средней величине из трех измерений солёности в верхнем, среднем и нижнем слоях ледового керна. Минимальные величины солёности (0.5–0.8‰) отмечены в пробах у берега, где лед формировался в зоне влияния пресного речного стока, а максимальные (4.3–4.5‰) — при переходе к центру губы, где формирование льда происходило в типично морских условиях. В течение всего периода наблюдений с февраля по апрель отмечено постепенное уменьшение солёности во всех ледовых пробах на разрезе от берега к центру губы. Это связано, с одной стороны, с потерей солей из нижних слоев льда в период его активного роста, с другой — с распреснением верхних слоев льда вследствие таяния снежного покрова и включения снежной талой воды в структуру льда.

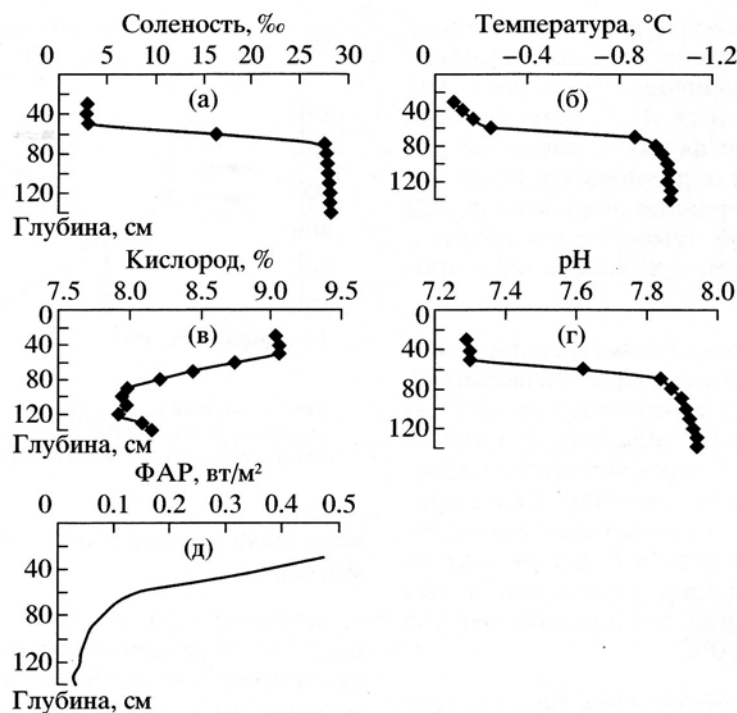


Рис. 5. Распределение солёности (а), температуры (б), растворенного кислорода (в), pH (г) и проходящей под лед фотосинтетически активной радиации (ФАР) (д) в слое 0–140 см в т. 2 на ледовом полигоне в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря в марте 2003 г.: данные по экспонированию гидрофизического зонда в слое 0–140 см через каждые 10 см.

Таким образом, на разрезе можно выделить по солёности разные типы льда: солоновато-водный лед с величинами солёности 0.5–0.8‰ (точки 1 и 2), формирующийся у берега в зоне влияния речного стока, где лед отделен от морской воды водно-кристаллическим распресненным слоем мощностью 0–50 см и солёностью около 3‰; морской лед с солёностью 4.3–4.5‰ (точки 5 и 6), формирующийся непосредственно из морской воды, где водно-кристаллический слой отсутствует; льды в

точках 3 и 4 формируются при частичном влиянии речного стока.

Сезонная динамика концентраций минеральных форм кремния и фосфора во льду на разрезе от берега к центру губы показана на рис. 8. Максимальные величины концентрации кремния отмечены в прибрежных пробах льда (12.8–24.3 мкг-ат/л), а минимальные в центре губы (3.8–5.2 мкг-ат/л). Такое заметное различие концентраций минерального кремния в пробах льда, развивавшегося у берега и в центре губы, вероятно, можно объяснить тем, что в первом случае его источником является водно-кристаллический слой, из которого он образуется и в котором концентрация кремния составляет 72.2 ± 3.9 мкг-ат/л, что близко к значениям в речной воде (75.9 ± 1.4 мкг-ат/л), а во втором случае – морская вода с более низкой концентрацией кремния (21.6 ± 5.9 мкг-ат/л). В течение зимы концентрация кремния во льду заметно уменьшалась от средних значений 17.1 ± 4.6 мкг-ат/л в феврале до 4.5 ± 0.7 мкг-ат/л в апреле.

