



Всероссийский научно исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. академика И.С. Грамберга

**T. Matveeva, A.A. Krylov, E.A. Logvina
(VNIIOkeangeologia, St. Petersburg)**

Gas hydrates in off-shore permafrost: the problem of detection and study

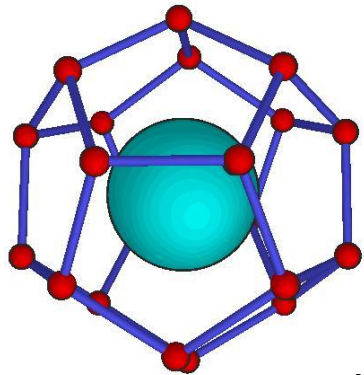
**Криогенные газовые гидраты в субмаринной мерзлоте:
проблемы обнаружения и изучения**

Т.В. Матвеева, А.А. Крылов, Е.А. Логвина

Лаборатория нетрадиционных источников углеводородов



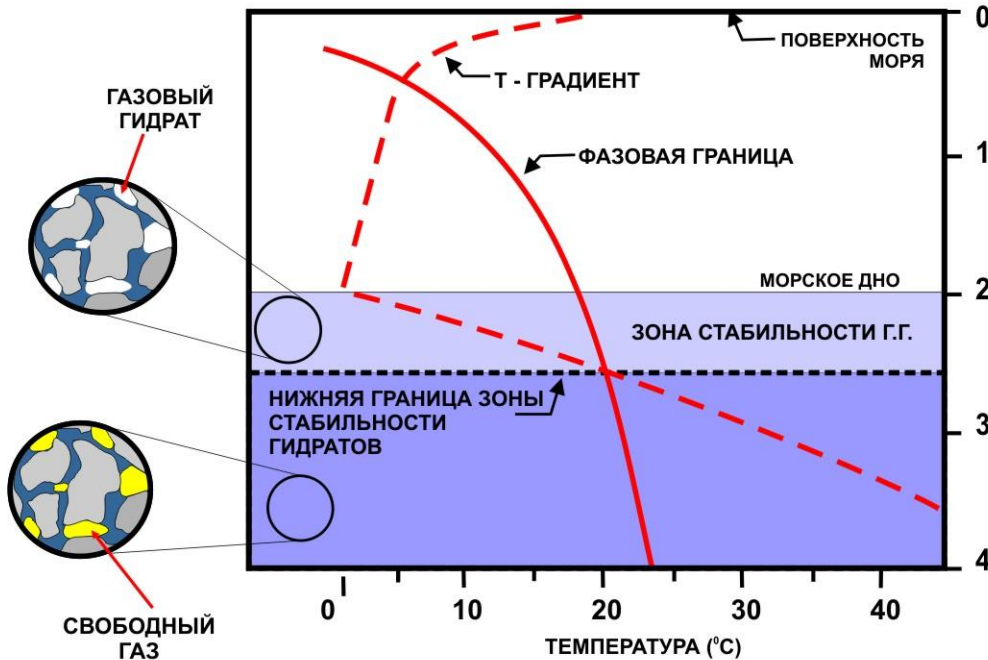
Природные газовые гидраты



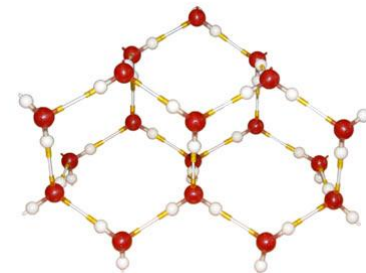
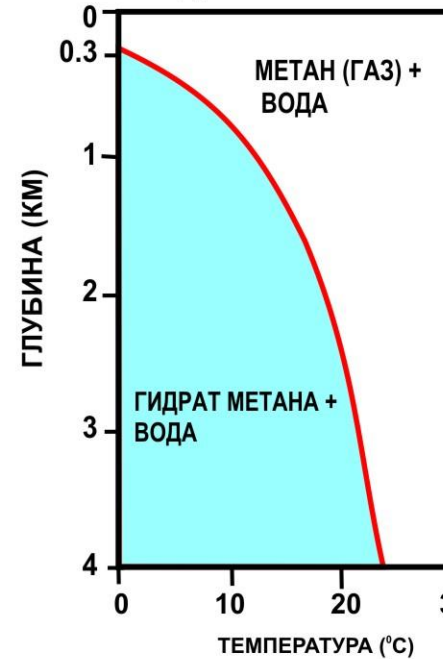
Зона стабильности газовых гидратов (ЗСГГ)



УСЛОВИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ

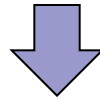


КРИВАЯ СТАБИЛЬНОСТИ ГИДРАТОВ МЕТАНА



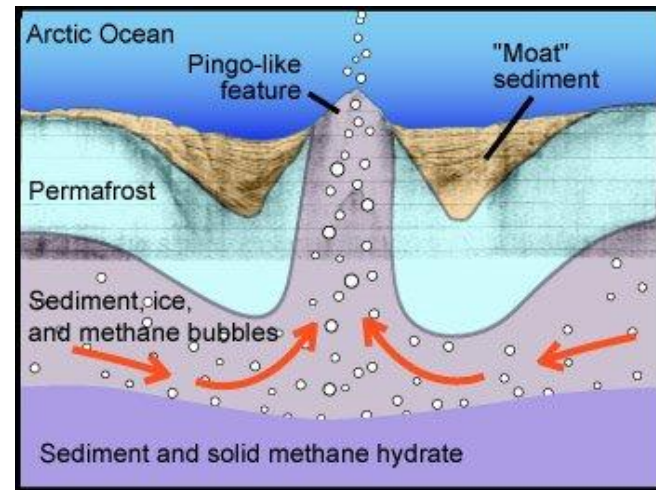
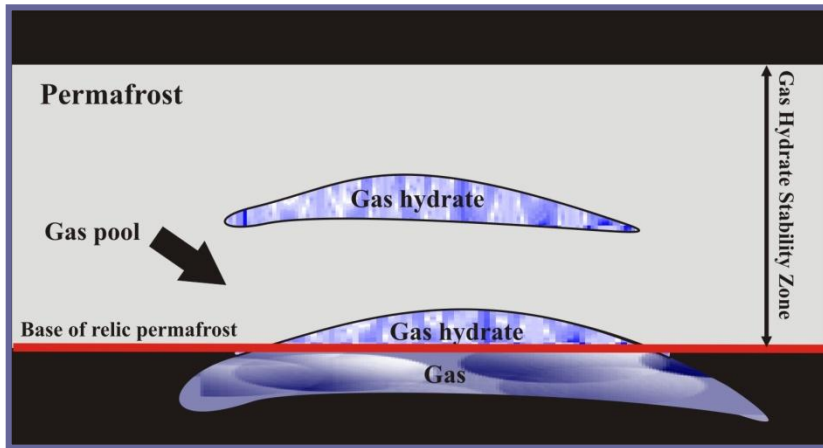
Образование криогенных скоплений газовых гидратов

- при экзогенном охлаждении недр в ходе многолетнего промерзания

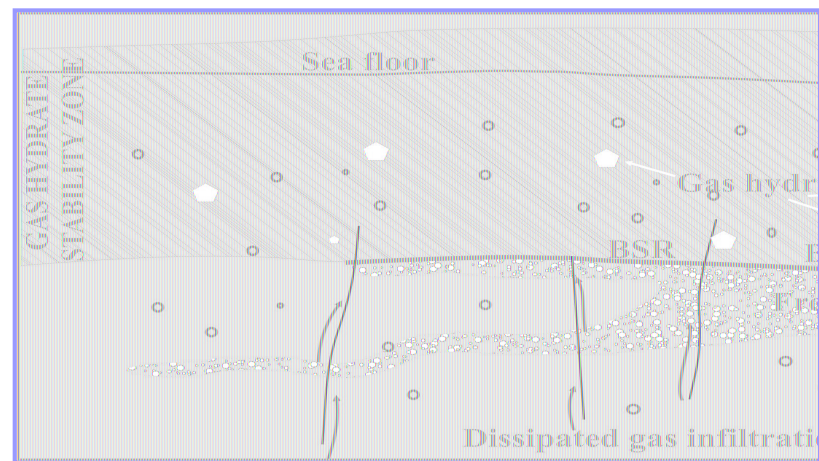
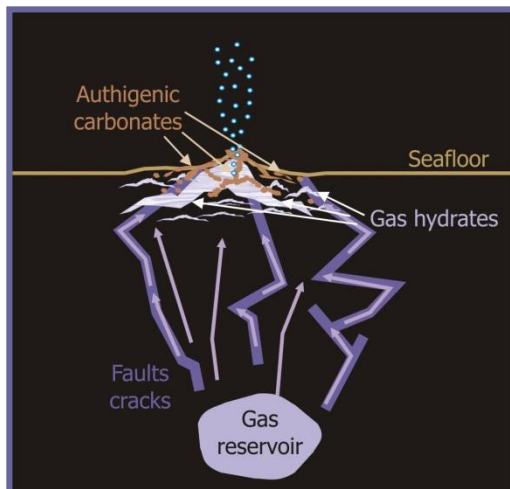


- за счет трансформации уже существовавших залежей газа, часть которого может переходить в форму гидратов (при достаточном количестве реакционноспособной воды)
- реликтовые, находящиеся вне современной зоны стабильности, в пределах субмаринной мерзлой зоны
- реликтовые, находящиеся в пределах и современной зоны стабильности, и субмаринной мерзлой зоны
- в мерзлых породах из водорастворенного газа за счет эффекта самоконсервации
- в/под мерзлыми отложениями за счет создания необходимых давлений гидратообразования при промерзании газонасыщенных отложений

Криогенные гидраты в мерзлых отложениях



Фильтрогенные гидраты вне реликтовой мерзлоты гидраты в мерзлых отложениях



Общие закономерности и методика оценки газогидратоносности недр арктических акваторий

I. Термобарические условия:

- Оценки региональной изменчивости геотермического градиента (плотности теплового потока) на основе немногочисленных измерений, экстраполяции с суши и общих закономерностей;
- Сведения о глубине и температуре дна (ее временные вариации, среднегодовые значения) по данным гидрологических наблюдений;
- Сведения о субмаринной криолитозоне (распространенность, температура, мощность).

