

Фронтальная зона распространения Тихоокеанских водных масс в Арктическом бассейне

И.А. Гангнус, В.В. Иванов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Географический факультет, Москва

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург

igangnus@gmail.com

- **Актуальность**

Тихоокеанские воды распространяющиеся в Северном Ледовитом океане в подповерхностных слоях и богатые биогенными веществами, при перемешивании с поверхностными Арктическими водами могут обогащать фотический слой питательными веществами, усиливая потенциальную биологическую продуктивность.

- **Цель**

По результатам различных экспедиционных исследований оценить особенности распределения различных характеристик в районе фронтальной зоны тихоокеанских водных масс и возможное влияние на характеристики поверхностных вод

- **Материалы**

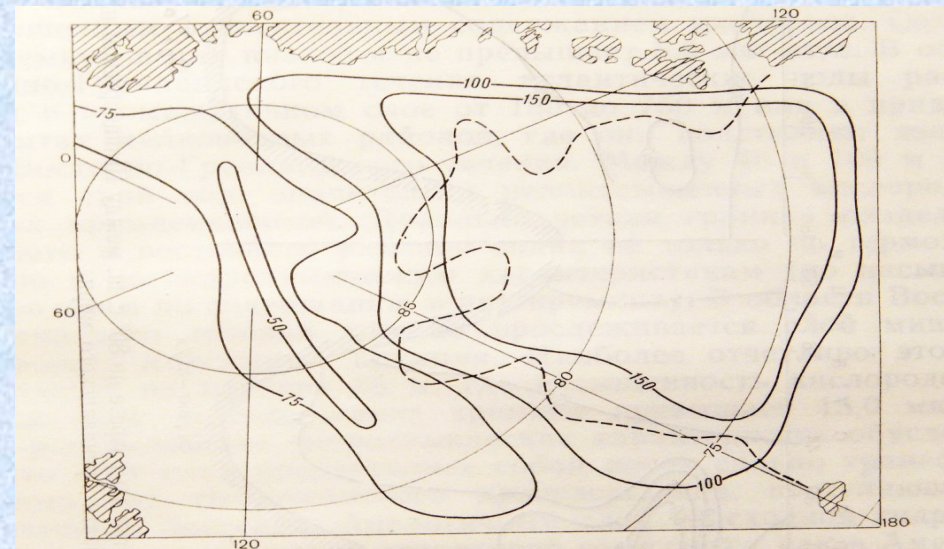
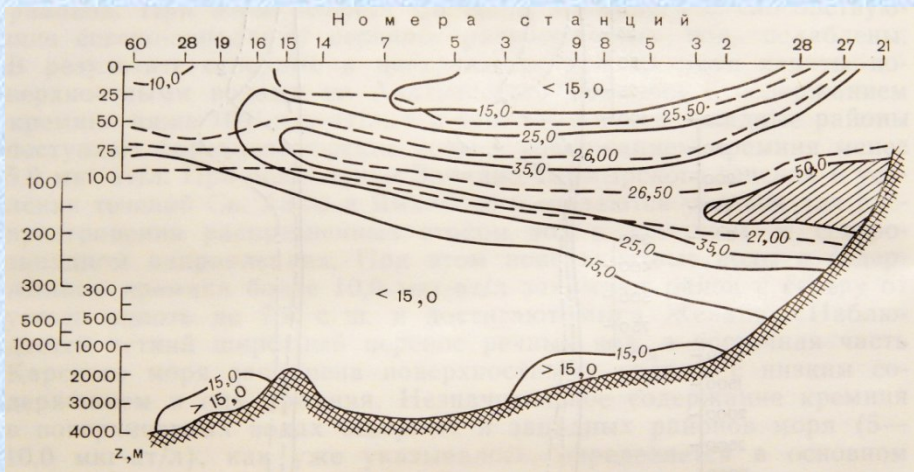
Литературные источники, международные базы данных (GLODAP v2.2023), результаты экспедиций Nabos-2021, СП-41, СП-2015

Тихоокеанские воды в Северном Ледовитом океане

- 1) Проникают в СЛО через Берингов пролив
- 2) Выделяют сезонные модификации: Летнюю и зимнюю
- 3) В Арктический бассейн проникают в промежуточный слой (галоклин) между более пресными Арктическими поверхностными водами и более солеными Атлантическими

Главный отличительный признак – **максимум растворенного кремния**

- 4) Увеличение содержания кремния в приполярном районе на поверхности вероятно связано с подъемом тихоокеанских вод



Вертикальное распределение кремния в водах Арктического бассейна в 1968/1969гг., пунктир - изопикны

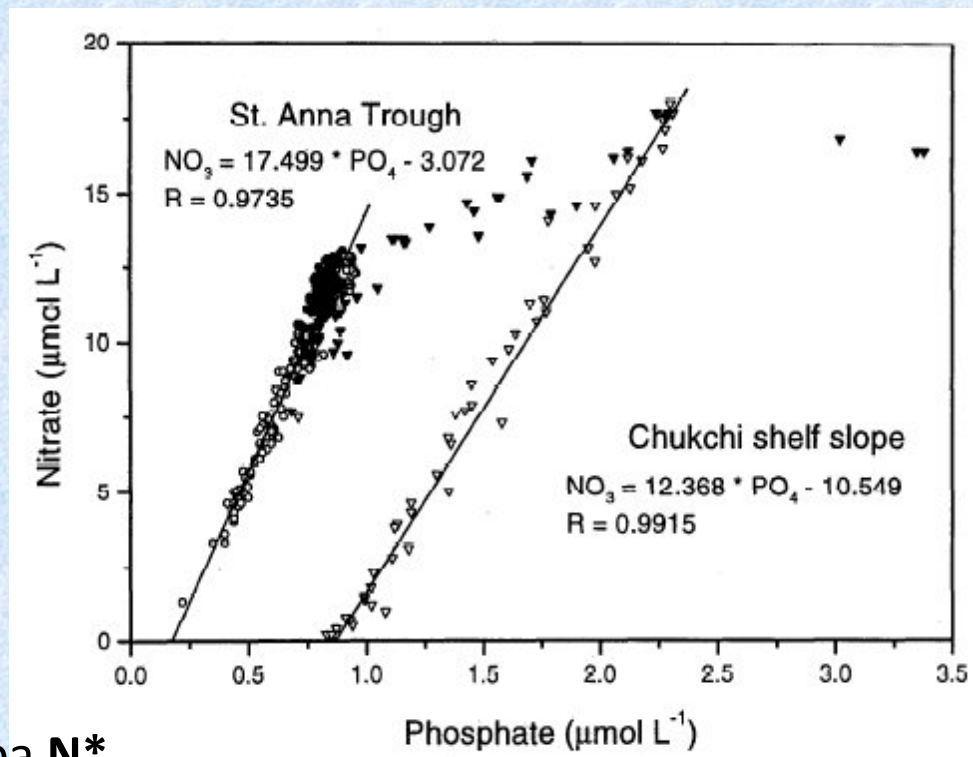
Русанов, Яковлев, Буйневич. Гидрохимический режим Северного Ледовитого океана. 1979

Отличительные признаки ТВМ

Высокие концентрации биогенных веществ (кремния, **минерального фосфора** и **нитратного азота**)

В тихоокеанских водах – **недостаток** нитратов относительно фосфатов

- Из-за **денитрификации** на шельфе Берингова и Чукотского морей



Отрицательные величины параметра N^*

$$N^* = 0.87([\text{NO}_3] - 16[\text{PO}_4] + 2.9)$$

[*Gruber, Sarmiento, 1997*]

