

УДК 551.46.474(268.9)

И. А. МЕЛЬНИКОВ

**КРИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОМ
АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ
(МЕТОД И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ)***Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР*

Дается описание метода криобиологических исследований и некоторые результаты его применения для изучения структуры и функционирования экосистемы дрейфующего арктического льда. Исследования проводились на дрейфующей станции СП-23 в мае — октябре 1977 г. Комплексное и длительное наблюдение за всеми элементами льда (толща, верхняя и нижняя поверхности) позволяет выявлять основные закономерности трансформации органического вещества на всех стадиях сукцессии экосистемы.

Дрейфующий лед — один из самых характерных элементов экосистемы пелагиали Арктического бассейна, его «лицо». От его физико-химических и морфометрических свойств зависят гидрологические и гидрохимические характеристики тонкого контактного слоя воды. Лед «термостатирует» океан, предохраняет его от выхолаживания. Эти и некоторые другие особенности дрейфующего льда широко изучались и в настоящее время более или менее ясны. Однако до сих пор остаются малоисследованными вопросы, связанные с его биологией. Попытка выявления характерных экологических особенностей дрейфующего арктического льда сделана в работе [6].

Причиной существующего пробела в знаниях по криобиологии является не только односторонность проводившихся исследований, которые были посвящены главным образом изучению компонентного состава [7, 10—13, и др.], но и отсутствие метода наблюдений за элементами и типами дрейфующего льда. Учитывая важность получения сведений о структуре и функционировании ледовых экосистем, автором был разработан метод криобиологических наблюдений, описание которого является предметом настоящей статьи.

К методу были предъявлены следующие два основных требования: 1) проведение непрерывных наблюдений на ограниченном участке ледового покрова за развитием всей толщи льда и его поверхностей; 2) комплексный подход к исследованию гидробиологических компонентов во всех элементах ледовой экосистемы: снежниках, толще льда, подледном слое.

Ниже излагаются метод и некоторые результаты его применения в гидробиологических исследованиях на дрейфующей станции СП-23 в мае — октябре 1977 г. [8].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для проведения исследований было выбрано ровное поле льда толщиной 3 м, расположенное в 350—400 м от базового лагеря (для исключения влияния загрязнений). Это был основной полигон (100×100 м), где проводили полный цикл криобиологических работ. Полигон был

выбран с учетом возможности параллельных наблюдений за развитием верхней поверхности, толщи льда и его морской поверхности. Последняя исследовалась во время водолажных погружений. Водолаз опускался из лунки на краю полигона. Изучение морской поверхности дублировали и на других типах льда: однолетнем (в 3 км от лагеря) и многолетнем (в 200—250 м от основного полигона). Наблюдения охватывают период с июня по октябрь 1977 г.

Верхняя поверхность льда. Ее исследование начали до таяния снежно-ледяного покрова (первая декада июня). От центра полигона к периферии через каждые 5 м измеряли толщину снежного покрова на льду, а когда стали заметны контуры будущей снежицы (конец июня), в постоянно выбранном направлении измеряли глубину пресной воды, образующейся при таянии. Измерения проводили каждые 4—7 дней до начала сентября. Все наблюдения за динамикой развития снежно-ледяного покрова сопровождали измерениями температуры воздуха, падающей и отраженной солнечной радиации, температуры, соли и растворенного O_2 в воде снежицы.

С момента образования снежицы выполняли учет численности клеток водорослей, развивающихся в ее воде, и измерения величин первичной продукции, концентрации органических и биогенных компонентов. Для этого из центра снежицы в полиэтиленовую канистру отбирали 8—10 л воды, в которой определяли содержание растворенного и взвешенного органического углерода [3], аденозинтрифосфата [14], хлорофилла «а» и каротиноидов [17], минеральных форм фосфора и кремния [16]. Численность клеток водорослей учитывали микроскопированием на мембранных фильтрах (размер пор 1 мкм), через которые профильтровывали 1—2 л воды [5] (рабочее увеличение 100). Первичную продукцию определяли радиоуглеродным методом [9]. Серию темных и светлых склянок после добавления ^{14}C экспонировали *in situ* в течение 2—4 суток. Измерение рабочей активности препарата выполняли торцевым счетчиком Т-25-БФЛ (толщина слюды 1,4 мг/см²).