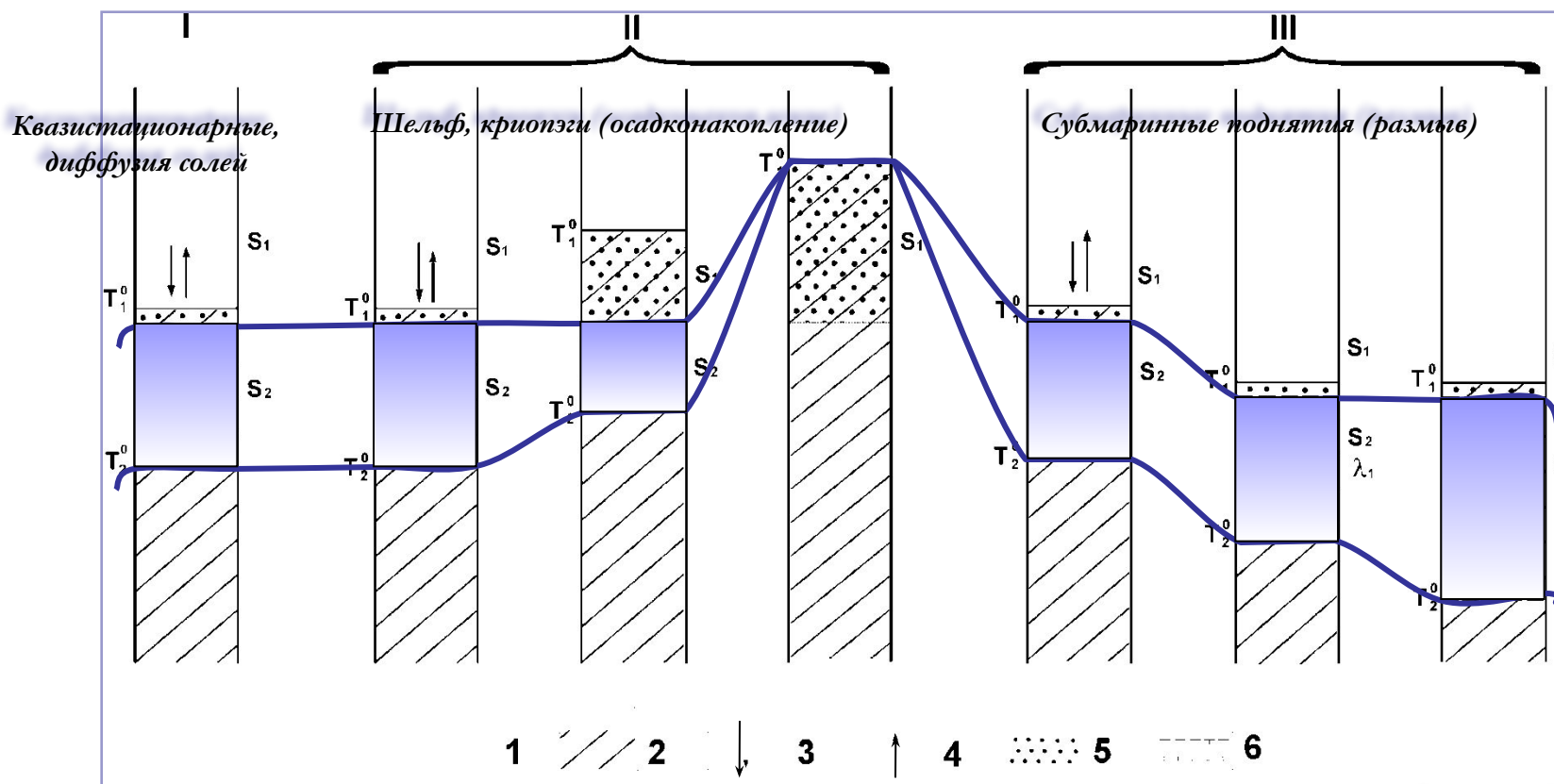
II. Геологические условия формирования газовых гидратов:

- Данные о составе и строении верхнего (до 1 км) слоя осадков;
- Содержание органического вещества в осадках; образование биогенных и термогенных углеводородных газов;
- Сведения о возможных потоках углеводородных газов в направлении дна и составе этого газа.

Варианты развития реликтовой субмаринной мерзлой зоны в зависимости от гидродинамических условий

