

ВЛИЯНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КОЛИЧЕСТВ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА СТРУКТУРУ МОРСКОГО ЛЬДА ПО ДАННЫМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Кустова Е.В.¹, Лазарюк А.Ю.¹, Юрикова Е.А.², Горбов М.И.¹

¹*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, г. Владивосток*

²*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского,
г. Владивосток*

kustova_e@poi.dvo.ru

Метод компьютерной томографии (КТ) вещества, по сути, является способом послойного определения плотности путем обработки разности ослабления рентгеновского излучения при прохождении через изучаемое вещество. Полученная плотность по шкале Хансфилда [1] может быть переведена в физическую плотность. Таким образом, можно использовать метод КТ для изучения плотности кернов морского льда. Подобные исследования были проведены ранее, методика и результаты представлены на конференции [2]. Однако, в предыдущие годы не было отмечено каких-либо явлений, способных существенно повлиять на плотность морского льда, соответственно, представленные в [2] образцы морского льда являются обычными для Амурского залива (Залив Петра Великого, Японское море).

Зимой 2025 г. на станции Т3а была зарегистрирована экстремально высокая численность клеток микроводорослей как в подледной воде, так и в припайном льду Амурского залива (рис. 1), обусловленная развитием вида *T. nordenskiöldii* (Cleve 1873).

Зимнее «цветение» этого вида наблюдается ежегодно [3], однако подобное высокое обилие клеток во льду северо-восточной части Амурского залива регистрируется впервые. В начале января при толщине льда около 25 см в районе мыса Красный отмечены их концентрации до 1 млн. кл/л на станции Т2 (370 м от берега) и до 14,8 млн. кл/л на станции Т3а (840 м). Пик развития водоросли зарегистрирован 31 января — 110 млн. кл/л в нижних слоях льда на станции Т3а.

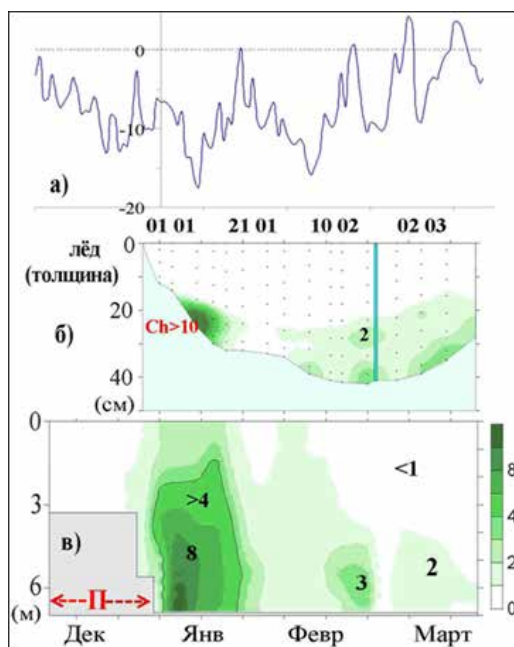


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха с декабря 2024 по март 2025 на метеостанции «Владивосток-гора» (а) и распределения измеренных значений хлорофилла-А в толще льда (б) и подлёдной воды (в) на северо-востоке Амурского залива (станция Т2)

Присутствие криофилов в морском льду влияет на его физико-механические свойства. Для исследования их влияния на плотность 22 февраля 2025 г. были извлечены два керна в точках Т3а и Т2.

Расчетную плотность морского льда оценивают по его температуре и солёности. Нами были выполнены послойные измерения температуры кернов в момент их извлечения и после КТ-сканирования в лаборатории, а также солёности по растопленным образцам льда [4]. В таблице 1 даны оценочные значения интегральной плотности кернов, установленные [5] по усредненным значениям температуры и солёности, а также по результатам их КТ-сканирования.

Среднее значение плотности льда по результатам КТ-сканирования керна Т2 практически совпадает с ее интегральной оцен-

Таблица 1. Результаты измерений кернов и расчета их плотности

Керны	Температура, °C	Соленость, psu	Плотность по [5], кг/м³	Плотность по результатам КТ		
				минимум	максимум	средняя
T2	–4,37	5,63	928	915,3	937,3	927
T3a	–3,62	7,42	931	865,97	930,9	911,6

кой (927/928 кг/м³). Для керна Т3а разница между аналогичными значениями составляет более 2% (около 20 кг/м³), а в слоях повышенных концентраций клеток микроводорослей — более 6,5% (рис. 2б).

