



ПРОБЛЕМЫ

АРКТИКИ и АНТАРКТИКИ

ВЫПУСК 62
1986



ОБ УСЛОВИЯХ ОБИТАНИЯ ЛЕДОВОЙ ФЛОРЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

Анализ микрофлоры полярных льдов, выполненный П. И. Усачевым по научным материалам многих зарубежных и советских экспедиций в высоких широтах Арктики, начиная с экспедиции О. Норденшельда на «Вега» до работ станции «Северный полюс-1» под руководством И. Д. Папанина в 1937—1938 гг., показал, что по видовому составу ледовые водоросли представлены в основном морскими планктонными или бентосными формами. Из пресноводных зарегистрировано только три вида. Среди бентосных форм указаны 24 вида типичных криофилов, т. е. диатомей, в массе развивающихся на нижней ледовой поверхности. Эти криофилы П. И. Усачев отмечает как типичные, так как именно они являются постоянными в «цветении» льда.

При рассмотрении такого необычного явления, как нахождение диатомовой флоры во льду обращает внимание парадокс, объяснению которого до сих пор не уделялось внимания. Суть его состоит в том, что из зарегистрированных около 100 таксонов почти все водоросли, представленные морскими формами, обитают во льду, соленость которого составляет около 5 ‰. Целью данной работы является попытка объяснить как могут обитать морские водоросли во льду при таких низких величинах солености. Для этого необходимо рассмотреть прежде всего основные представления о структуре морского льда и условиях обитания, населяющих его организмов.

В настоящее время установлено, что толща морского льда состоит из образований, которые подобно кристаллам одинаково окрашены в поляризованном свете, но не однородны, а образованы параллельными друг другу ледяными пластинками, называемые кристаллами, в отличие от их ассоциатов, называемых кристаллитами. Ледовые микроорганизмы обитают в межкристаллических пространствах (ячейках), заполненных раствором солей (рассолом). Вследствие градиента температуры во льду (рис. 1), каждая из включенных в лед ячеек с рассолом оказывается в различных условиях: в верхних слоях льда они подвержены воздействию температуры, близкой к температуре воздуха; в нижних — температуре воды. Естественно, что такому же температурному воздействию подвержены и ледовые организмы, обитающие в межкристаллических пространствах.

Как видно из рис. 1, в толще льда выделяются два основных периода: весенне-летний, характеризующийся минимальным температурным градиентом между верхней и нижней поверхностями, и осенне-зимний, при котором происходит охлаждение льда и температурный градиент между поверхностями растет. Из-за изменения температуры льда объем ячеек, а следовательно и рассола в них, также изменяются: с повышением температуры (в весенне-летний период) ячейки увеличиваются при таянии льда и рассол в это время становится менее концентрированным; с понижением температуры (в осенне-зимний период) их размеры уменьшаются, вследствие внутриобъемного ледообразования, а концентрация рассола возрастает. Таким образом, микроорганизмы льда, населяющие межкристаллические пространства, воспринимают в течение года различные концентрации рассола. Каков диапазон этой изменчивости?

Известно, что соленость льда определяется как количество граммов солей на 1 кг льда (или 1 л вытаявшей из льда воды). Но ведь соли растворены только в жидкой, а не в твердой фазе льда, поэтому измеренное количество солей должно быть отнесено не к 1 кг льда (или 1 л талой воды), а лишь к объему жидкой фазы, т. е. к объему, занимаемому рассолом. Другими словами

$$S_p = \frac{S_{\text{л}}}{V_p},$$

где S_p и $S_{\text{л}}$ — соленость рассола и льда соответственно: V_p — объем рассола при наблюдаемой солености $S_{\text{л}}$ и температуре льда на данном горизонте.