Высокие значения параметра NO

$$\text{NO} = 9[\text{NO}_3] + [\text{O}_2] \quad [\text{Broecker, 1974}]$$

Водные массы Арктического галоклина

Тихоокеанские воды относятся к водам **верхнего галоклина**

Поверхностный слой

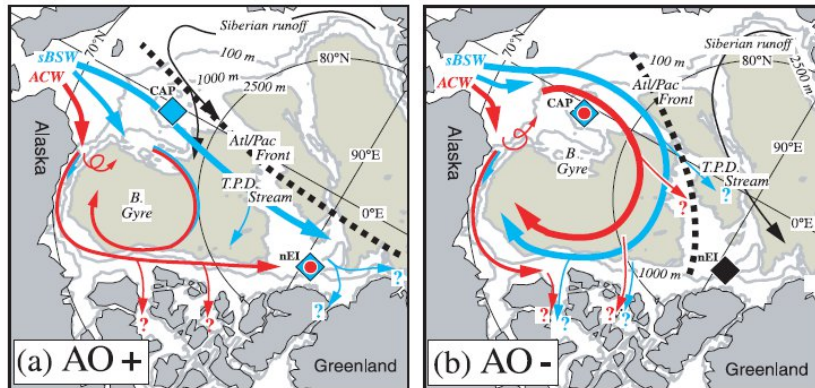
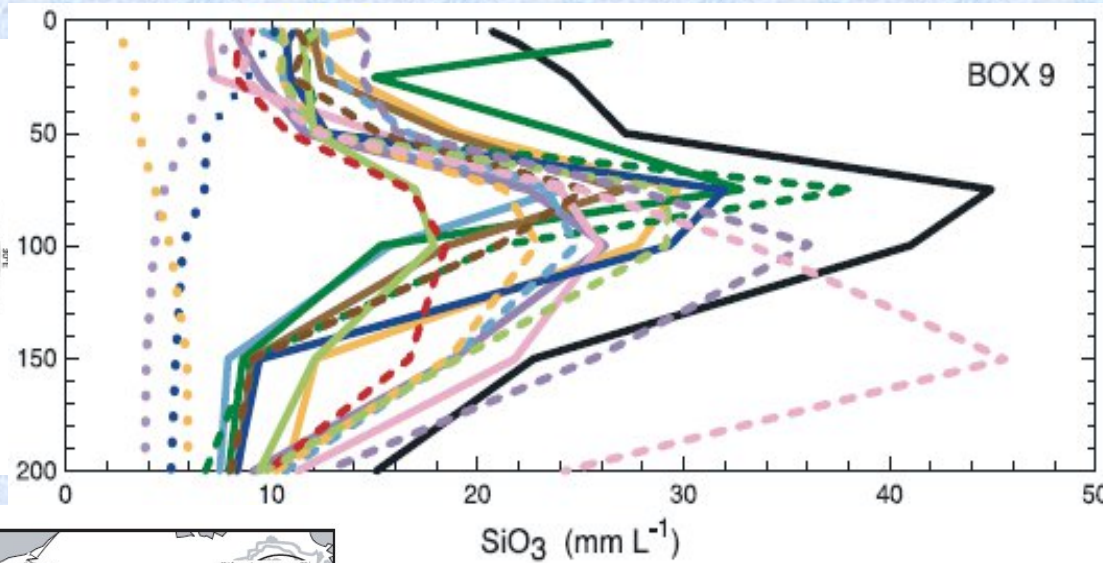
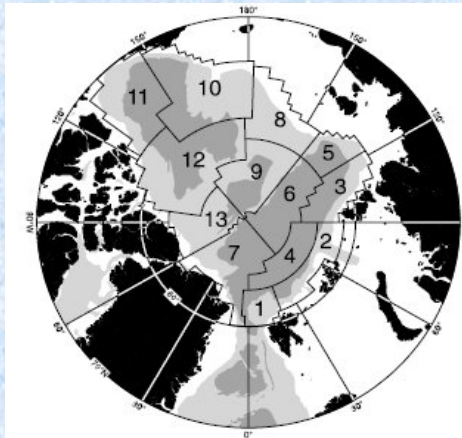
Гало клин	Верхний (тихоокеанский) $31 < S < 34$	Летняя Тихоокеанская ВМ (локальный максимум Т)	Восточная (аляскинская прибрежная вода)	$31 < S < 32$ Относительно мало биогенов и много кислорода
			Западная (летняя берингоморская)	$32 < S < 33$
		Зимняя Тихоокеанская ВМ (минимум Т)		
	Нижний (атлантический) min Т	Фрамовская Галоклинная ВМ	(конвективный)	$34 < S < 34.3$
		Баренцевоморская ГВМ	(адвективный)	$S \sim 34.5$

Атлантические ВМ (фрамовская, баренцевоморская, глубинная)

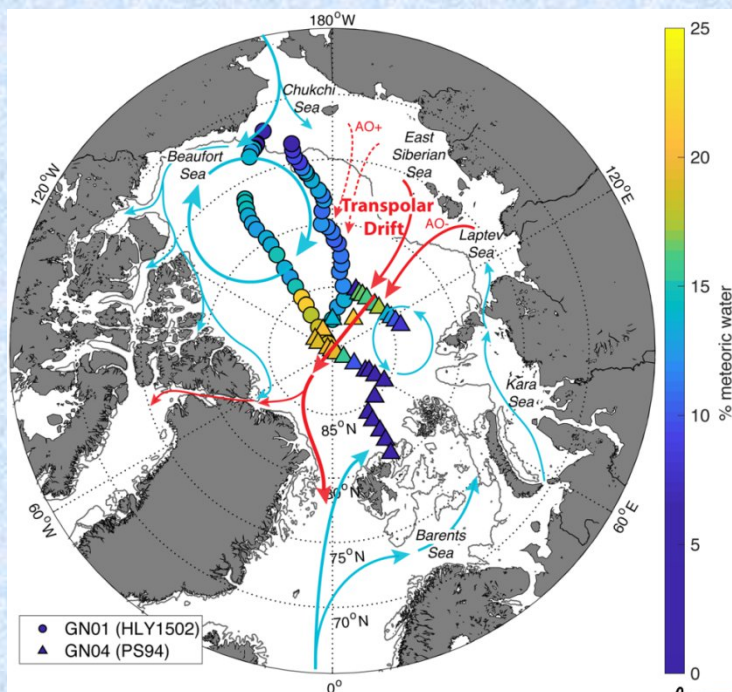
Фронтальная зона (ФЗ) распространения тихоокеанских вод -

- пограничная область между водами атлантического и тихоокеанского галоклина

Межгодовая изменчивость положения фронтальной зоны тихоокеанских вод



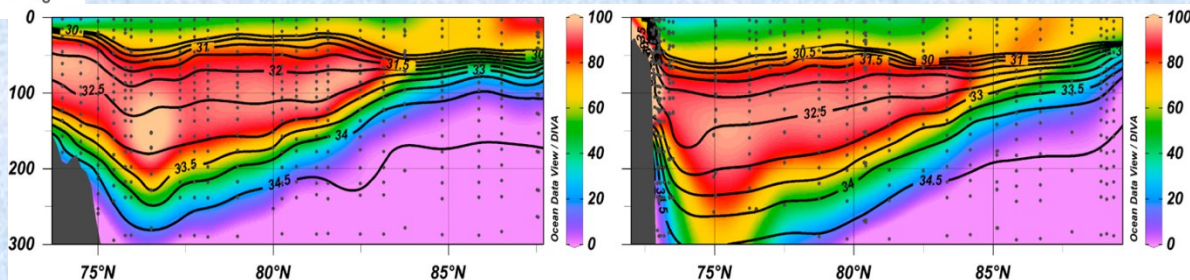
Положение фронтальной зоны и направление переноса ТВМ зависят от особенностей крупномасштабной атмосферной циркуляции



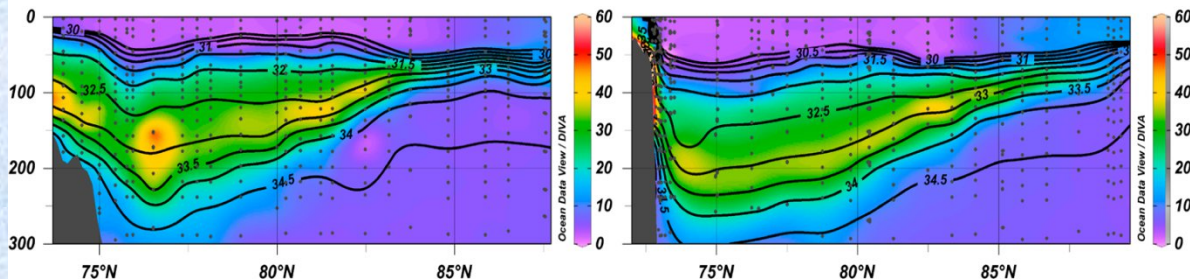
В формирование поверхностного центральной части Арктического бассейна вносят вклад как тихоокеанские воды, так материкового происхождения

Charette, M. A., et al. (2020).