Максимальные величины концентраций минерального фосфора (0.15–0.22 мкг-ат/л) наблюдались так же, как и для кремния, в феврале–марте в прибрежных пробах льда. Эти значения близки к концентрациям фосфора в водно-кристаллическом слое и в речной воде (0.12 ± 0.04 и 0.16 ± 0.03 мкг-ат/л, соответственно). В апреле значения величин концентраций фосфора во всех про-

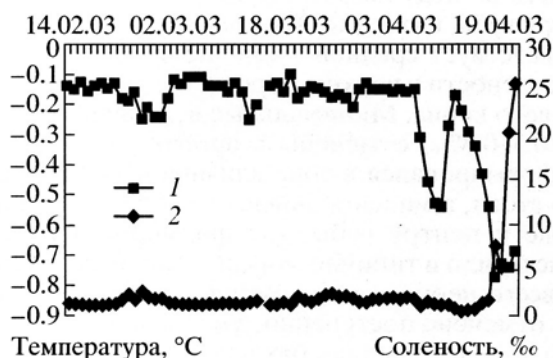


Рис. 6. Динамика температуры (1) и солёности (2) в водно-кристаллическом слое 0–50 см по данным непрерывных наблюдений с помощью гидрофизического зонда за период с 14.02 по 19.04. 2003 г. в губе Чупа Кандалакшского залива Белого моря.

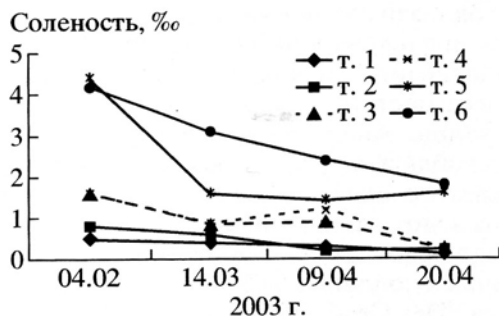


Рис. 7. Динамика солености на разрезе от берега (т. 1) к центру губы Чупа (т. 6) (Кандалакшский залив Белого моря) в феврале–апреле 2003 г. Каждая точка на графике соответствует средней величине из трех измерений солености в верхнем, среднем и нижнем слоях в каждой ледовой пробе.

бах на разрезе были близки к аналитическому нулю.

Биотические компоненты. В ледовых пробах на разрезе от берега к центру Чупинской губы идентифицировано 58 видов одноклеточных водорослей, из которых Bacillariophyta представлены 50 видами, Chlorophyta – 6 видами и Cyanophyta – всего 2 видами. Число видов в береговых пробах и в центре губы было приблизительно равное: 36 и 39 у диатомовых, 3 и 4 у зеленых, 2 и 2 у сине-зеленых водорослей. Среди диатомовых водорослей по численности клеток доминировали виды *Achnanthes hauckiana*, *A. taeniata*, *Navicula pelagica*, *Nitzschia angularis* и *N. frigida*, среди зеленых – *Raphidonema nivale* и *Ulothrix implexa*, а среди сине-зеленых – *Gomphosphaeria lacustris f. compacta*. Минимальная численность клеток всех групп отмечена в феврале; увеличение численности диатомовых и зеленых водорослей началось в марте и продолжалось до начала таяния льда; у циановых заметное увеличение отмечено только в конце апреля (рис. 9). Отмечено заметное различие в видовом составе фитоценозов берегового льда (точки 1 и 2) и из центра губы (точки 5 и 6): в береговых пробах наблюдалось доминирование видов из группы Chlorophyta, численность клеток которых значительно превышает таковые диатомовых водорослей, и, напротив, в пробах из центра губы численность клеток Bacillariophyta заметно преобладает над численностью клеток водорослей групп Chlorophyta и Cyanophyta (рис. 10). Важно отметить, что в биотопе прибрежного льда достигают значительного развития *Raphidonema nivale* и *Ulothrix implexa* (Chlorophyta), предпочитающие распресненные биотопы, причем, с удалением от берега их численность во льду заметно снижается на фоне увеличения доли морских диатомовых водорослей, таких как *Achnanthes hauckiana*, *A. taeniata*, *Navicula pelagica*, *Nitzschia angularis* и *N. frigida*. Интересно, что ти-