I - седиментация = эрозия II - седиментация > эрозия

III - седиментация < эрозия



Шарбатян, 1974
Соловье и др., 1987

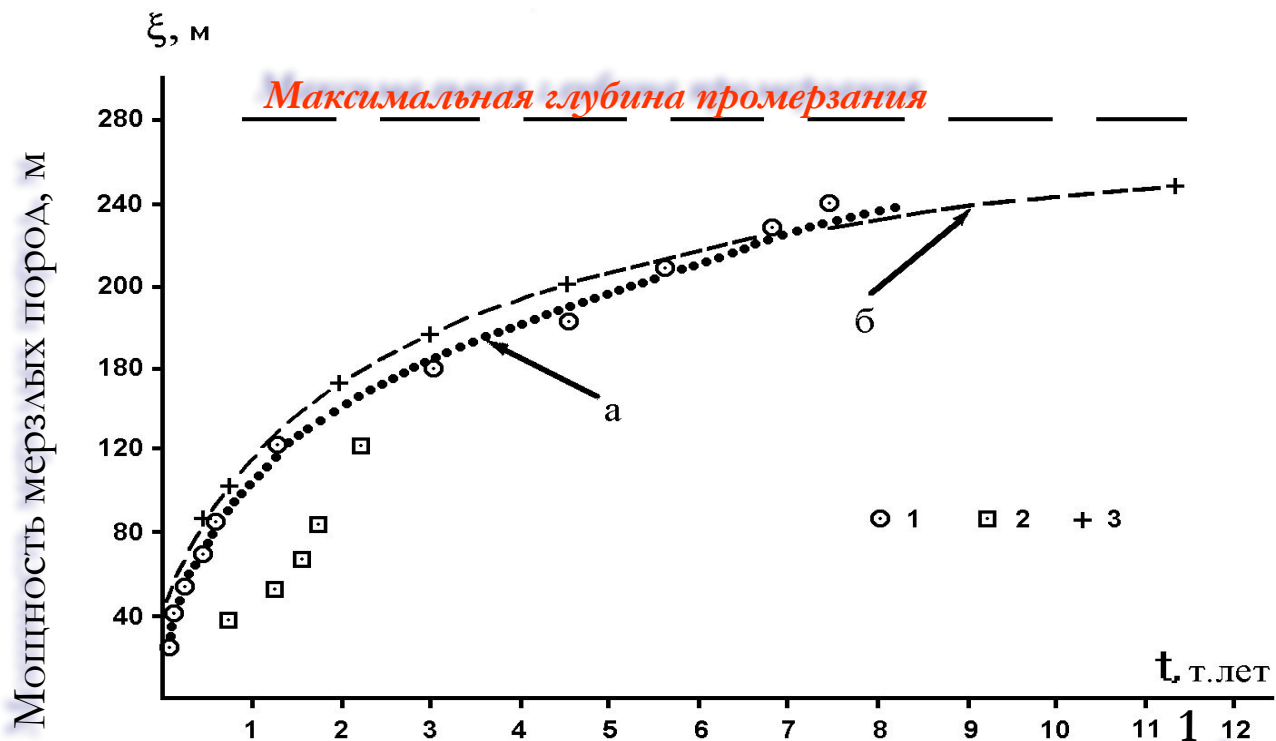
1 – морская вода; 2 – рыхлые отложения;

3 – вектор осадконакопления; 4 – вектор размыва; 5 – немерзлые отложения с отрицательной температурой; 6 – границы мерзлой зоны; T_1^0 – температура фазовых переходов при солёности, равной солёности морской воды

(S_1); T_2^0 – температура

фазовых переходов при солёности $S_2 < S_1$; λ – теплопроводность отложений ($\lambda_1 < \lambda_2$).

Возраст “ t ” мерзлых толщ различной мощности (a), определенный по абсолютным датировкам террас по результатам электроразведочных работ методом ВЭЗ, и теоретическая кривая промерзания

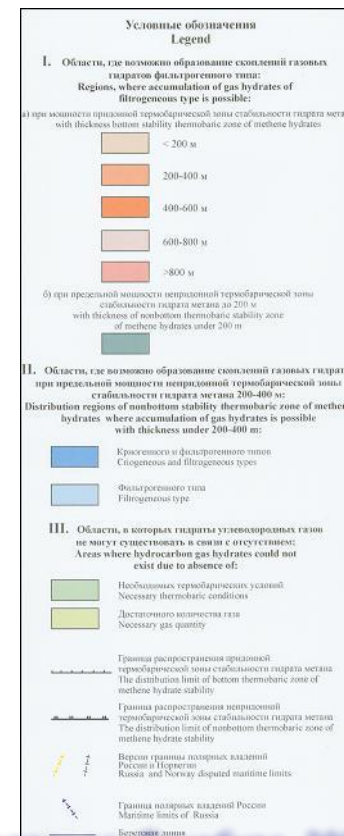
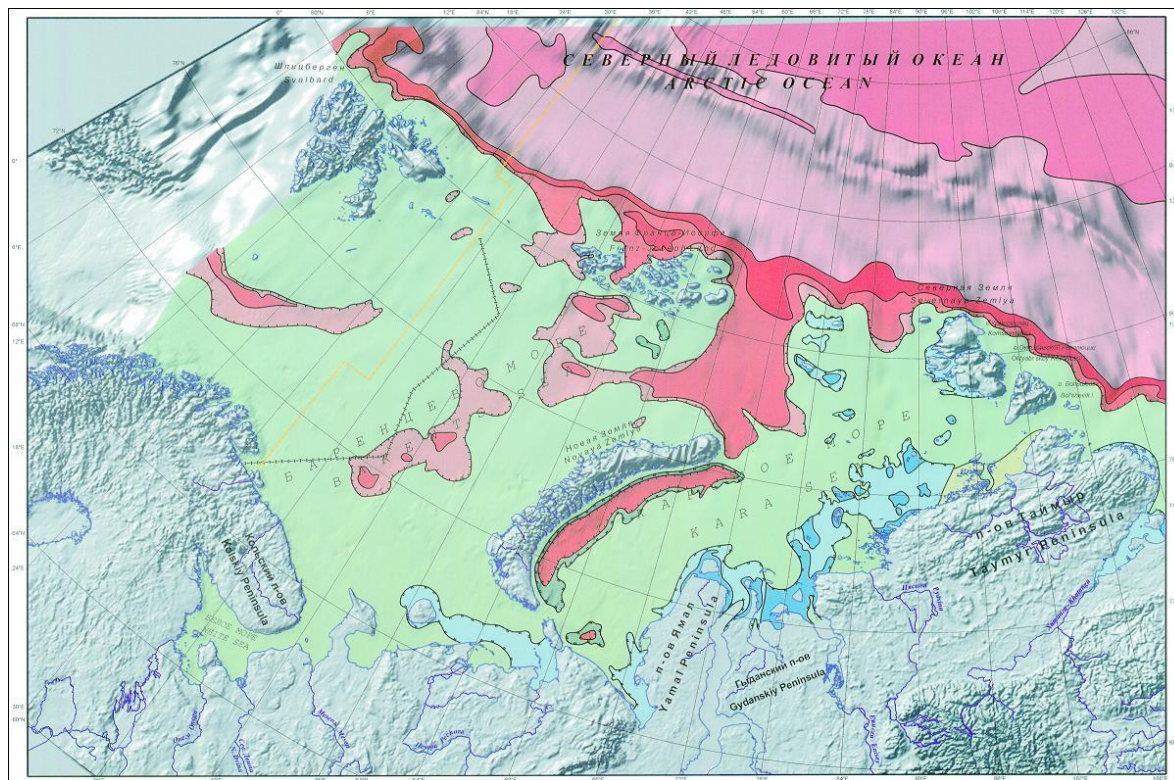


