



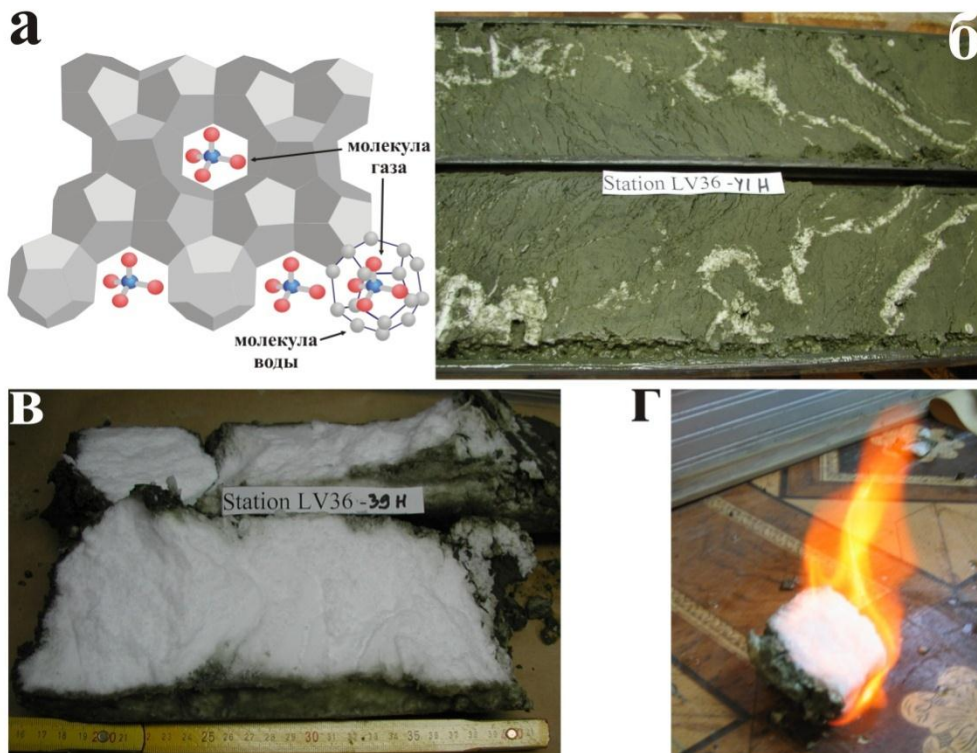
***Всероссийский научно исследовательский
институт геологии и минеральных
ресурсов Мирового океана
им. академика И.С. Грамберга***



Матвеева Т. В., Черкашёв Г.А.

Газогидраты: проблемы изучения и освоения

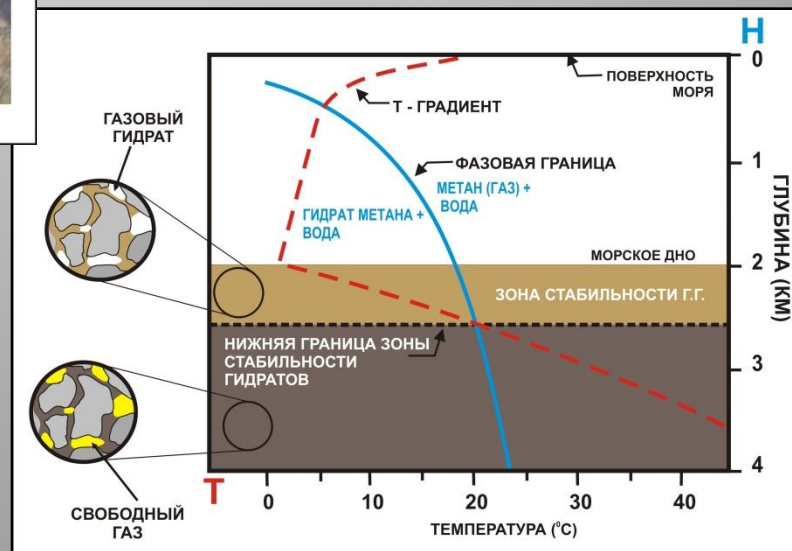
ЧТО ТАКОЕ ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ?