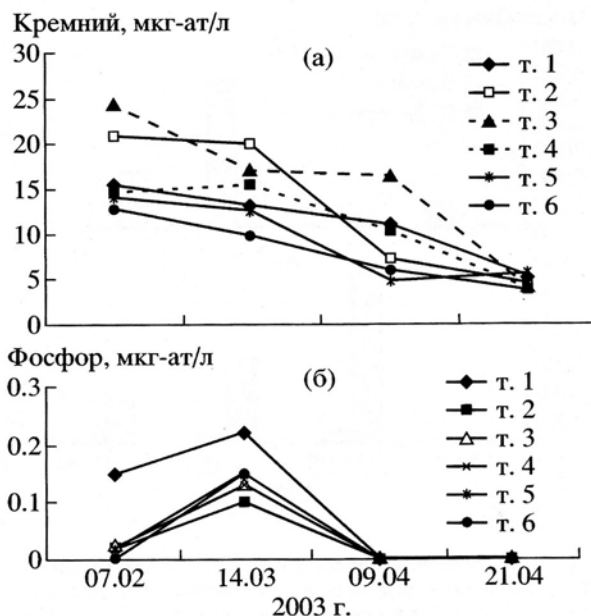


Рис. 8. Динамика величин концентраций минеральных форм кремния (а) и фосфора (б) во льду на разрезе от берега (т. 1) к центру губы Чупа (т. 6) в феврале–апреле 2003 г. (Кандалакшский залив Белого моря).

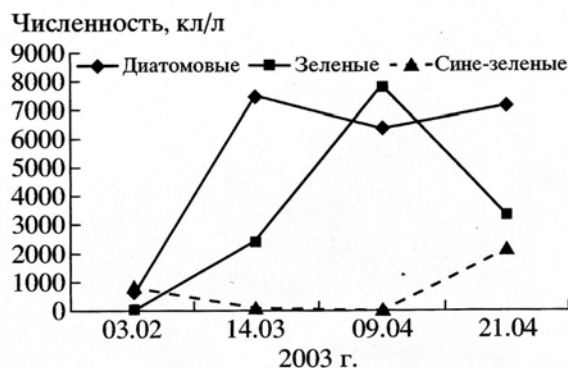


Рис. 9. Динамика численности клеток диатомовых, зеленых и сине-зеленых водорослей за период с февраля по апрель 2003 г. (средняя численность клеток для каждой из 6 точек на разрезе от берега к центру губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря).

пично реофильный вид *Asterionella formosa* (Bacillariophyta), характерный для речных фитоценозов, отмечен единичными клетками только в прибрежных пробах льда, где более заметно влияние речного стока на его формирование. Этот вид не был обнаружен в пробах льда из центра губы. Таким образом, в зимний период при формировании льда в зоне смешения морских и речных вод происходит развитие двух различных по видовому составу ледовых фитоценозов: 1) фитоценоза с доминированием водорослей из группы Chlorophyta, развивающихся в опресненной прибрежной зоне, и 2) фитоценоза с доминированием морских водо-

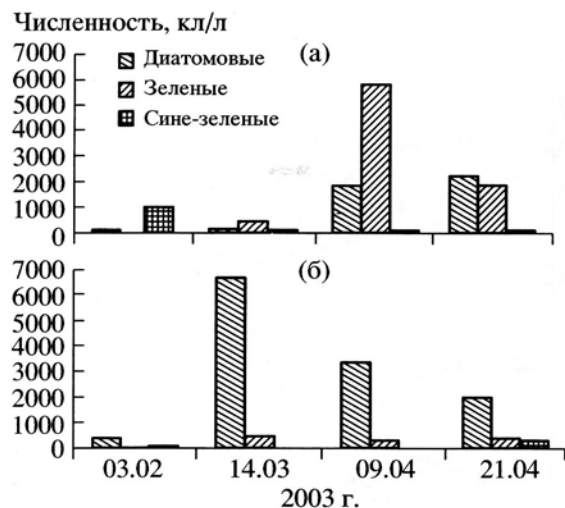


Рис. 10. Сравнение численности клеток диатомовых, зеленых и сине-зеленых водорослей в прибрежных пробах льда (а) и в пробах из центра губы Чупа (б) в Кандалакшском заливе Белого моря за период с февраля по апрель 2003 г.