Акимов и др., 1975
Соловье и др., 1987

(б). 1 – минимальный абсолютный возраст;
2 – максимальный абсолютный возраст; 3 – расчетные точки теоретической кривой

возраст террас отражает время их субэдрального развития, он также характеризует и длительность времени промерзания

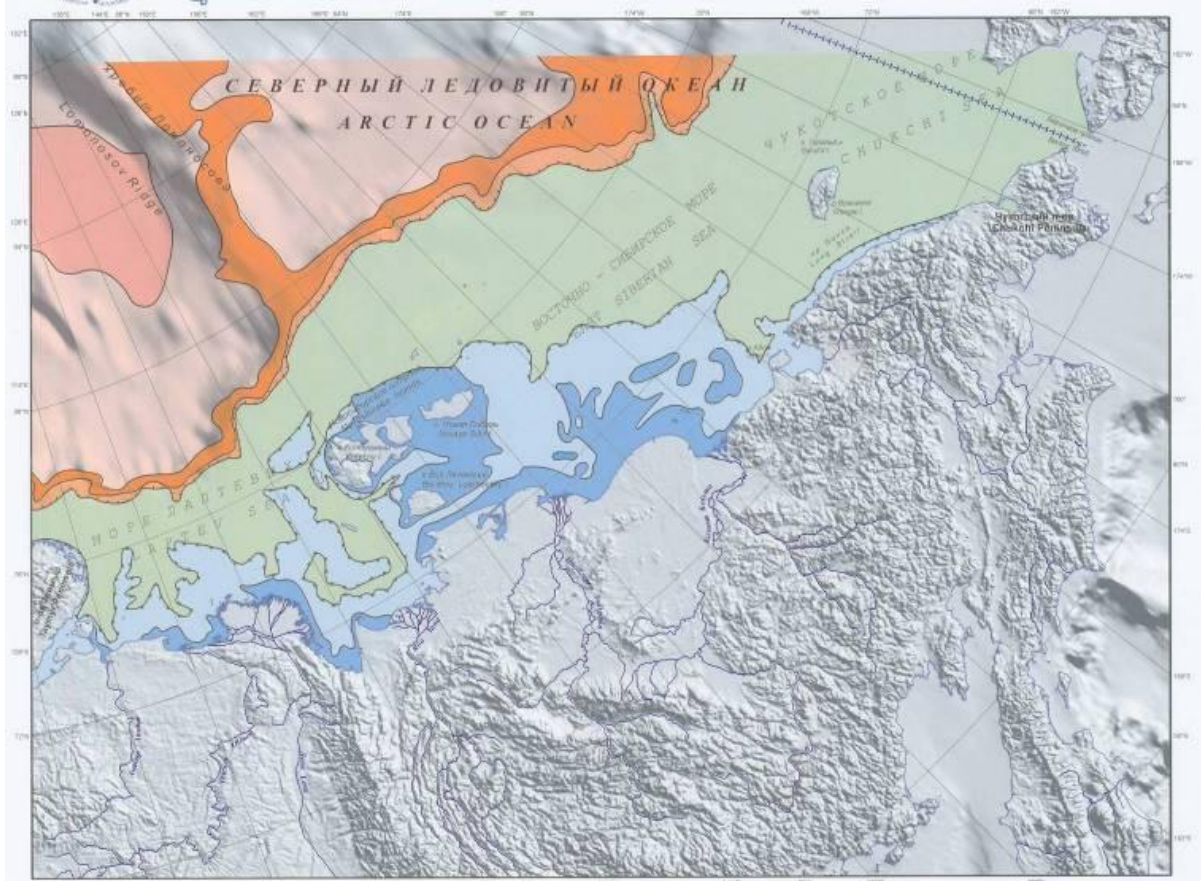
Условия гидратообразования и потенциально газогидратоносные акватории



Атлас «Геология и полезные ископаемые шельфов России» ГИН РАН, Соловьев, Гинсбург, 2004

Западно-арктический шельф России характеризуется преимущественным развитием немерзлой криолитозоны и относительно ограниченным распространением субмаринной мерзлой зоны. На шельфе Баренцева моря выделены границы распространения различных временных типов – сезонный, эпизодический и многолетний. Практически на всем шельфе Карского моря криолитозона многолетняя. Температура немерзлой криолитозоны меняется в интервале от 0 до $-1,80^{\circ}\text{C}$, предполагаемая мощность от 25 м до 50 м и более.