% ТВМ



Кремний

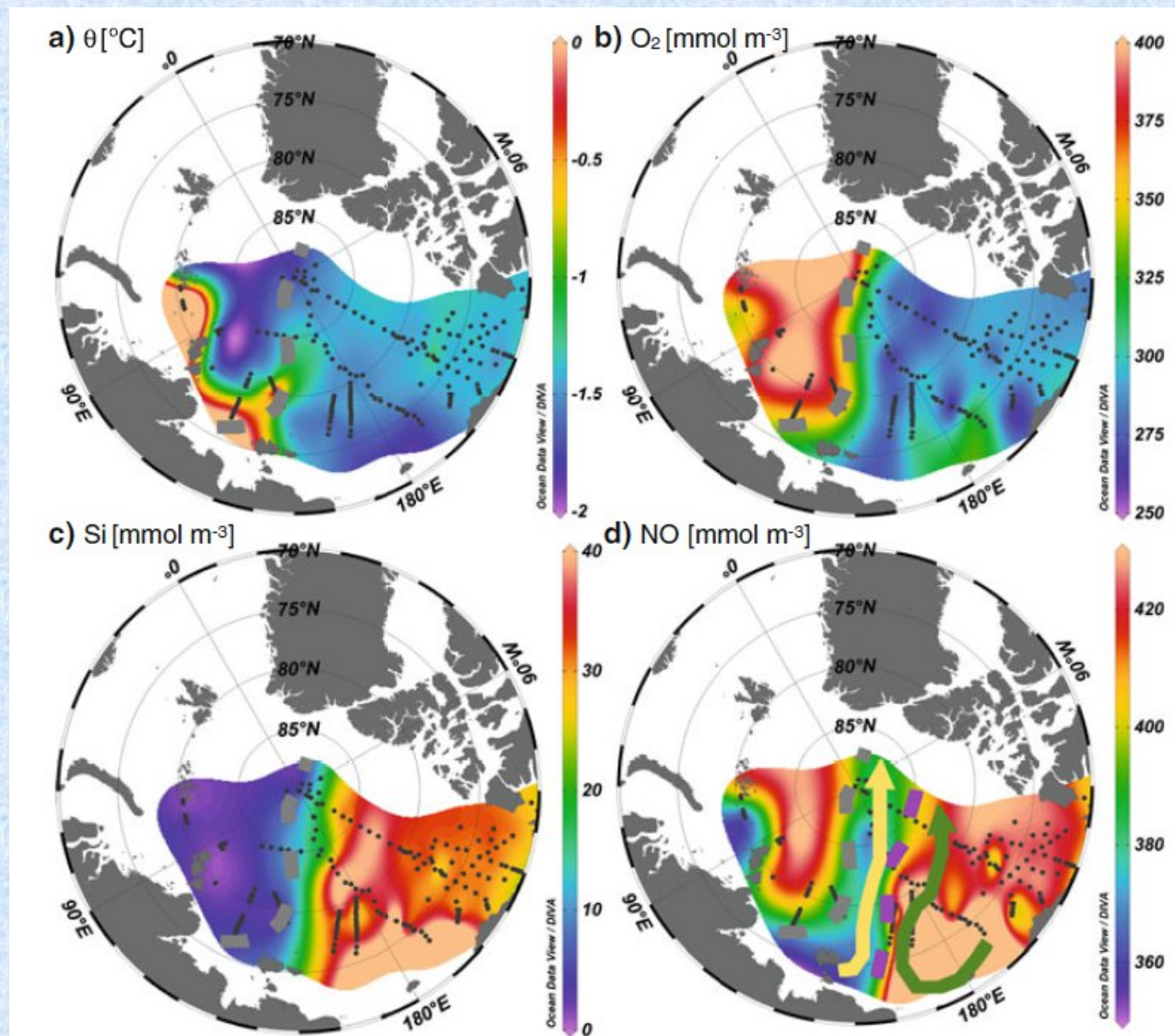


Alkire M, 2019

Различные другие модификации шельфовых вод также могут влиять на состав водных масс галоклина.

И могут выделяться по различным критериям, например по низким значения NO

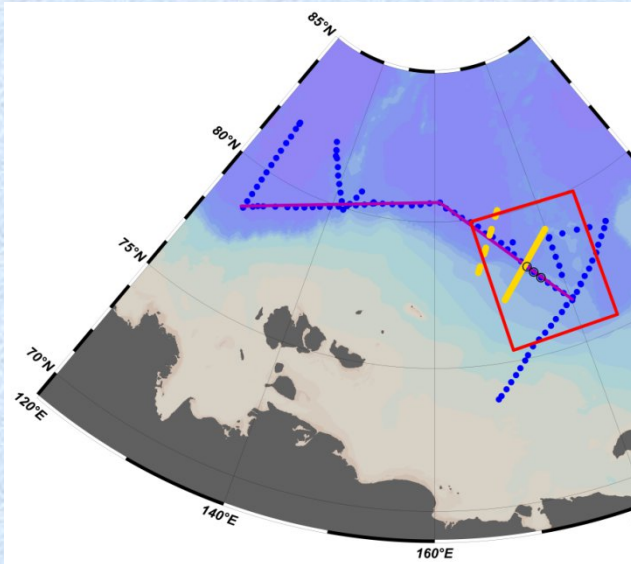
Во фронтальной зоне ТВМ может быть выделено несколько фронтальных разделов, например по градиенту кремния и NO



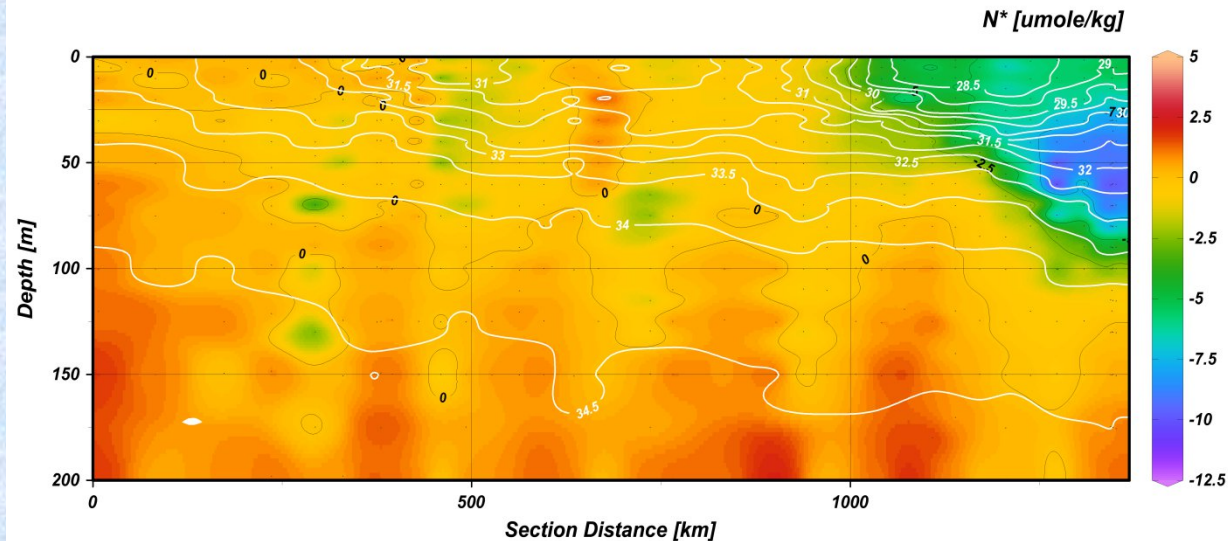
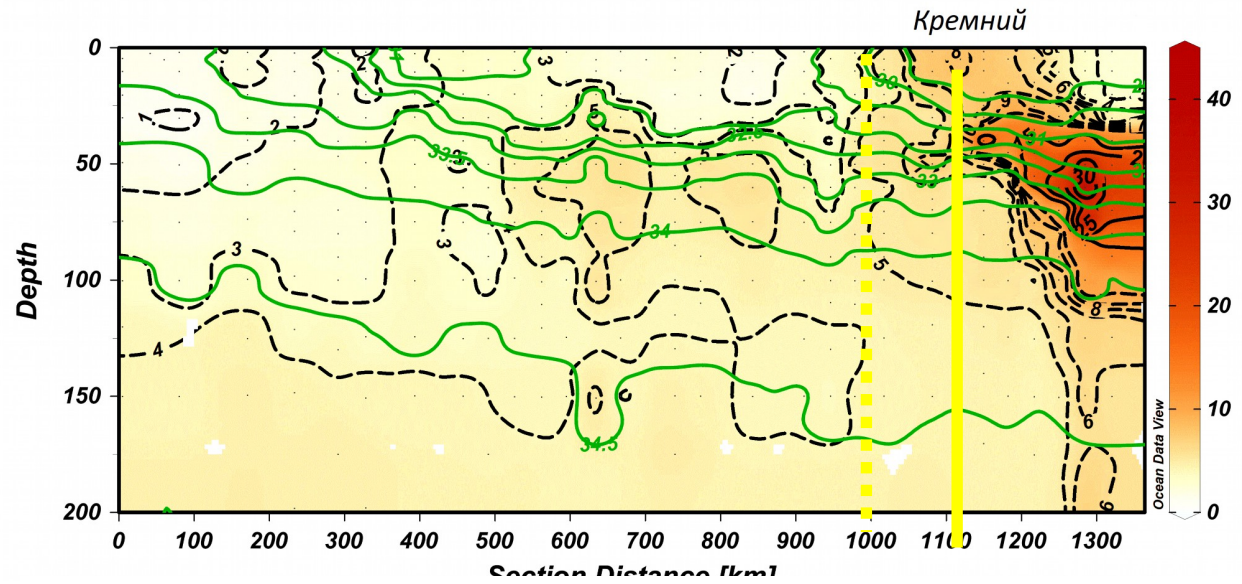
Распределение потенциальной температуры, растворенного кислорода, кремния и NO на изогалине 32,8 в 2015 г

Alkire M, Rember R, Polyakov I (2021) The Pacific-Atlantic front in the East Siberian Sea of the Arctic Ocean. In: Belkin IM (ed) Chemical oceanography of frontal zones.