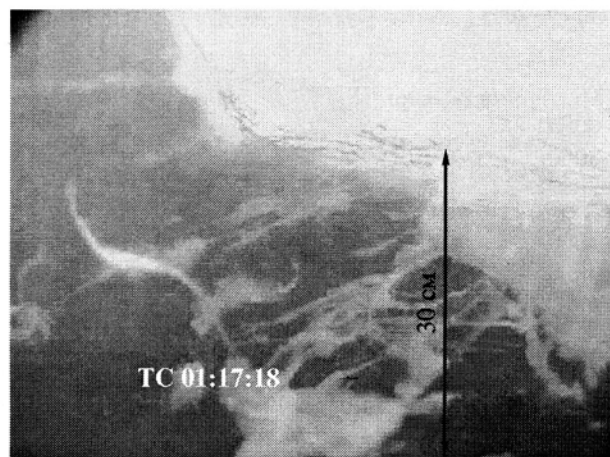


Рис. 11. Скопления водорослей *Ulothrix implexa* (Chlorophyta) на нижней поверхности льда в районе губы Чупа Кандалакшского залива Белого моря. Снимок сделан во время водолазного погружения под лед 20.04.2003 г. Шкала 30 см обозначает расстояние от поверхности льда. Цифры на снимке – время съемки.

рослей из группы Bacillariophyta, развивающихся при меньшем опресняющем влиянии реки.

С наступлением весеннего потепления и началом ледотаяния, во второй декаде апреля на нижней поверхности льда было отмечено бурное развитие колониальной пресноводной водоросли *Ulothrix implexa* (Chlorophyta). Буквально в течение нескольких дней (19–23 апреля) вся нижняя поверхность льда покрылась плотными скоплениями этого вида (рис. 11), причем в некоторых местах отдельные нити достигали в длину до 50 см. Во

время водолазных погружений удалось наблюдать, как подледные течения разрушают колонии и “растаскивают” их в виде мелких обрывков и сгустков от мест их прикрепления ко льду по всей водной толще. Аналогичное развитие *Ulothrix implexa* мы наблюдали в Канадском секторе Северного Ледовитого океана в августе–сентябре 1998 г. В период ледотаяния и накопления пресной талой воды подо льдом водоросли этого вида образовали мощные скопления до 5–6 м в длину на днище ледокола “Des Grosseilliers”, который дрейфовал в круговороте Бофорта с октября 1997 г. по октябрь 1998 г. [13]. Развитие этой пресноводной водоросли в центральном Арктическом бассейне, на наш взгляд, связано с климатическими изменениями, следствием которых является интенсивное таяние морского льда, накопление пресной талой воды подо льдом, распреснение и потепление поверхностных вод [12]. Наше наблюдение о развитии пресноводной водоросли *Ulothrix implexa* на льду в Чупинской губе в условиях воздействия речного стока косвенно предполагает возможность развития этого и/или других видов из группы Chlorophyta не только на искусственных субстратах, каким в нашем случае являлось днище ледокола “Des Grosseilliers”, но и на природном субстрате, каким является морской лед, если потепление в Арктике будет продолжаться. Хорошо известно, что эту экологическую нишу в Северном Ледовитом океане занимает морская диатомовая водоросль *Melosira arctica*, колоссальные скопления которой на нижней поверхности льда достигали в длину до 6 м [10]. В случае распреснения поверхностных вод вследствие таяния морского льда в Арктике вполне возможна смена доминирования аборигенных обрастаний *Melosira arctica* новыми интродуцированными видами, как, например, *Ulothrix implexa* [15].

Общий список всех идентифицированных видов зоопланктона, найденных непосредственно во льду, на нижней его поверхности и в толще воды, насчитывает 18 видов, относящихся к следующим группам: Protozoa, Nematoda, Rotatoria, Polychaeta, Copepoda, Cirripedia, Mysidacea, Cladocera, Pteropoda и Chaetognatha. Главной особенностью ледового зооценоза является присутствие в толще льда и на нижней его поверхности коловраток. Они являются группой планктонных животных, в высшей степени эвритермных и эвригалинных, толерантных к условиям внешней среды и слабо приуроченных к водному режиму определенного типа. Отмечено, что в пределах одной акватории могут обитать экологически различающиеся группы видов коловраток. Мы не имели возможности определять их до вида, т.к. для этого требуется специальная фиксация. Тем не менее, нахождение подавляющего большинства коловраток в слое воды, сформированном речным стоком, а также в нижнем слое льда в точках 1 и 2, располо-