Гидраты газа – это льдоподобные соединения, в которых кристаллическая решетка воды, характерная для льда, расширена и содержит полости, заполненные молекулами газов

При разложении единицы объема гидрата метана выделяется до 160 объемов газа (при нормальных условиях).

Зона стабильности газовых гидратов – часть литосферы и гидросферы Земли, термобарический и геохимический режим которой соответствует условиям устойчивого существования гидратов газа определенного состава.

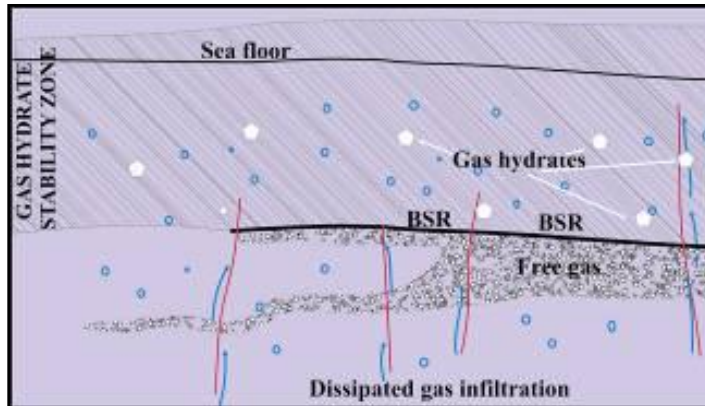


ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ СКОПЛЕНИЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Фильтрогенные



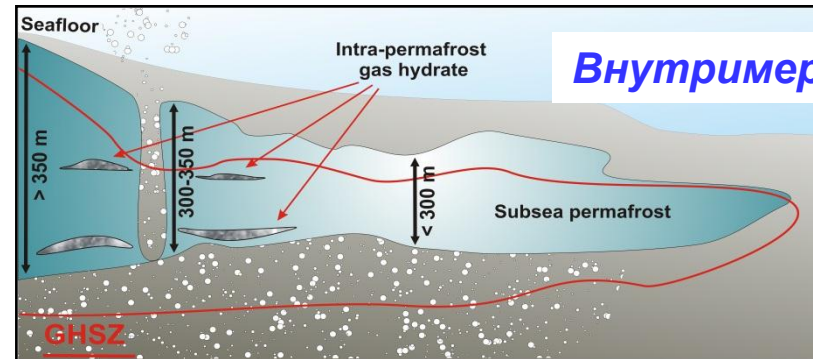
Глубоко залегающие
В условиях рассредоточенной
фильтрации УВ