NABOS-2021

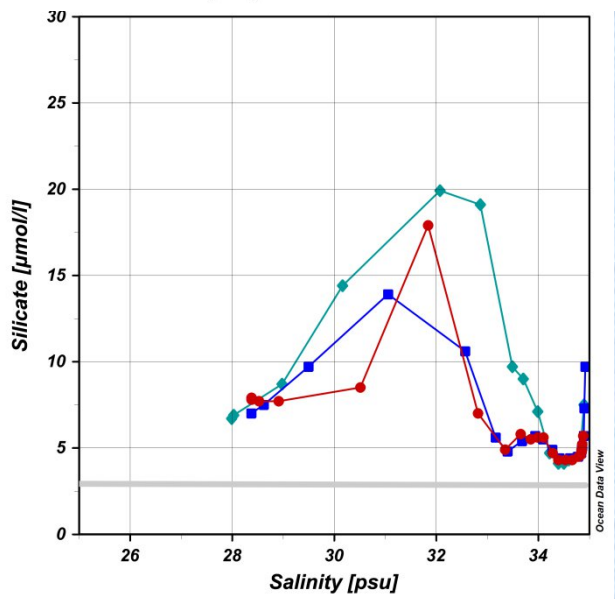
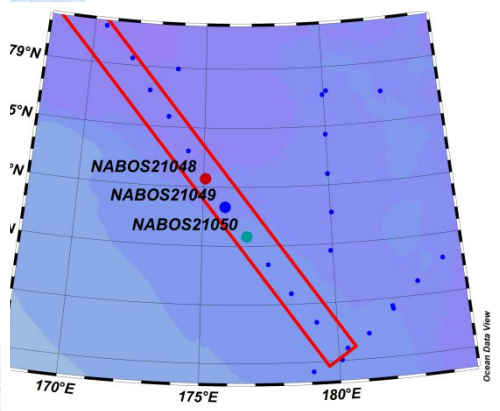
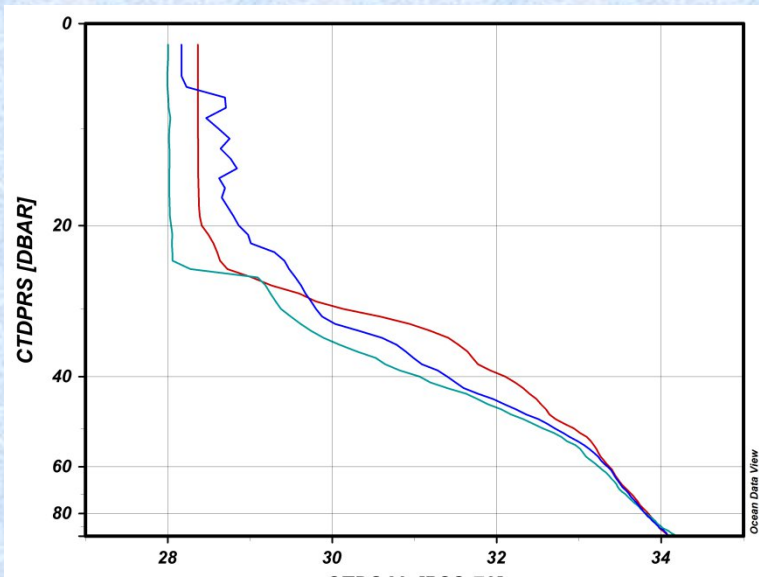
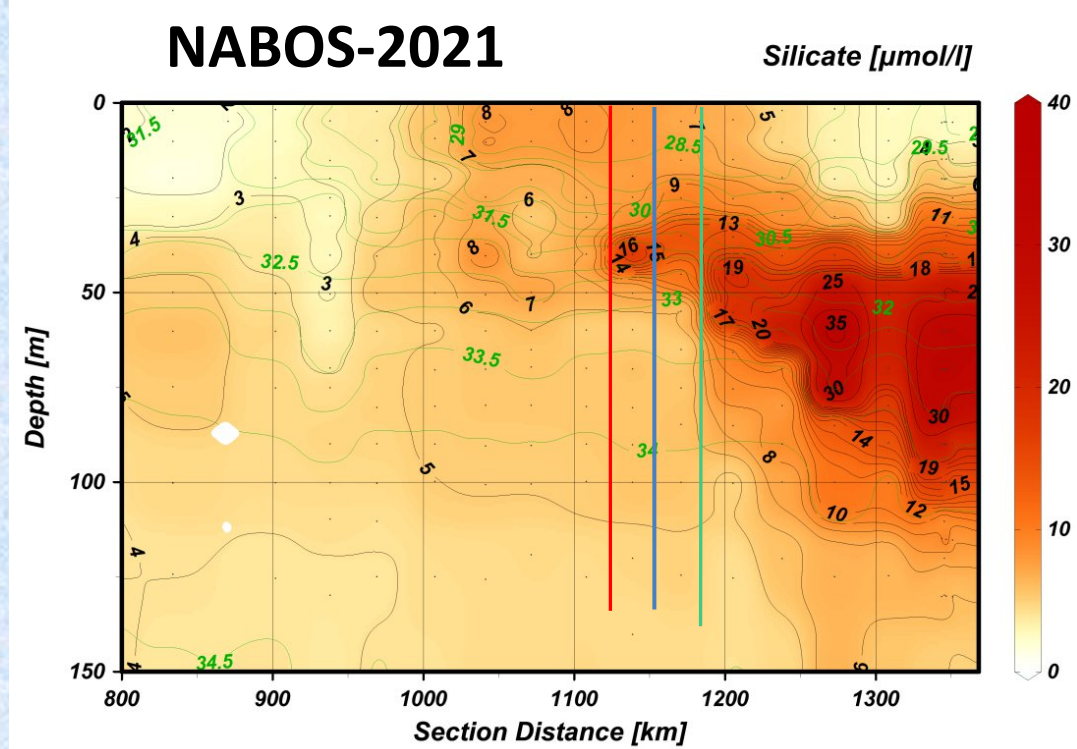


Выделяются две границы:
в галоклине (по максимуму кремния, фосфатов) и минимуму N^* (желтая сплошная линия) и зоны влияния тихоокеанских вод на характеристики галоклина и поверхностного слоя (по увеличению кремния)



Увеличение содержания кремния в поверхностном слое (до 8 мкм) в районе исчезновения подповерхностного максимума кремния (до 15- 20 мкм)