Были получены гистограммы распределения для значений средней плотности каждого КТ-среза (слоя) в кернах льда – 675 слоев для керна Т2 и 587 слоев для керна Т3а (рис. 2а). Анализируя их, отмечаем узкий диапазон изменений в кернах Т2 с ярко выраженным максимумом частоты около 926 кг/м³ – 182 слоя КТ-сканирования. В то же время, значения плотности в кернах Т3а, варьируя от 866 до 931 кг/м³, имеют несколько экстремумов (875 и 908 кг/м³) с максимумом 924 кг/м³ (99 слоев). При этом 42% КТ-срезов (слоев) керна Т3а имеют плотность ниже минимума плотности керна Т2.

Гидрологические исследования, выполненные в северной части Амурского залива в последующий период, показали более быстрое уменьшение толщины льда в точке Т3а по сравнению с Т2.

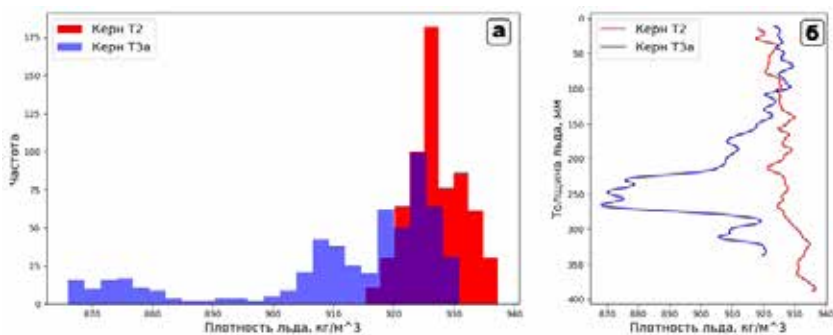


Рис. 2. Гистограмма частотного распределения плотности льда по КТ-срезам (а) и вертикальные профили плотности кернов Т2 и Т3а (б)

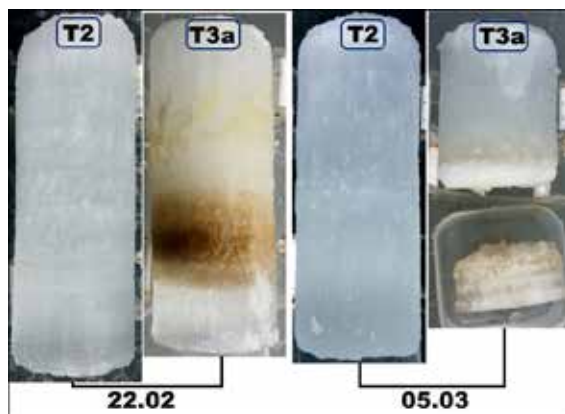


Рис. 3 Керна, извлеченные в точках T2 и T3a в фев-
рале и марте 2025 г.

По-видимому, этот эффект был обусловлен интенсивным поглощением солнечной радиации слоем повышенного содержания клеток микроводорослей, его разогревом и ускоренным таянием (рис. 3).

Работы проведены в рамках госбюджетной темы «Исследование структуры и динамики вод Мирового океана в условиях современных климатических изменений», регистрационный номер: 124022100079-4. Исследование поддержано Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (соглашение №169-15-2023-002 от 01.03.2023).

Литература

1. Хофер М. Компьютерная томография. Базовое руководство / М. Хофер. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Мед. лит., 2008. - 224 с.
2. Кустова Е.В., Лазарюк А.Ю., Харламов П.О., Тювеев А.В., Мельниченко Н.А. Определение плотности морского льда средствами компьютерной томографии //ФИЗИКА ГЕОСФЕР. – 2023. – С. 62-65.
3. Коновалова, Г.В. Сезонная характеристика фитопланктона в Амурском заливе Японского моря / Г.В. Коновалова // Океанология. 1972. Т. 12, № 1. С. 123-128.
4. Мельниченко Н.А., Тювеев А.В., Лазарюк А.Ю., Кустова Е.В., Харламов П.О. Вертикальное распределение рассола и объемная структура тонкого однолетнего льда Амурского залива по данным методов ядерного магнитного резонанса и магнитно-резонансной томографии // Океанология. 2019. Т. 59. №. 5. С. 859-869.
5. Назинцев Ю.Л., Панов В.В. Фазовый состав и теплофизические характеристики морского льда //СПб.: Изд-во Гидрометеоиздат. – 2000.