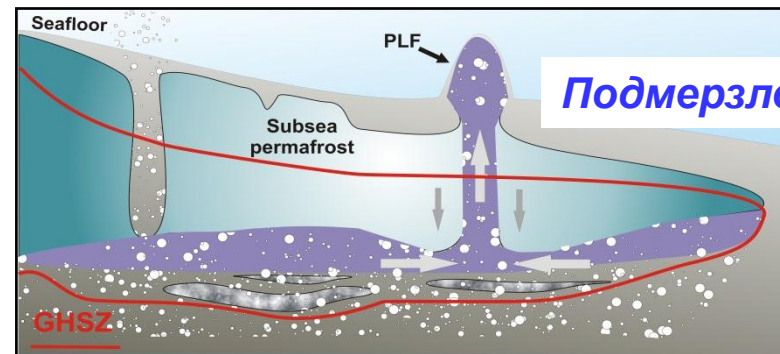
Придонные в очагах разгрузки УВ



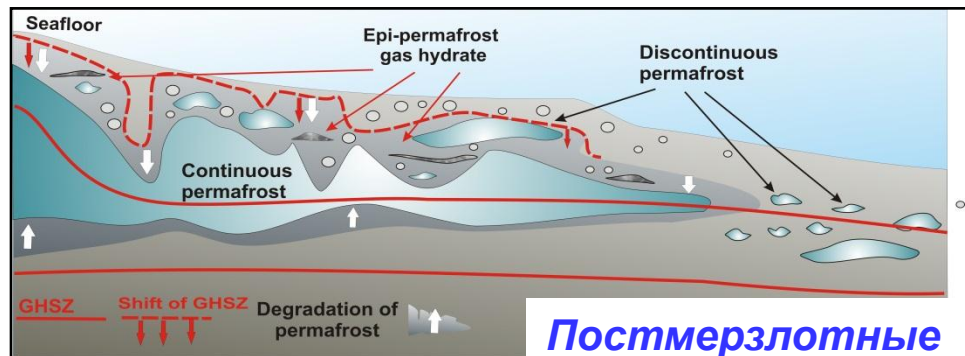