Толща льда. Пробу (кern) отбирали кольцевым буром диаметром 180 мм в центре полигона. После взятия керна сквозь сделанное отверстие был пропущен промеренный фал так, чтобы оба его свободных конца имели достаточную для наблюдений длину: в воде 4 м, на поверхности 2 м. Когда вода в отверстии замерзла, фал крепко фиксировался в толще льда. Зная его толщину в начале наблюдений, можно было далее следить за динамикой таяния и нарастания, измеряя длину свободной части фала на поверхности и в воде (во время погружений с аквалангом).

Обработку керна вели со всеми предосторожностями и требованиями микробиологической практики. Все инструменты и посуду стерилизовали спиртом и кипячением в подкисленной HCl воде. Обработку пробы начинали сразу же после ее получения. Сначала измеряли длину керна, затем очищали ножом его поверхность и делили на 7—8 частей по 30—35 см каждая. Такая дробность горизонтов была обусловлена, с одной стороны, необходимостью иметь достаточный объем талой воды для аналитических работ, с другой — возможностью более подробно следить за процессами в толще льда. Каждую часть пробы дробили на мелкие куски, складывали в отдельные 3—4-литровые стеклянные банки и растапливали при комнатной температуре. В талой воде определяли величины концентрации растворенного и взвешенного органического углерода [3], аденозинтрифосфата [14], хлорофилла «а» и каротиноидов [17], фосфатного фосфора и кремнекислоты [16]. Из каждой пробы приготавливали гистохимические препараты для микроскопического анализа органических компонентов детрита [4].

Для выяснения вопроса о выживаемости ледовой флоры в условиях резких колебаний температуры, длительного полярного дня и полярной

ночи было выполнено три эксперимента по культивированию водорослей на питательной среде Гольдберга [2]. Для этого талую воду с добавленной в нее питательной средой экспонировали на свету при комнатной температуре в течение 10—12 дней. В каждой культуре до и после экспонирования определяли взвешенный органический углерод, аденозинтрифосфат, хлорофилл «а» и каротиноиды.

Нижняя поверхность льда. Морскую, или, как ее иногда называют [15], «донную», поверхность льда изучали при водолазных погружениях. Исследовали фауну, живущую на поверхности и в воде близ нее, флору обрастаний льда, гидрохимический режим тонкого контактного слоя. Для более глубокого понимания процессов, проходящих у поверхности льда, детально исследовали микроструктуру поверхностных арктических вод (до глубины 50 м).

Последовательность отбора и обработки проб такова. Во время каждого погружения выполняли горизонтальные ловы планктона сачком с входным отверстием 40×20 см из капронового сита № 38. Ловы проводили по поверхности льда и на глубине 5 м; длина каждого лова 40—50 м. Собранную фауну фиксировали 5%-ным формалином. Затем отбирали пробы воды 8-литровым пластмассовым батометром с горизонтов 0 и 5 м для определений содержания растворенного и взвешенного органического углерода, аденозинтрифосфата, хлорофилла «а» и каротиноидов, солености, растворенного O_2 , минеральных форм фосфора и кремния. Пробы для измерения величин первичной продукции, создаваемой ледовой флорой, отбирали непосредственно с поверхности льда. Для этого использовали литровый пластмассовый шприц, которым осторожно брали пробу воды со льда. Воду разливали по 0,25-литровым темным и светлым склянкам, добавляли в них ^{14}C , склянку устанавливали в специальный контейнер, который погружали под лед на 2—4 дня. Измерения подледной освещенности (область 300—700 нм) проводили в 10 точках непосредственно у поверхности льда на разрезе от центра полигона к его периферии через каждые 5 м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлена схема изменения толщины льда за период наблюдений; данные по динамике стаивания и нарастания с его обеих поверхностей сведены в таблицу.

В начале наблюдений толщина льда составляла 295 см, а мощность снежного покрова на нем — 16,5 см ($n=10$, $\sigma=13,2$). Начало таяния было отмечено во второй половине июня, и этот процесс продолжался до середины августа. За это время сверху стаял весь снег и 123 см льда. Процесс таяния верхней поверхности сопровождался интенсивным развитием снежниц и стоком образовавшейся пресной воды под лед. В результате стока вод и их распространения под дрейфующим льдом в

Величины стаивания и нарастания льда за время наблюдений
с 16 июня по 13 октября 1977 г., см

Поверхность	16.VI—13.VII	14.VII—14.VIII	15.VIII—18.IX	19.IX—13.X	За лето
Сверху	—60	—63	0	0	—123
Снизу	+29	+11	—1	—6	+33
Изменение толщины	—31	—52	—1	—6	—90

Примечание. «—» — стаивание льда, «+» — нарастание льда.