женных у берега, в зоне сильного влияния речного стока, где лед отделен от морской воды водно-кристаллическим распресненным слоем, дает основание предполагать их речное происхождение. Косвенным образом это предположение подтверждает присутствие в этих же пробах нескольких экземпляров копепоидов пресноводного рачка рода *Diaptomus*. На втором месте по встречаемости стоят *Nematoda*, встреченные только во льду и на его нижней поверхности. Морской комплекс видов приурочен к водной толще внешних точек разреза. Там были встречены *Parafavella denticulata*, *Tintinnopsis fimbriata*, *T. beroidea*, *Pseudocalanus minutus*, *Metridia longa*, *Oithona similis*, *Oncaea borealis*, *Microsetella norvegica*, *Mysis oculata*, *Spiratella helicina*, *Parasagitta elegans*, личинки *Polychaeta*, науплии *Copepoda* и *Cirripedia*. Только три из общего числа идентифицированных видов всех групп являются общими для трех биотопов: *Pseudocalanus minutus* (Calanoida), *Oncaea borealis* (Poecilostomatoida) и *Microsetella norvegica* (Haracticoida).

Обращает на себя внимание очень низкая численность животных во льду (1–3 экз/л) в течение всего периода наблюдений и во всех пробах разреза от берега к центру губы. На данный момент нет четкого объяснения этому факту. Прежде всего, трудно понять, было ли животное живым во льду, когда отбиралась проба. Дело в том, что обнаруженные в пробах шкурки копепоидов могли быть механически захвачены при ледообразовании, т.е. после линьки этих животных в воде их шкурки могли механически попасть в структуру льда. Можно также предположить, что существование распресненного водно-кристаллического слоя, изолирующего лед от морской воды, является физическим препятствием для проникновения типично морских беспозвоночных животных в лед. Аналогично, можно говорить и о представителях речной пресноводной фауны – коловратках. На наш взгляд, сам факт появления коловраток во льду является свидетельством влияния речной воды на динамику формирования ледового биоценоза. Весной наблюдался рост численности животных у нижней поверхности льда за счет увеличения количества науплиев копепоидов (20 экз/л) и усоногих (178 экз/л), а также личинок полихет (227 экз/л).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали наблюдения, в зимний период в зоне смешения речных и морских вод формируется сложная многокомпонентная система, состоящая из: 1) льдов с соленостью 0,5–0,8‰ и 4,3–4,5‰ (солонатово-водные и морские льды); 2) подледного водно-кристаллического слоя с соленостью 2,86–3,04‰ и мощностью до 50–60 см и 3) морской воды с соленостью около 27‰. Эта “многоэтажная”

водно-ледовая система дважды в сутки синхронно смещается по вертикали (до 2 м), вследствие приливных колебаний, но устойчива в течение всего зимнего периода и начинает разрушаться только с наступлением потепления в конце апреля. Наши наблюдения показали, что в зимний период влияние речного стока распространяется на большую акваторию по сравнению с летними условиями вследствие того, что ледовый покров “отключает” ветро-волновое перемешивание [3].

Формирующаяся ледовая экосистема в эстуарии находится под сильным влиянием речного стока, изменяясь от пресноводной до типично морской. Пресноводные характеристики льда проявляются особенно заметно в прибрежной полосе, а морские в центральной части губы. При формировании льда в зоне смешения морских и речных вод происходит развитие двух различных по видовому составу ледовых фитоценозов – с доминированием пресноводных водорослей из группы *Chlorophyta*, развивающихся в прибрежной зоне под влиянием речного стока, и с доминированием морских водорослей группы *Bacillariophyta* без влияния пресноводного стока. Появление во льду типично пресноводных видов из группы *Rotatoria* является надежным индикатором пространственного распространения речных вод подо льдом в зимний период.