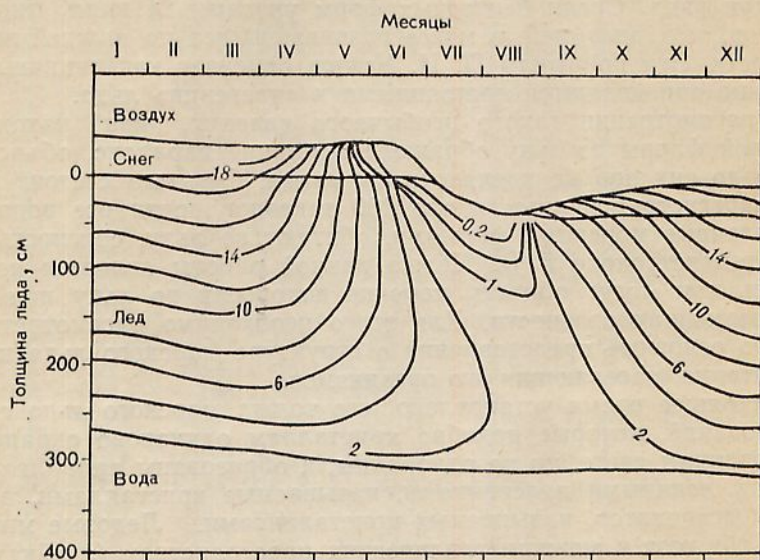


Рис. 1. Распределение температуры ($^{\circ}\text{C}$) в снежно-ледяном покрове Арктического бассейна [5].

Таким образом, зная измеренную соленость льда ($S_{\text{л}}$) и объем жидкой фазы, т. е. рассола (V_p), при наблюдаемых величинах температуры и солености, можно рассчитать истинную соленость рассола, при которой живут ледовые организмы на том или ином горизонте. На рис. 2 представлены данные, полученные на основании наблюдений за соленостью и температурой многолетнего льда на одном из ледовых полигонов на дрейфующей станции «СП-23» в 1977—1978 гг. Расчеты выполнены на основе данных [4] об относительном объеме рассола (1 см³ рассола на 1 см³ льда) в морском льду при различной температуре и слорности.

Из рис. 2 следует, что ледовые организмы в весенне-летний период обитают в рассоловых ячейках, в которых соленость приблизительно равна солености морской воды, т. е. около 35 ‰, а зимой — в гипергалийных растворах, в которых соленость достигает значений 100 ‰ в верхних и 40—50 ‰ в нижних слоях многолетнего льда.

Данные по составу диатомовых водорослей из нижних слоев льда

показали, что это почти на 100 % типично морские водоросли, в которых преобладают диатомовые родов *Navicula*, *Pinnularia*, *Amphora*, *Amphiprora*, *Nitzschia* и др. Всего около 100 таксонов [1]. Таким образом, летом на нижних горизонтах при типично морских соленостях развивается диатомовая флора. В верхних слоях, где соленость менее 10 ‰, развиваются водоросли, относящиеся к совершенно другим таксономическим группам, главным образом виды из типов *Chlorophyta* и *Cyanophyta*: *Chlorella*, *Ancylonema*, *Chlamidomonas*, *Cryocystis*, *Koliella*, *Trochiscia*, *Scotiella* и др. водоросли. Всего около 20 таксонов.