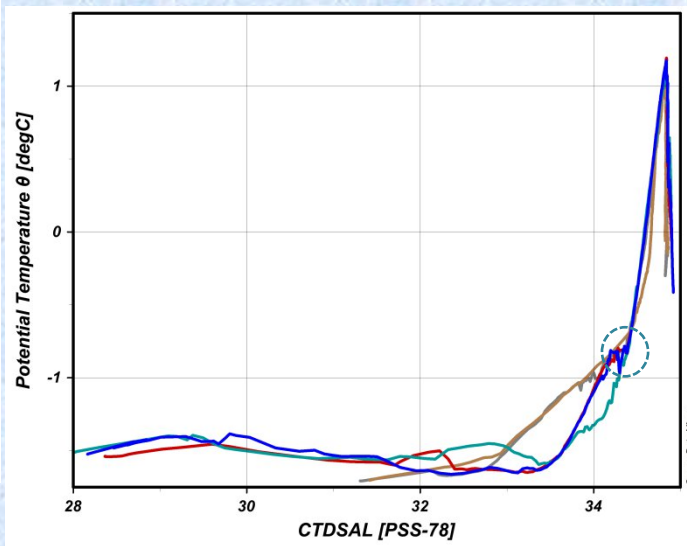
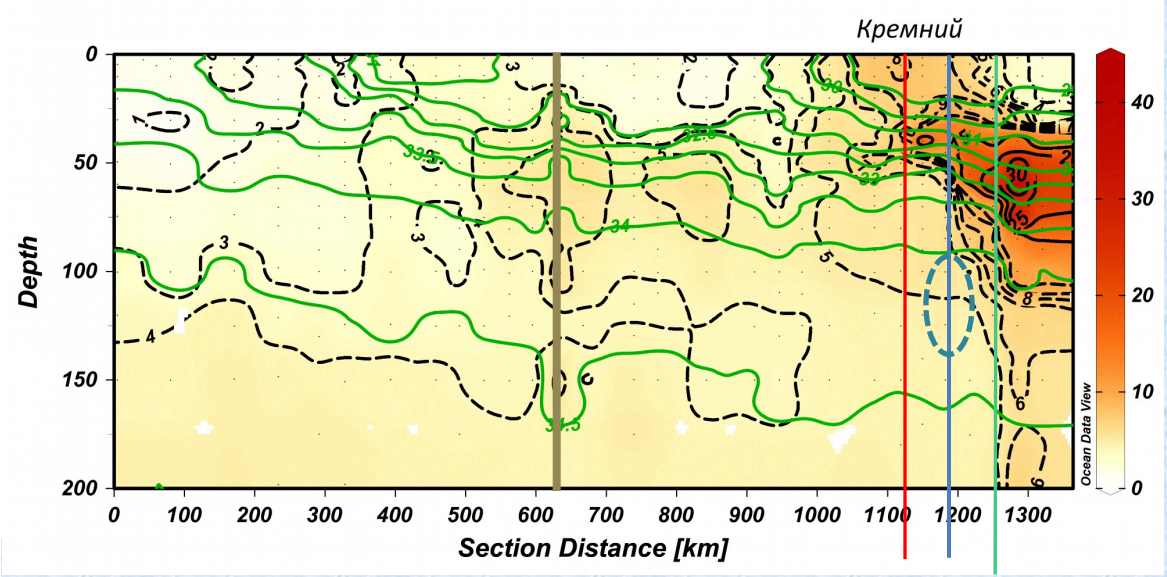
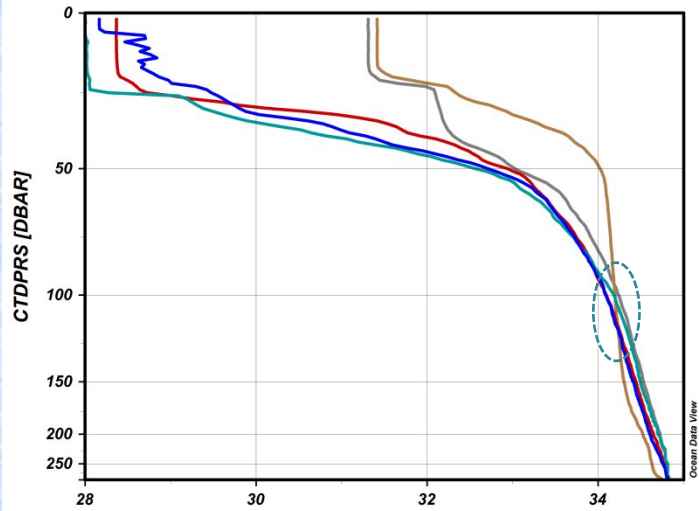
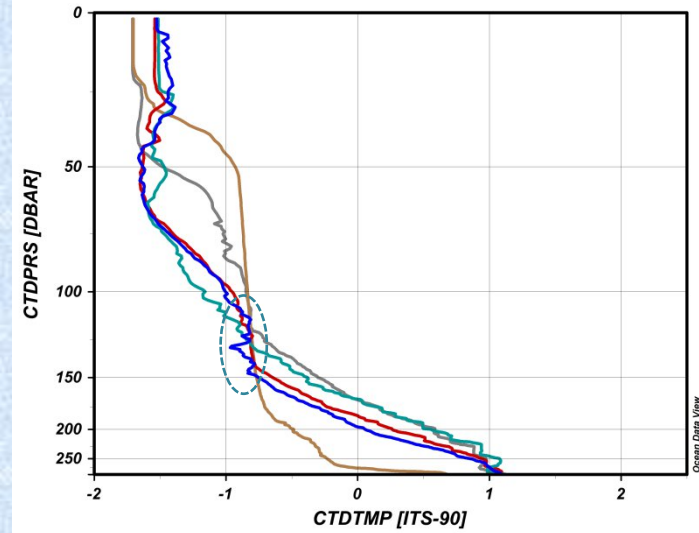
- Подъем ядра тихоокеанской водной массы к поверхности при приближении к фронтальной зоне (с 70 до 40 м).



Уменьшение вертикальных градиентов солености в этой зоне за счет выравнивания профиля

Максимум кремния - при $S \sim 32$

NABOS-2021

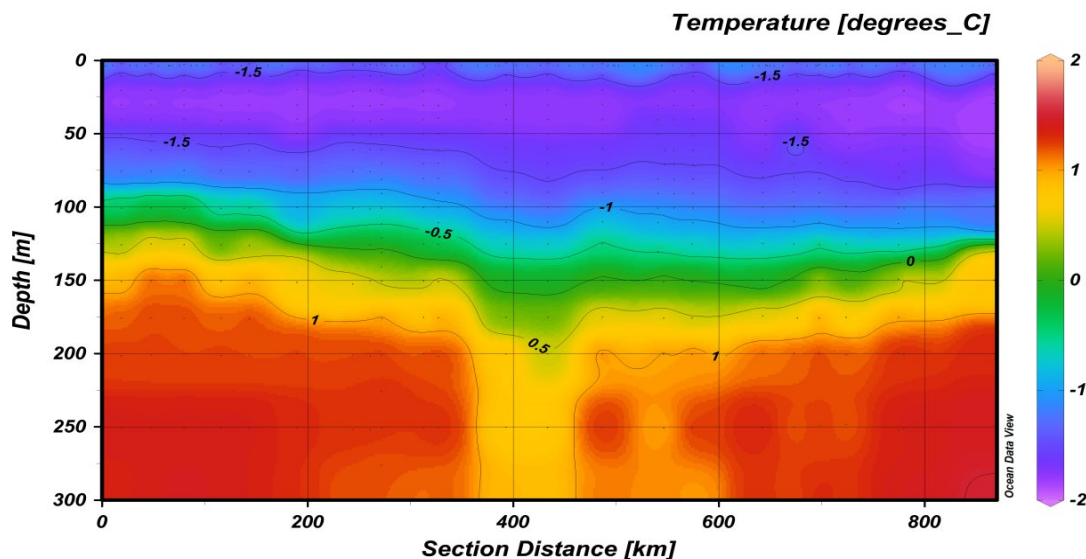
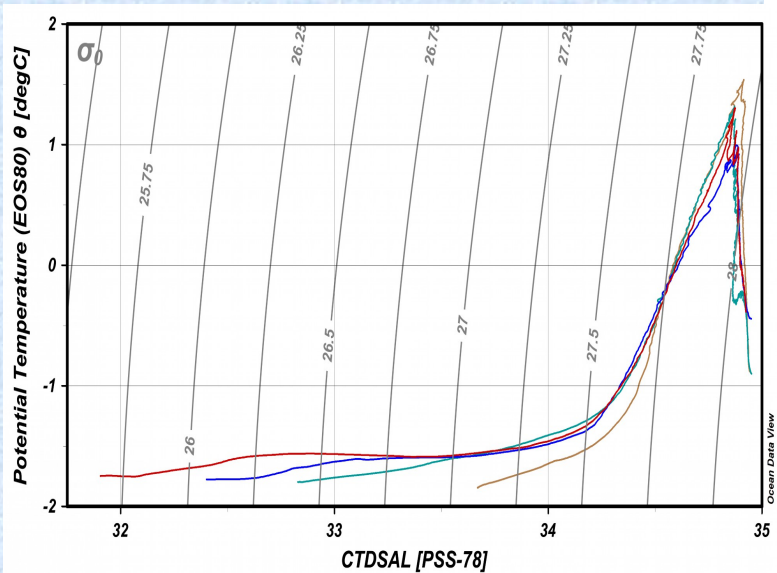
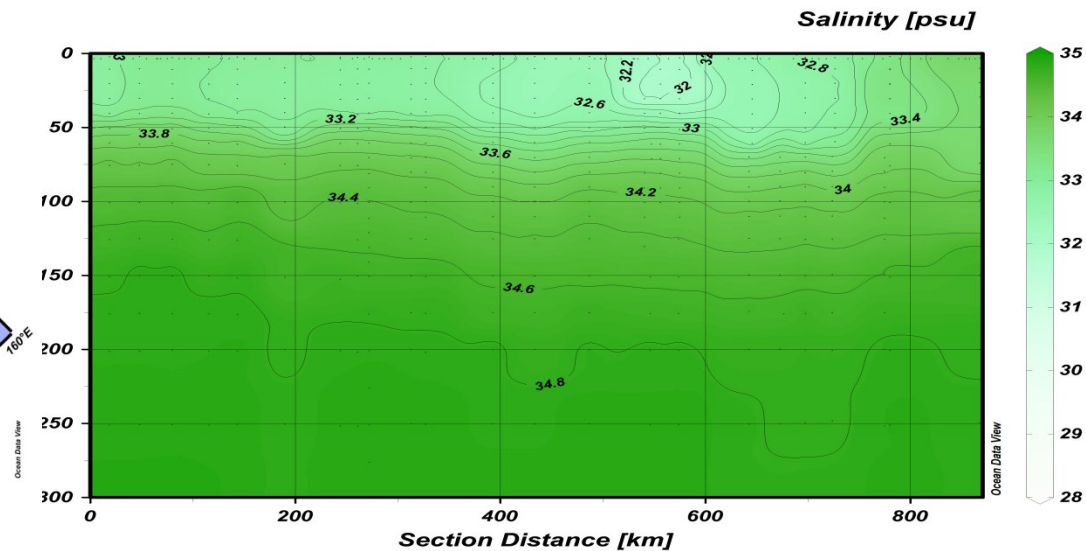
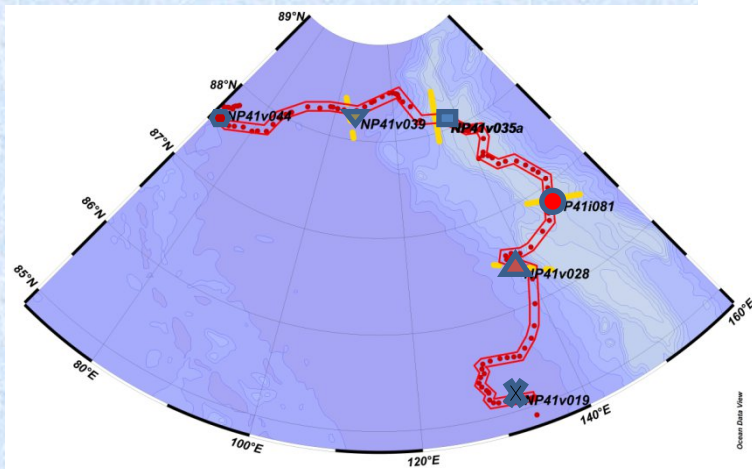