Криогенетические



Внутримерзлотные

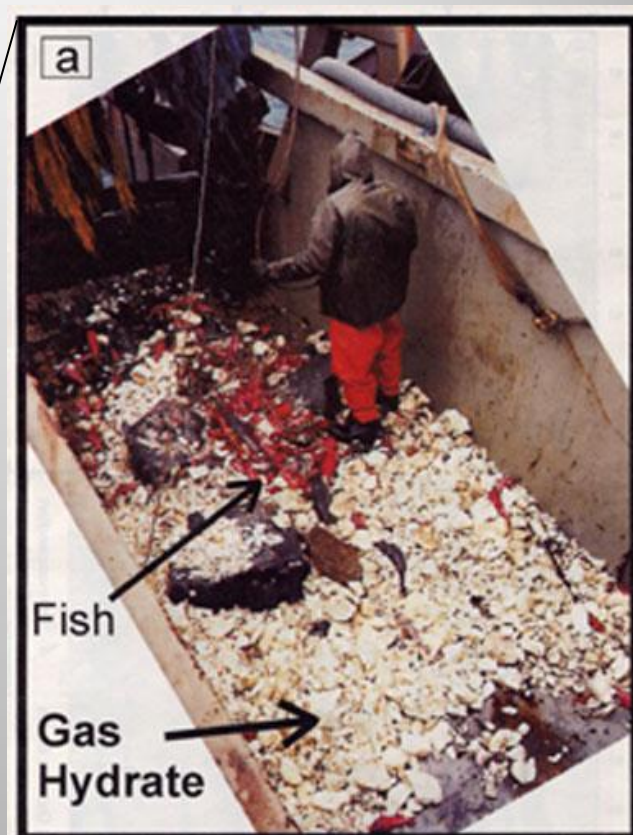
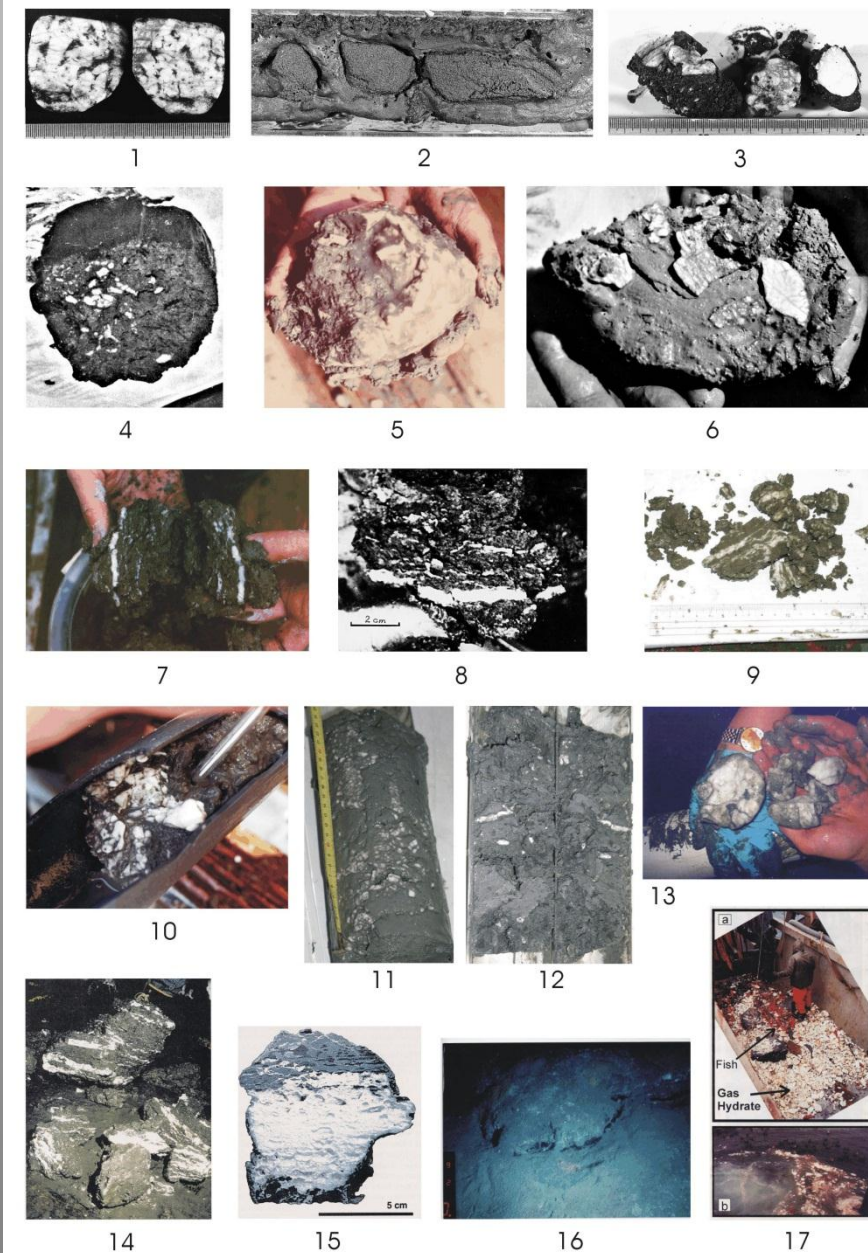