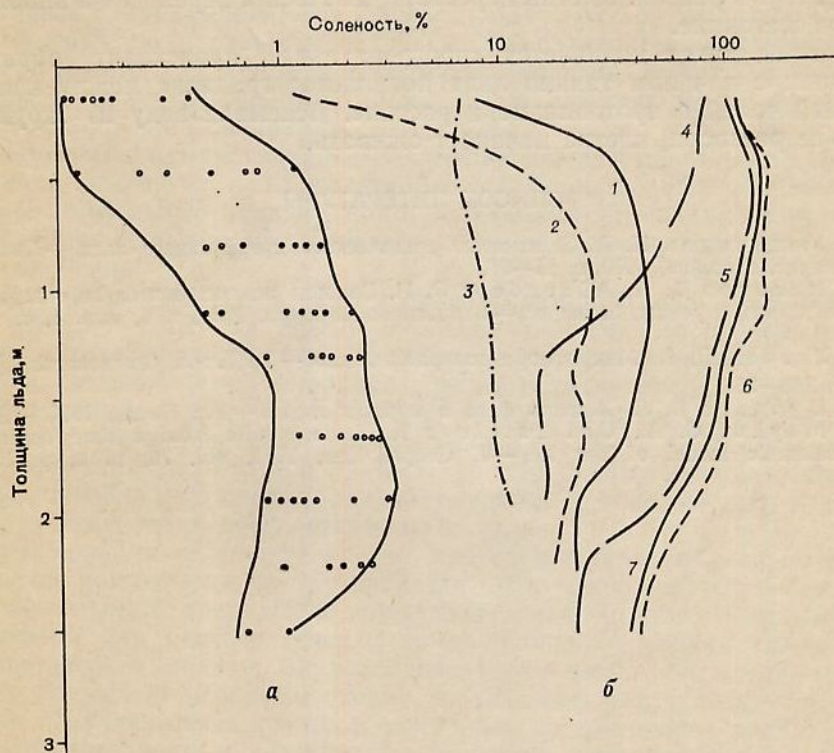


Рис. 2. Измеренная общая соленость морского льда (а) и расчетная соленость его жидкой фазы (б). По данным наблюдений «СП-23» в 1977—1978 гг.

1 — июнь; 2 — июль; 3 — август; 4 — октябрь; 5 — февраль; 6 — апрель.

Таким образом, парадокс «соленость — морские водоросли» отсутствует, если измеренное количество солей во льду относить только к его жидкой фазе, а не ко всему его объему в целом. Вертикальная зональность в распределении одноклеточных водорослей — лишнее тому доказательство.

В заключение следует кратко остановиться на адаптации ледовой флоры к обитанию в гипергалийном растворе в темное время года.

Зимой одноклеточные водоросли в Арктике не фотосинтезируют, а находятся в состоянии анабиоза. Есть основание полагать, что нахождение водорослей в таких концентрированных растворах солей способствует их выживанию в жестких условиях окружающей среды, как низ-

кая температура и длительное отсутствие света. Как показано [2], при содержании в гипертонических растворах мышцы обезвоживаются и потеря воды определяется концентрацией ее в этом растворе. У одноклеточных водорослей льда, вероятно, происходит нечто подобное: клетка функционирует до тех пор, пока осмотическое давление внутри клетки и в окружающем клетку растворе одинаково; с понижением температуры лед охлаждается, вода из жидкой фазы переходит в твердую, концентрация солей в растворе повышается, а значит изменяется осмотическое давление в ячейке. Появление градиента является сигналом для выхода воды из протоплазмы клетки в окружающую ее среду, т. е. в рассол. Клетка перестает делиться и переходит в анабиотическое состояние.

Весной, когда начинается «прогрев» льда, происходит обратная картина: с началом таяния льда появляется градиент между концентрацией солей в протоплазме и рассоле. Всасывая воду из окружающего ее раствора, клетка начинает оживать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников И. А. Экосистема арктического дрейфующего льда. — Биология центр. аркт. бассейна, 1980, с. 61—97.
2. Насонов Д. Н., Айзенберг Э. И. Влияние неэлектролитов на содержание воды в живых и убитых мышцах. — Биологический журн. 1937, т. 6, вып. 1, с. 165—183.
3. Усачев П. И. Микрофлора полярных льдов. — Тр./Ин-та океанологии, 1949, т. 3, с. 216—259.
4. Пуриков В. Л. Жидкая фаза в морских льдах. — М.: Наука, 1976. — 210 с.
5. Maykut G. A., Untersteiner R. Some results from a time dependent, thermodynamic model of sea ice. — J. Geoph. Res., 1971, vol. 76, п. 6, p. 1550—1575.