H = 55-170 м
T = -0,9 – (-)0,7
S = 34,0- 34,3 епс
Si = 5,3-5,8 мкМоль

Обнаруженная внутривикноклинная линза на расстоянии около 500 км от фронтальной зоны характеристики соответствующие воде на глубинах 100-150 м на внешней границе фронтальной зоны

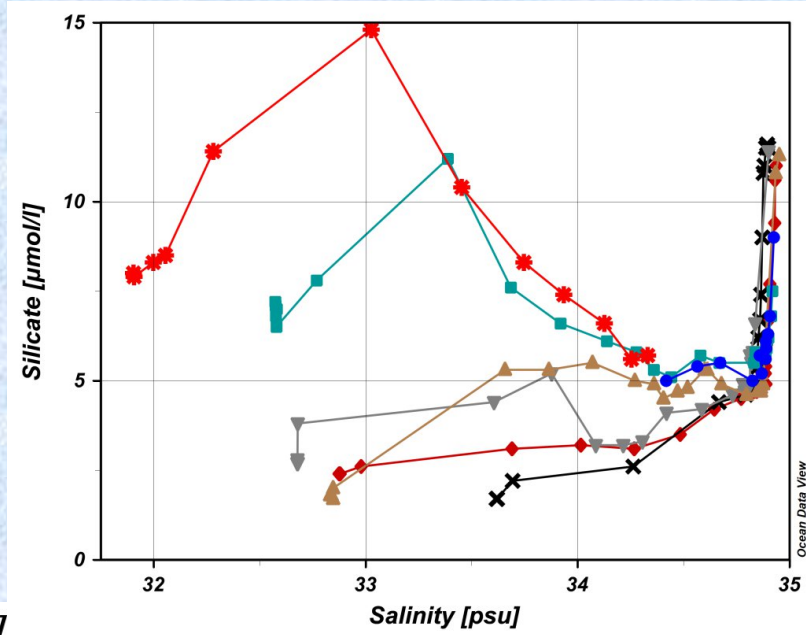
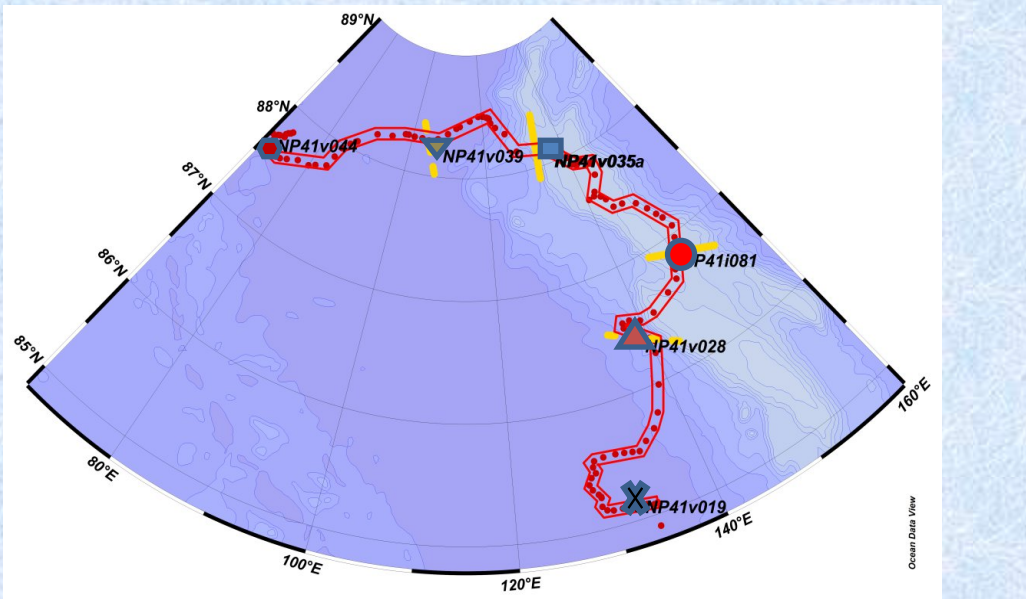
СП-41, ледостойкая платформа «Северный полюс», 2022-2023

ГГ (показан промежуток 01.01. – 8.03.2023)

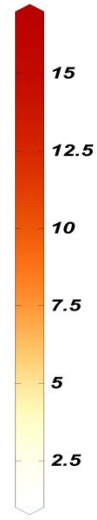
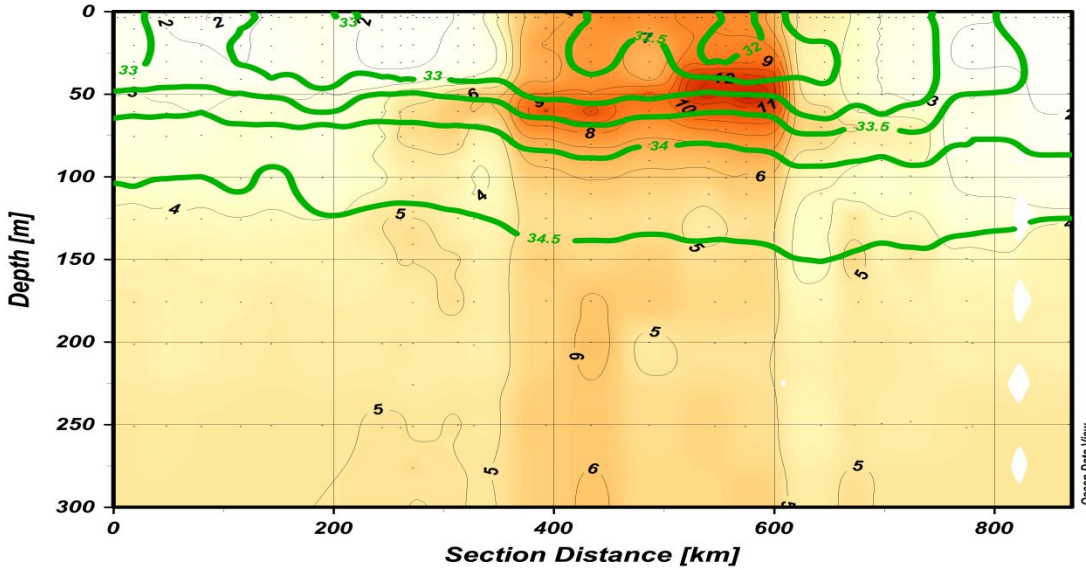


Над хребтом Ломоносова между 87 и 88 с.ш.