Авторы благодарят Ю.В. Евдокимова, С.С. Дударева и С.И. Чувильчикова за помощь в проведении полевых работ. Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 02-05-64357 и № 04-05-64350) и Американского фонда гражданских исследований и развития (грант CRDF № 2363-MO-02).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гурьянова Е.Ф., Закс И.Г., Ушаков П.В. Сравнительный обзор литорали русских северных морей // Тр. Мурм. Биол. ст. 1925. Т. 1. С. 110–130.
2. Дерюгин К.М. Фауна Белого моря и условия ее существования // Иссл. морей СССР. 1928. В. 7–8. 510 с.
3. Дикарев С.Н., Мельников И.А., Чувильчиков С.И. и др. Натурные гидрофизические исследования состояния экосистемы вода–лед в прибрежной части Чупинской губы Кандакшского залива Белого моря в 2003 г. // Современные методы и средства океанологических исследований. Материалы конференции. М.: ИО РАН, 2003. Ч. 2. С. 268–269.
4. Дикарев С.Н., Мельников И.А., Евдокимов Ю.Г. и др. Натурные гидрофизические исследования состояния приливного эстуария реки Пулонга в зимний период // Океанология. 2005. Т. 45. № 3.
5. Житина Л.С., Федоров В.Д. Ледово-планктонные водоросли побережья Белого моря // Вест. МГУ. 2003. Сер. 16. Биология. № 1. С. 24–31.
6. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Л.: Наука, 1969. Т. 1. 657 с.

7. Кузнецов В.В. Влияние ледяного покрова на морфологию и население литоральной зоны // Докл. АН СССР. 1947. Т. 63. № 1. С. 163–166.
8. Мельников И.А. Экосистема арктического морского льда. М.: ИО АН СССР, 1989. 191 с.
9. Мельников И.А., Корнеева Г.А., Житина Л.С., Шанин С.С. Динамика эколого-биохимических характеристик морского льда в прибрежной зоне Белого моря // Изв. РАН. Сер. биологическая. 2003. № 2. С. 206–213.
10. Мельников И.А., Бондарчук Л.Л. К экологии массовых скоплений колониальных диатомовых водорослей под арктическим дрейфующим льдом // Океанология. 1987. Т. 27. № 2. С. 317–321.
11. Ушаков П.В. Сезонные изменения на литорали Кольского залива // Тр. Лен. Общ. Ест. 1924. Т. 4. Вып. 1. С. 47–72.
12. Melnikov I.A. Impacts of changes in sea ice and other environmental parameters in the Arctic // The Arctic sea ice ecosystem and global warming / Ed. Huntington H.P., Com. Workshop, Girdwood, Alaska, 15–17 February 2000. Bethesda, Maryland: Marine Mammal Commission, 2000. P. 94–110.
13. Melnikov I.A., Kolosova L.G., Welch H.E., Zhitina L.S. Sea ice biological communities and nutrient dynamics in the Canadian Basin of the Arctic Ocean // Deep-Sea Res. 2002. Part I. V. 49. P. 1623–1649.
14. Strickland J.D.H., Parsons T.R. A manual of sea water analysis // Fish. Res. Bd. Can. Bull. 1968. V. 165. 311 p.
15. Zhitina L.S., Melnikov I.A. Freshening of the upper Arctic Ocean: Will the sea ice *Melosira arctica* be changed by the *Ulothrix implexa*? // Proc. of Algae and Extreme Environ. Conf. 11–16 September. Trebon: Czech Rep. 2000. P. 77–78.

Structure of the Coastal Ice Ecosystem in the Zone of River–Sea Interactions

I. A. Mel'nikov, S. N. Dikarev, V. G. Egorov, E. G. Kolosova, L. S. Zhitina

The structure of the coastal ice ecosystem formation in the zone of river water discharge (February–April 2003, Chupa guba in Kandalaksha Bay of the White Sea) was studied. It was shown, that in winter in the zone of river-sea water mixing a complex multi-component ecosystem is formed, which consists of: (1) ice with salinity 0.5–0.8‰ and 4.3–4.5‰, (2) under ice water-crystalloid layer with salinity 2.86–3.04‰, which is 50–60 cm thick, and (3) seawater layer with salinity up to 27‰. Fresh and brackish water characteristics are well manifested in the coastal area, while marine waters are characteristic of the middle part of the bay. This three-storied water-ice system is stable during the whole winter period and distroys only with spring melting. Remarkable differences in species composition were found in the ice phytocenoses: a domination of fresh-water species (mainly Chlorophyta) in the near-shore ice and domination of marine algae of Bacillariophyta in the fast ice. Low abundance of invertebrate animals in zoocenoses was found during the whole period of observations.