Подмерзлотные

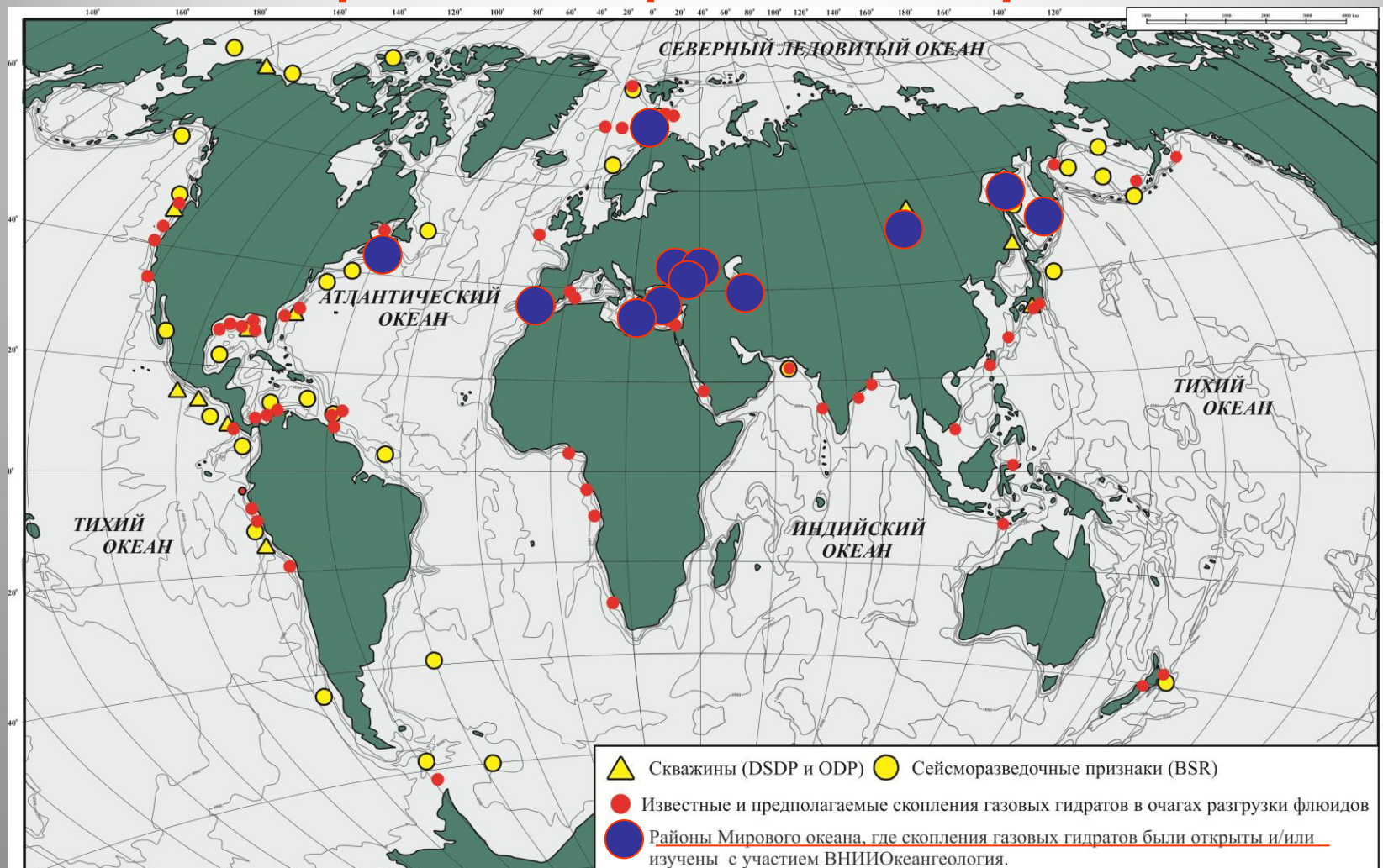


Постмерзлотные

Гидраты – одна из форм существования природного газа в недрах



Газовые гидраты и их признаки в Мировом океане



Присутствие гидратов в отложениях в субаквальной обстановке подтверждено прямыми наблюдениями в 47 районах
В 52 районах были выявлены косвенные признаки газовых гидратов – главным образом, это отражающий сейсмический горизонт BSR

Актуальность объекта исследований

Фундаментальные исследования

Источники и состав гидратных газов

Биогеохимические процессы

Геотермические исследования

Флюиды в поровом пространстве

Аутигенные карбонаты

Глобальные изменения климата

Потоки CH_4 из
разлагающихся
гидратов и мерзлоты



Геориски

Разбуhrивание
гидратосодержащих толщ

Стабильность
континентальных склонов

Устойчивость бурового оборудования

Экспериментальные исследования

Самоконсервация
Кинетика гидратообразования

Финансирование
гидратной
программы в США

2010 и 2011 гг. – 50 -
70 млн долл.,

2011 - 2015 гг. –
увеличение на 10
млн долл. ежегодно

Цель современных исследований по проблеме геологии газовых гидратов

определить, являются ли природные газовые гидраты (в первую очередь субмаринные) потенциальным полезным ископаемым, то есть выяснить:

- Где именно и насколько широко они распространены; как происходит их образование;
- Что представляют собой скопления газовых гидратов;
- Сколько газа может быть сосредоточено в отдельных скоплениях и в газовых гидратах на Земле в целом;
- Какова скорость возобновляемости ресурсов газа в скоплениях газовых гидратов