июле-августе наблюдали нарастание снизу до 40 см молодого вязкого льда. В конце августа началось похолодание, таяние сверху, и, следовательно, поступление пресных вод под лед прекратилось. В это время происходит стабилизация процесса ледообразования и начинается таяние нижней поверхности. В первую очередь происходит разрушение именно молодого вязкого льда. Однако таяние снизу, по крайней мере летом 1977 г., не было столь интенсивным: с августа по октябрь стоял слой мощностью 7 см. По наблюдениям на СП-18 в 1969—1970 гг. [1] суммарное стаивание на нижней поверхности однолетнего льда составило 20—30 см, двухлетнего — около 25 см и многолетнего 10—25 см.

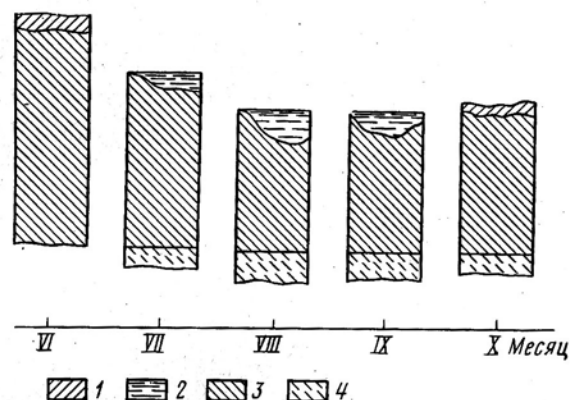


Рис. 1. Схема ледотаяния и ледообразования летом 1977 г.

1 — снег; 2 — талая вода (снежицы); 3 — многолетний лед; 4 — молодой лед

Можно заключить, что процесс таяния снизу является менее мощным, чем сверху. Это обстоятельство важно в связи с тем, что вместе с пресной водой, образующейся при таянии верхней поверхности, вниз поступают органические вещества, которые были включены в его структуру при ледообразовании в других районах (например, на шельфе окраинных морей СССР или Канадского архипелага). Предположение о том, что дрейфующий лед можно рассматривать как аллохтонный источник органических веществ в пелагиали Арктического бассейна [7], частично подтверждается данными настоящих наблюдений.

Как видно из рис. 2, после зимы лед содержал очень высокие концентрации растворенного и взвешенного органического углерода. При таянии льда сверху и стоке талых вод под лед происходит обогащение контактного слоя взвешенным органическим углеродом — от 26—35 мкгС/л в июне до 90—301 мкгС/л в июле. Одновременно в толще льда происходит перераспределение вещества. Во-первых, органическая взвесь верхних горизонтов льда после таяния и стока с пресной водой вниз частично вмерзает в лед; во-вторых, с началом фотосинтеза происходит трансформация органического вещества: растворенный органический углерод — ледовая флора — взвешенный органический углерод. Последнее утверждение требует проверки. Вместе с тем очевидно, что в толще льда имеет место процесс преобразования растворенного органического углерода во взвешенный.

По мере стока воды флора снежиц (три вида Chlorophyta) была обнаружена в тонком распресненном слое подо льдом. С образованием молодого льда на поверхности старого клетки этих водорослей оказались включенными в его кристаллическую структуру. Таким образом, развиваясь сначала на поверхности и затем попадая снизу в его толщу,

эта группа водорослей, вероятно, может сохраняться, образуя споры, до тех пор, пока они вновь не окажутся наверху. С учетом данных наблюдений за изменениями толщины льда (таблица), предполагая равную интенсивность процессов ледотаяния и ледообразования в последующие сезоны, можно рассчитать время «выхода» клеток этих водорослей на поверхность льда. Оно составляет 2—3 года.