Была отмечена фронтальная зона выраженная в уменьшении солёности поверхностного слоя

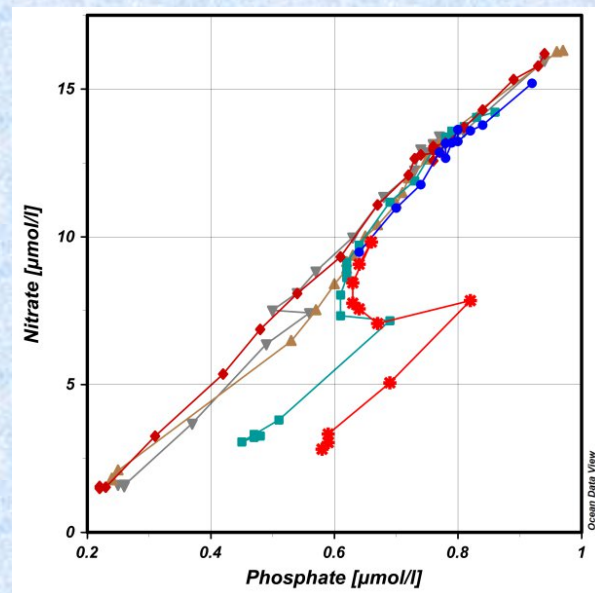
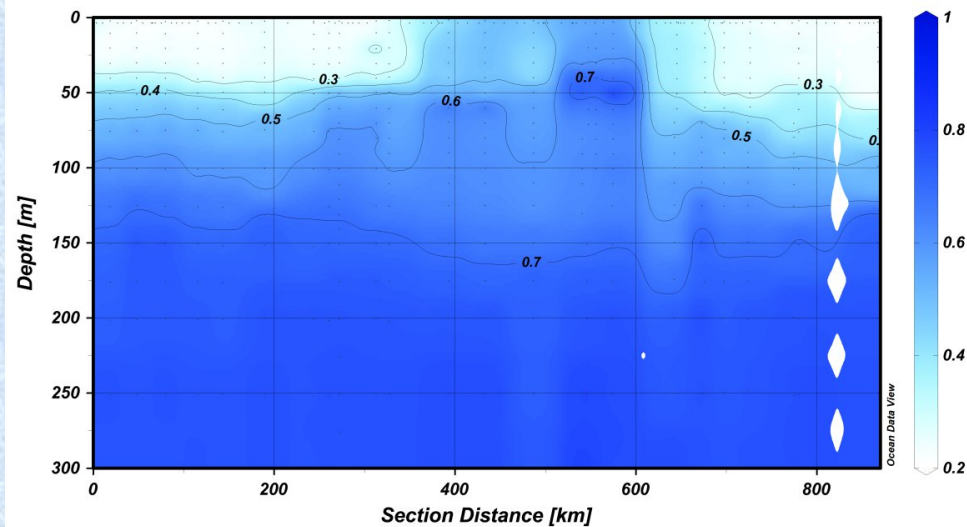
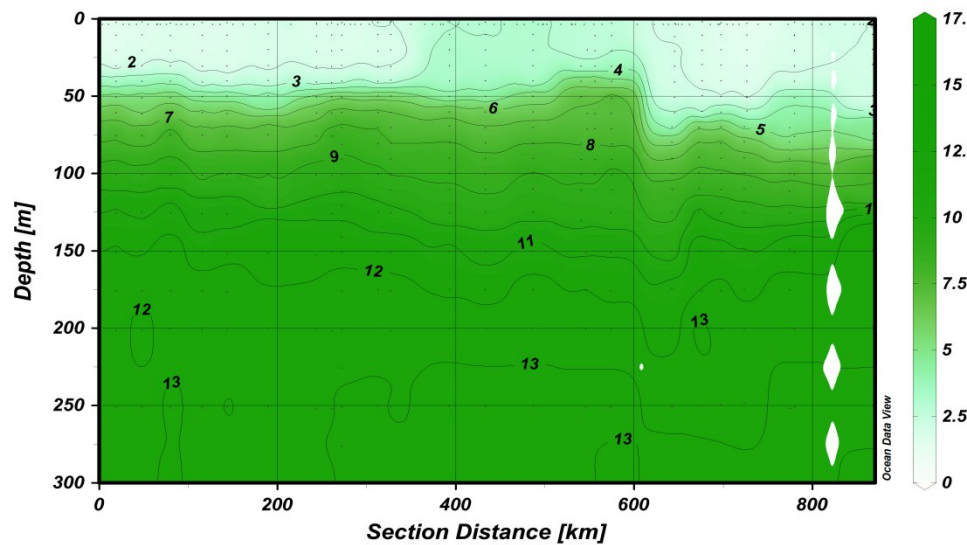
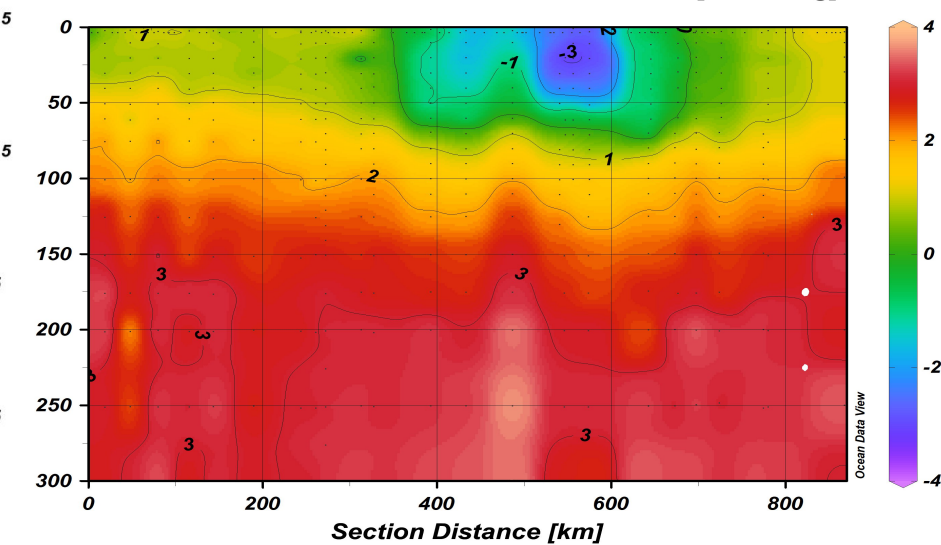


Silicate [$\mu\text{mol/l}$]



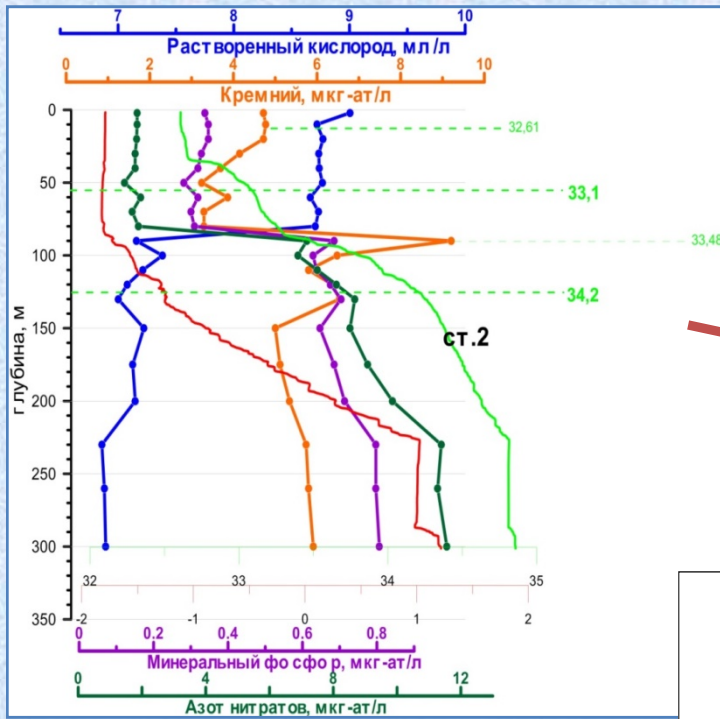
Подповерхностный максимум кремния - на 50 м (до 15 мкМ)
 На поверхности содержание кремния - до 8 мкМ
 Минимальная соленость на поверхности - 31.9 епс, что соответствует солености тихоокеанских вод

После исчезновения устойчивого максимума кремния влияние тихоокеанских вод в подповерхностных слоях может прослеживается в виде незначительного увеличения содержания кремния при соленостях нехарактерных для средней.