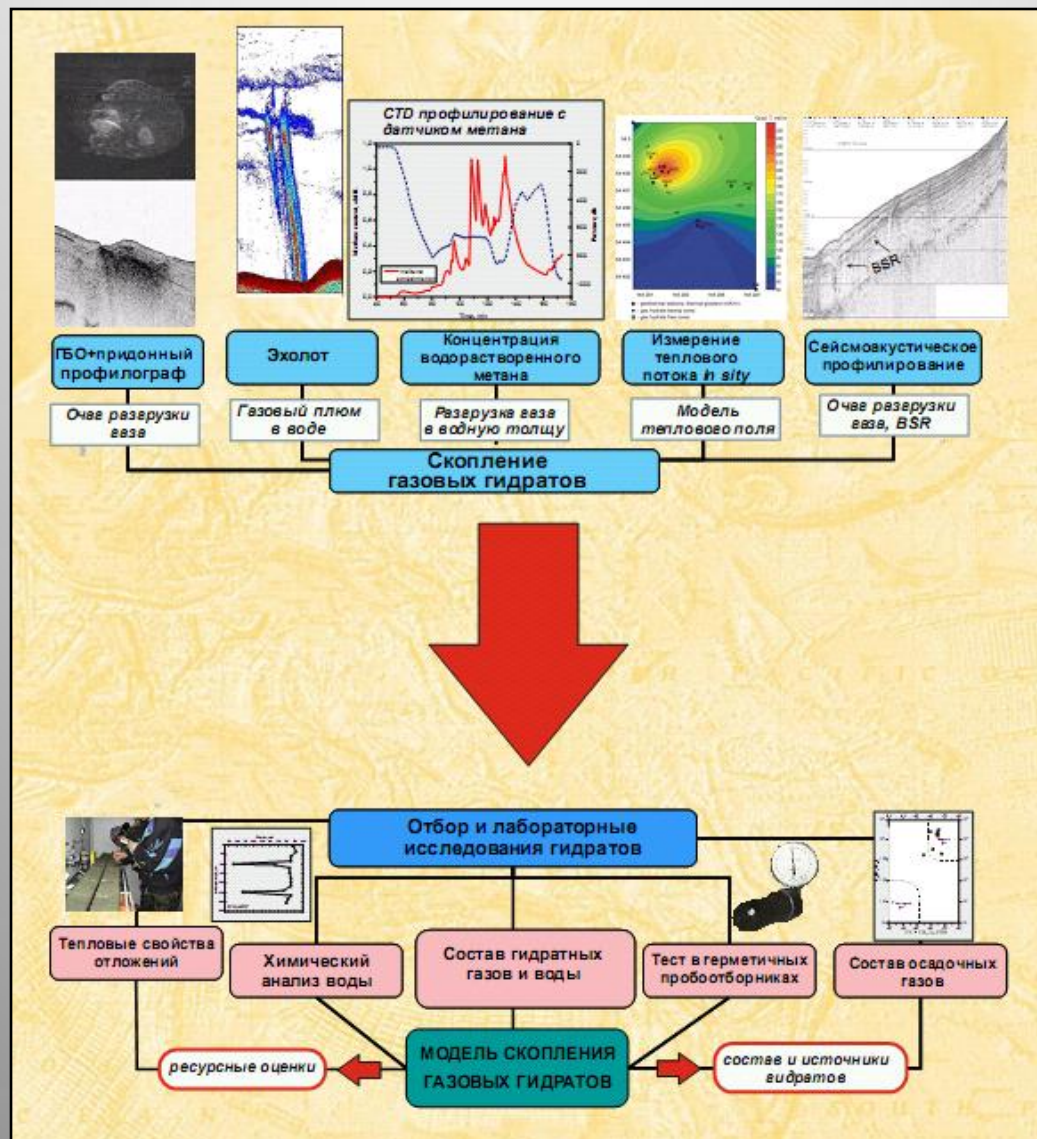
• **Методика и этапность проведения ГРР на газовые гидраты**