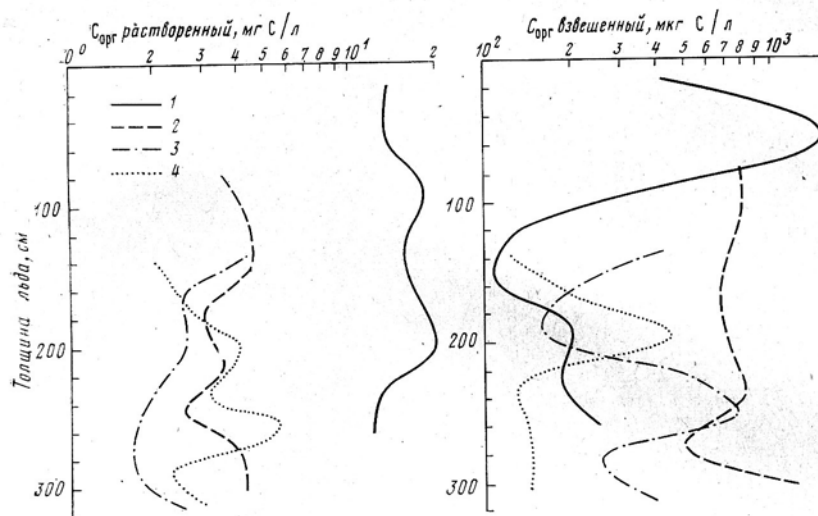


Рис. 2. Изменение концентрации растворенного и взвешенного органического углерода в толще многолетнего льда с июня по октябрь
1 — июнь; 2 — июль; 3 — август; 4 — октябрь

Последующая обработка и анализ полученных данных позволит уточнить некоторые функциональные особенности дрейфующего льда в Арктическом бассейне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грищенко В. Д. 1976. Статистические характеристики некоторых параметров рельефа верхней и нижней поверхностей дрейфующих льдов. Тр. АН ИИ, 320.
2. Ланская Л. А. 1971. Культивирование водорослей. Сб. «Экологическая физиология морских планктонных водорослей (в условиях культур)». «Наукова думка», Киев.
3. Люцарев С. В. 1968. Метод определения углерода органических веществ в морской воде. Сб. «Методы рыбохозяйственных и химико-океанографических исследований», вып. 2/11. ВНИРО.
4. Мельников И. А. 1974. Применение гистохимических реагентов для выявления биохимического состава органического детрита. Океанология, XIV, вып. 6.
5. Мельников И. А. 1975. Микропланктон и органический детрит в водах юго-восточной части Тихого океана. Океанология, XV, вып. 1.
6. Мельников И. А. 1977. Некоторые химико-экологические свойства Арктического льда. Сб. «I съезд советских океанологов», 1977. Тез. докл., вып. 2. «Наука», М.
7. Мельников И. А., Павлов Г. Л. 1978. Растворенный и взвешенный органический углерод в водах и льдах Арктического бассейна. Океанология, XVIII, вып. 2.
8. Мельников И. А., Цинковский В. Д. 1978. Гидробиологические исследования в Северном Ледовитом океане (май — октябрь 1977 г.). Океанология, XVIII, вып. 2.
9. Методическое пособие по определению первичной продукции органического вещества в водоемах радиоуглеродным методом. 1960. Изд-во Белорусск. гос. ун-та, Минск.
10. Палибин И. В. 1925. Микроорганизмы как разрушители полярных льдов. Изв. Цегимбюро, вып. 5.
11. Усачев П. И. 1949. Микрофлора полярных льдов. Тр. ИОАН СССР, III.
12. Apollonio S. 1961. The chlorophyll content of Arctic sea-ice. Arctic, 14, No. 3.
13. Gran E. H. 1904. Diatomaceae from the ice-floes and plankton of the Arctic ocean. Sci. Res. Norveg. North Polar Exped., 1893—96, 4, No. 11.
14. Holm-Hansen O., Booth C. R. 1966. The measurement of adenosine triphosphate in the ocean and its ecological significance. Limnol. and Oceanogr., 11, No. 4.

15. Meguro H., Ito K., Fukushima H. 1967. Ice flora (bottom type): a mechanism of primary production in polar seas and the growth of diatoms in sea ice. *Arctic*, 20, No. 2.
16. Strikland J. D. H., Parsons T. R. 1968. A manual of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 165.
17. UNESCO-SCOR 1966. Monographs on oceanographic methodology. 1. Determination of photosynthetic pigments in sea-water. UNESCO, Paris.

Поступила в редакцию
28.III.1978

I. A. MEL'NIKOV

**CRYOBIOLOGICAL OBSERVATIONS IN THE CENTRAL ARCTIC BASIN
(METHODS AND SOME RESULTS OF THE STUDIES)**

Summary

The methods of cryobiological studies are described and some results of their use for studying structure and functioning of the ecosystem of the drifting Arctic ice are presented. The studies were made at NP-23 drifting station in May — October, 1977. Integrated and long observations of all ice elements (thickness, upper and lower surfaces) make it possible to establish the basic regularities of organic matter transformation at all stages of succession of the ecosystem.