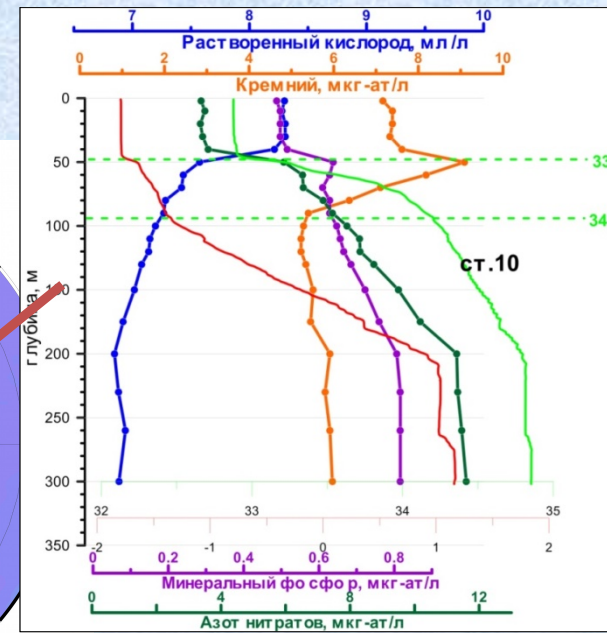
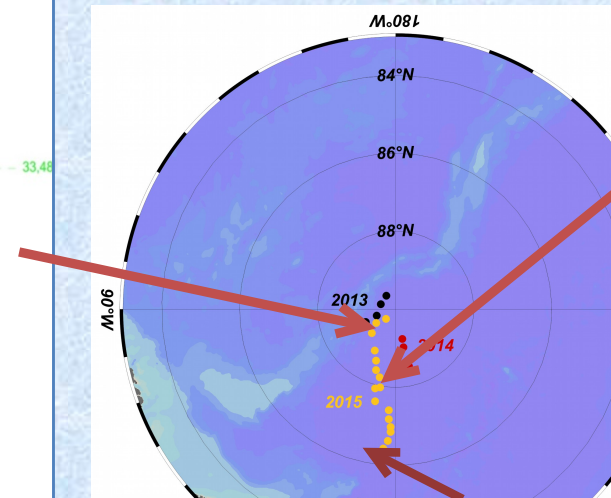
Phosphate [$\mu\text{mol/l}$]Nitrate [$\mu\text{mol/l}$] N^* [$\mu\text{mole/kg}$]

В поверхностном слое отмечается увеличение как минерального фосфора так и нитратов, хотя минимум N^* свидетельствует о недостатке нитратов относительно фосфатов

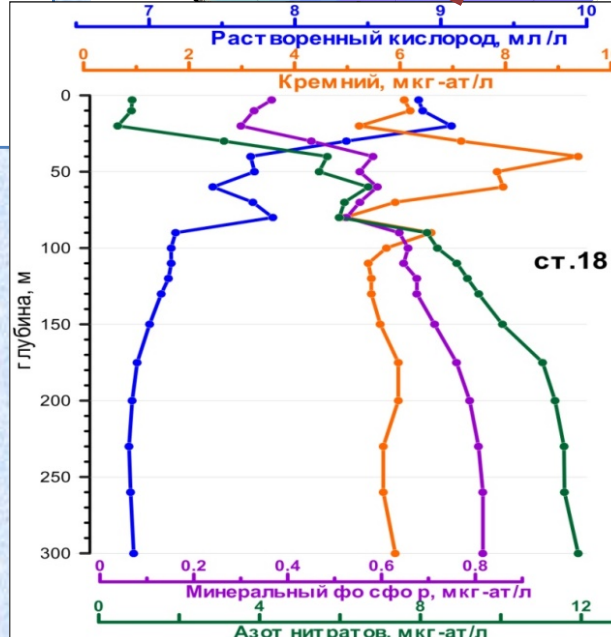
СП-2015



появление максимумов кремния при солёности, нехарактерной для ядра тихоокеанских вод



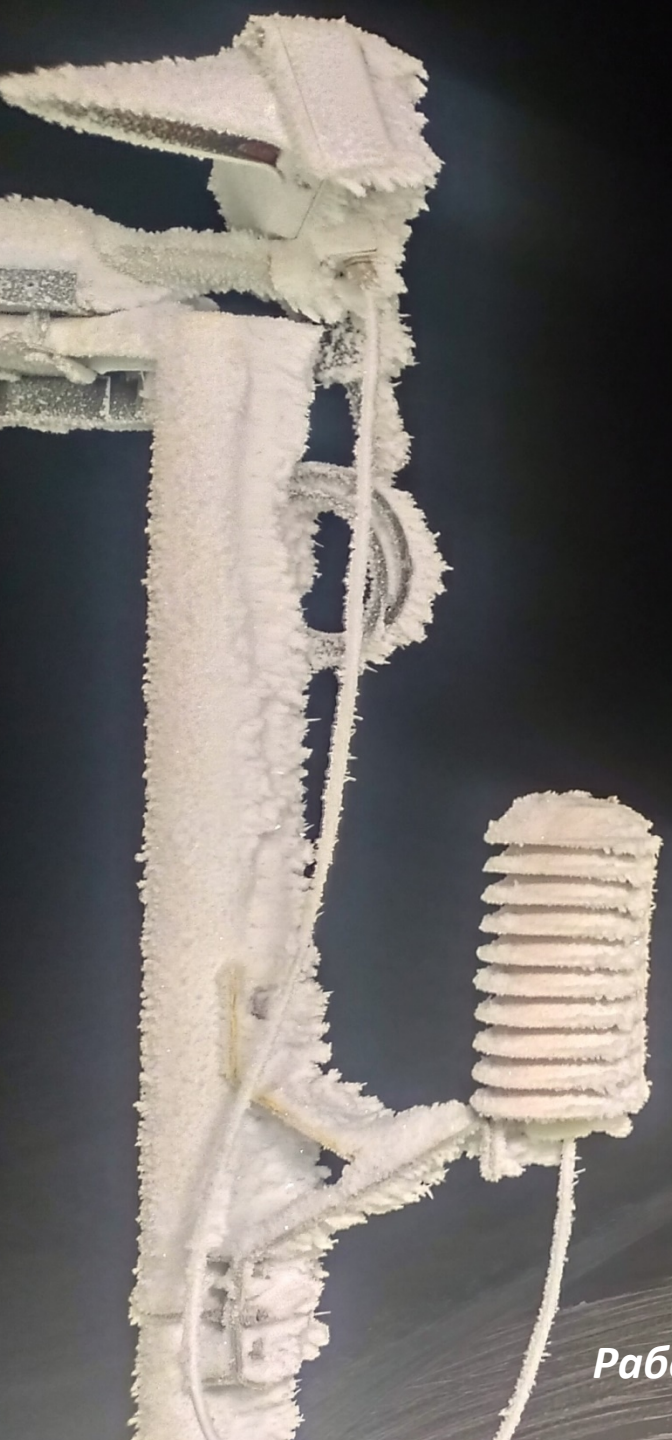
выход тихоокеанских вод к поверхности - увеличение содержания биогенных элементов в поверхностном слое



Дрейф СП-2015 происходил в районе фронтальной зоны распространения тихоокеанских вод

Выводы

- Величина солёности, соответствующая слою с максимумом биогенных веществ, характеризующего тихоокеанские воды в районе фронтальной зоны их распространения, может быть как меньше, так и больше средней (33 епс);
- В районе исчезновения максимума биогенных веществ в слое галоклина отмечается увеличение их содержания, в первую очередь, кремния, в поверхностном слое, при одновременном уменьшении солёности и вертикальных ее градиентов за счет выравнивания вертикального профиля, что подтверждает влияние тихоокеанских вод на характеристики поверхностного слоя;
- Недостаток нитратов относительно фосфатов (минимум N^*), которым характеризуются тихоокеанские воды, в этом районе также отмечается, как в слое верхнего галоклина, так и на поверхности, что подтверждает их смешение друг с другом;
- Во фронтальной зоне распространения тихоокеанских вод можно выделить две границы: области распространения тихоокеанских вод в галоклине при характерных для них величинах солёности и зоны влияния тихоокеанских вод на характеристики галоклина и поверхностного слоя при более высоких или низких величинах солёности.
- На фронтальной зоне генерируются внутривихревые линзы, переносящие характеристики на сотни километров в слое нижнего галоклина



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Авторы благодарят всех участников океанологических, гидрохимических отрядов и руководителей экспедиций Nabos-2021, СП-41, СП-2015

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 24-17-00041