Условия гидратообразования и потенциально газогидратоносные акватории



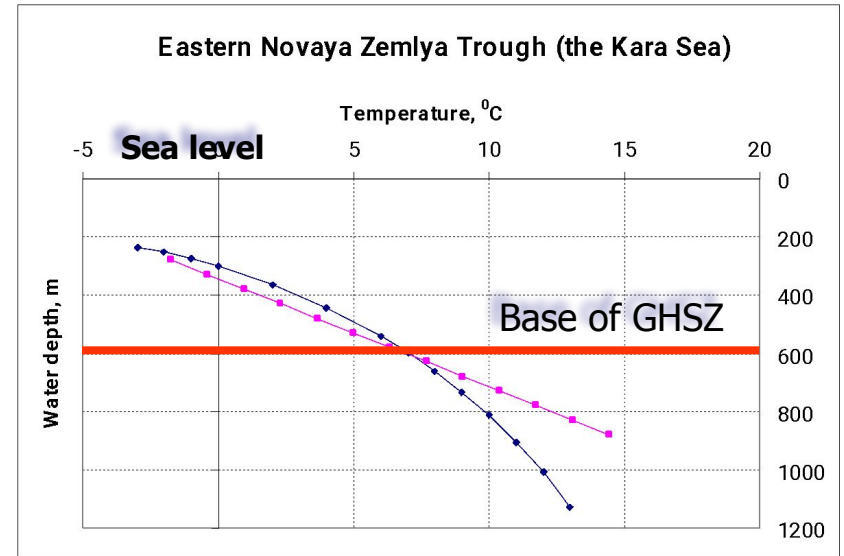
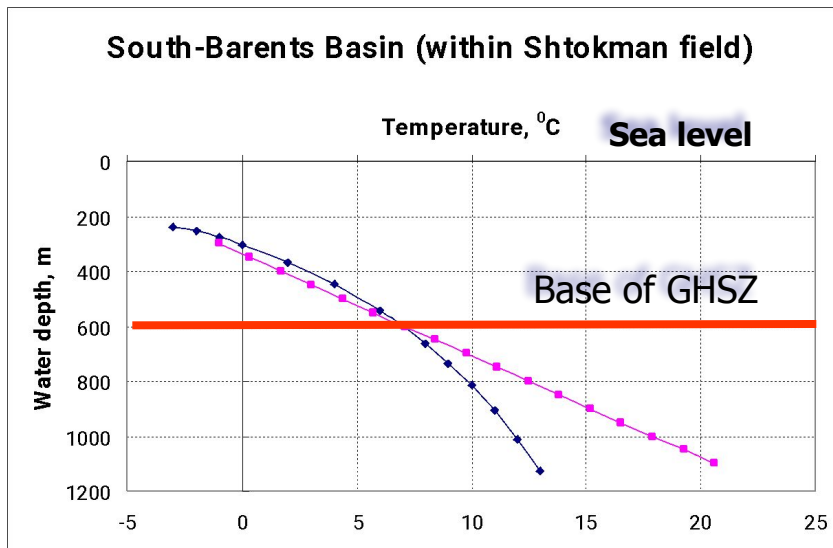
Соловьев, Гинсбург, 2004

На восточно-арктическом шельфе России, в границах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, весьма широко распространение реликтовой субмаринной мерзлой зоны. Здесь можно выделить сплошную (прерывистую), переходящую в островную, и островную, реликтовые мерзлые зоны различной мощности, первая может быть как реликтовой, так и новообразованной, а островная – только реликтовой.

ESTIMATION OF GHSZ AND PT CONDITIONS

Calculation parameters:

- Water salinity: 35‰
- Hydrate-forming gas: pure methane
- Geothermal gradient: 2.7/100 m
- Water depth: 300 and 280 m
- Bottom temperature: -1 and -1.75°C



Results:

- GHSZ is non-detached from the seafloor
- Thickness of GHSZ: 300 and 320 m

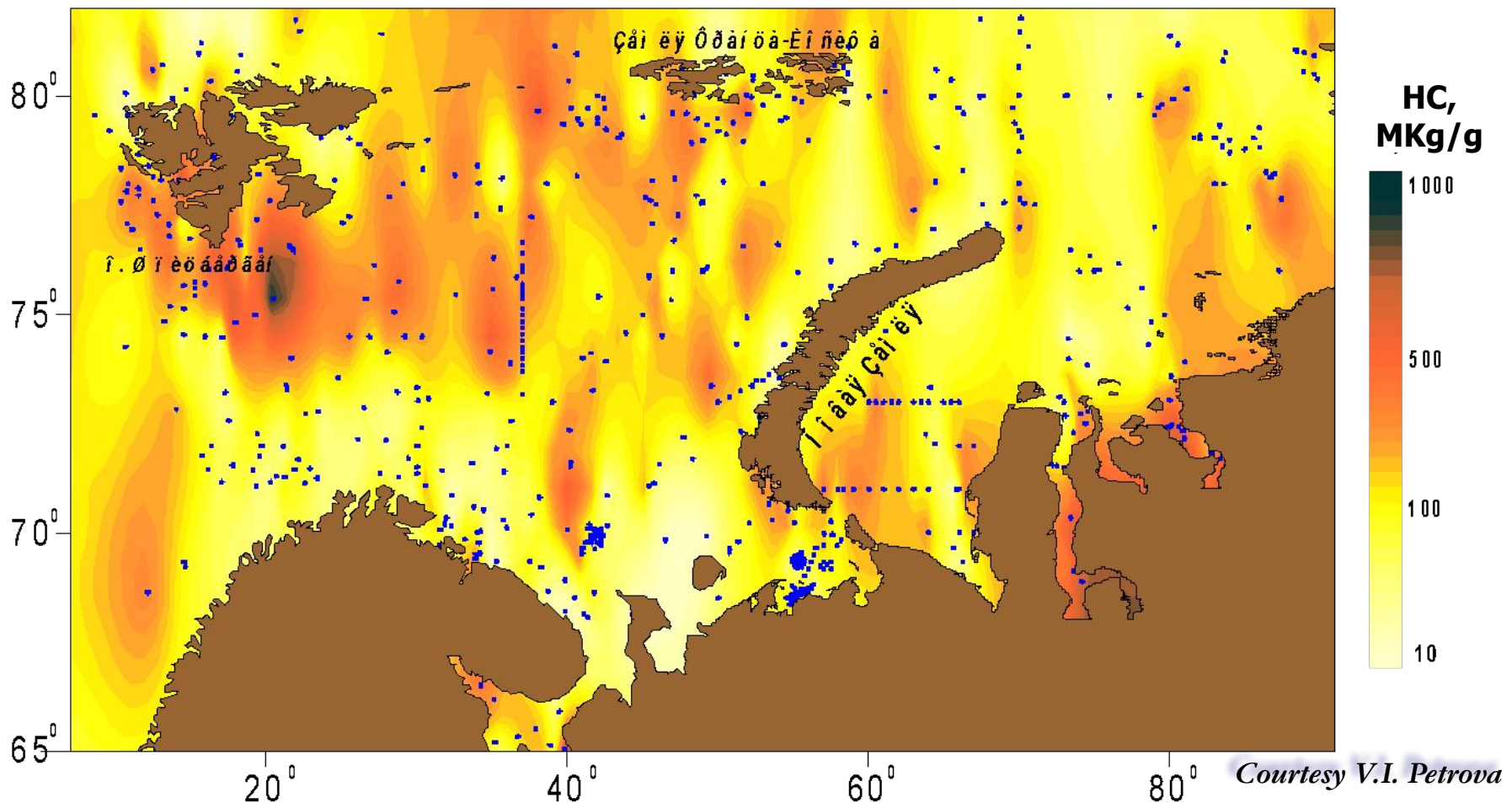
DISTRIBUTION OF HYDROCARBONS IN THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE WESTERN ARCTIC SHELF

Σ HC in the sediments:

average = 30 мкг/г

min = 10 мкг/г

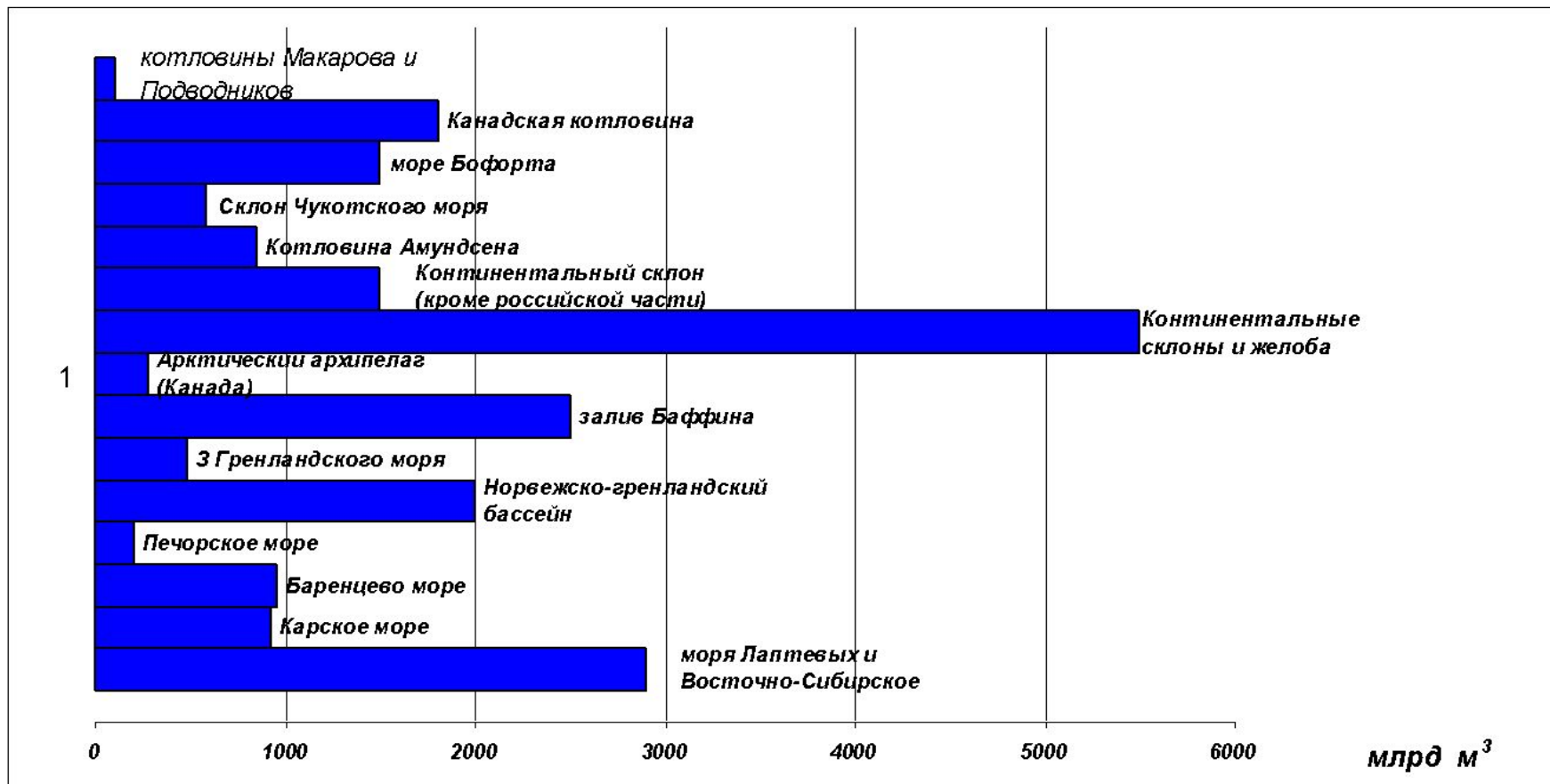
max = 1000 мкг/г



Объем зоны стабильности газовых гидратов в недрах Северного Ледовитого океана

| Основные морфоструктуры | Типы зоны стабильности гидратов | Площадь, тыс. км ² (% от общей площади) | Пределы изменения мощности (средняя мощность в м) | Объем, м ³ |
|--------------------------|---|--|---|-------------------------|
| Ложе океана | Придонный | 3431 | 200-1000 (700) | 2,4 * 10 ¹⁵ |
| Континентальный склон | Придонный | 950 | 200-800 (560) | 5,3 * 10 ¹⁴ |
| Арктический шельф России | Придонный | 977 | 0-600 (200) | 1,95 * 10 ¹⁴ |
| | Криогенные гидраты | 250 (125) | 0-400 (200) | 2,5 * 10 ¹³ |
| | | 606 (121) | 0-400 (200) | 2,4 * 10 ¹³ |
| | Непридонный, вне акваторий с реликтовой мерзлой зоной | 24 | 0-200 (100) | 2,4 * 10 ¹² |
| Всего: | | | | 3,18 * 10 ¹⁵ |

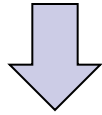
Потенциальные ресурсы газа в гидратах Северного Ледовитого океана



Резюме

- Потенциально газогидратоносные акватории на арктическом шельфе ограничены распространением реликтовой криолитозоны (сплошной и островной)
- Подошва криолитозоны (или изотерма 0°C) находится на глубине от уровня моря, превышающей 260 м вне зависимости от глубины воды
- ЗСГГ:
 - придонная (0-200 м) контролируется либо реликтовой мерзлой зоной, либо низкими придонными температурами
 - непридонная (в глубоководье)
- Объем ЗСГГ - $3.18 \cdot 10^{15} \text{ м}^3$
- Потенциальные ресурсы газа 650 млн м^3 (~450 000 тонн метана)

Образование гидратов газа



Замерзание воды



- одинаково изменяется агрегатное состояние (флюид переходит в твердое вещество)
- наличие тепловых эффектов (экзотермические процессы)
- происходят с увеличением объема воды (на 25 и 9%, соответственно)
- изменяют солевой режим вмещающих пород (в их состав вход преимущественно пресная вода, что приводит к засолению окружающих отложений сопровождаются изменением характера флюидов, отделение вод)
- продукты образования (отложения) образуются с большей скоростью
- продукты образования имеют сходные породообразующие текстуры

Практически отсутствуют различия, позволяющие диагностировать их дистанционными методами

Пути решения:

- определенный интерес представляют те участки шельфа, где, наряду с термобарическими условиями стабильности гидратов газа, и наличием криолитозоны отмечается повышенное содержание метана в поддонных отложениях
- применение геофизических методов (сейсмоакустика, ГБО) для обнаружения очагов разгрузки газа (сипов) в районах с установленной и предполагаемой субмаринной криолитозоны
- комплексные геолого-геофизические, геотермические и геохимические (особенно изотопные) исследования отложений в пределах выявленных сипов, предположительно являющихся результатом деградации мерзлоты
- для выявления источников разгружающегося газа (включая газовые гидраты)
- моделирование процессов образования/разложения газовых гидратов в мерзлых осадках на основе данных прямых наблюдений



Спасибо за внимание!!!