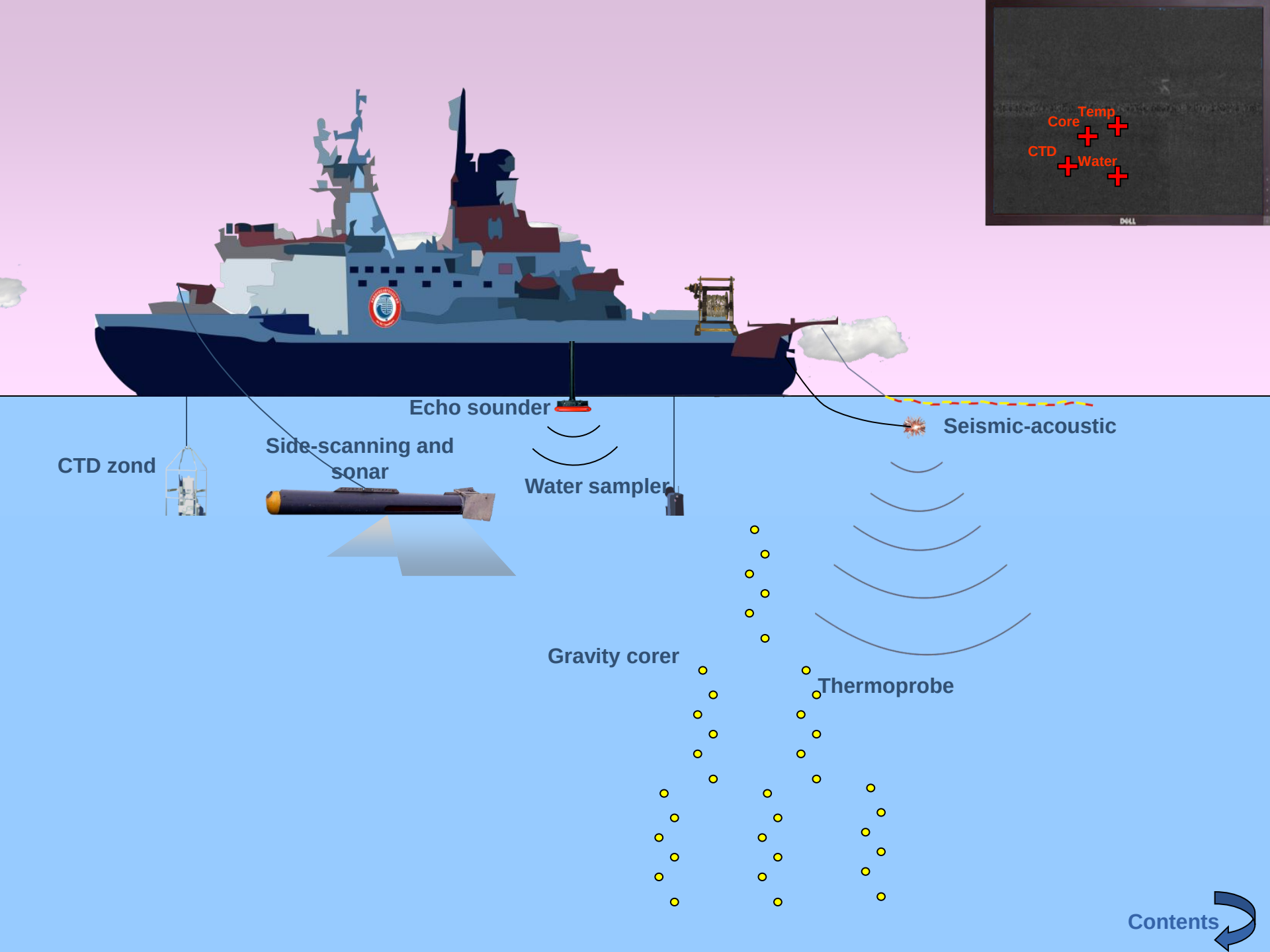
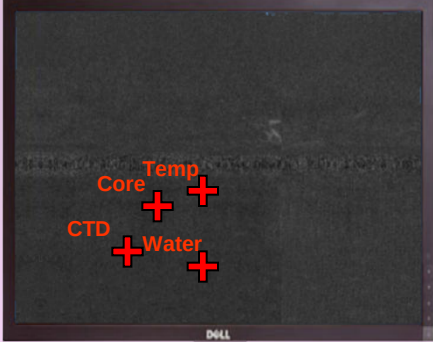
Основные этапы геолого-разведочного процесса на газовые гидраты

- 1 этап.** Надрегionalное районирование газогидратоносных акваторий по геотермобарическим и геологическим критериям.
- 2 этап.** Региональная качественная оценка газогидратоносности. Выделение и оценка потенциально гидратоносных провинций и областей (геофизические, гидрофизические, геотермические методы).
- 3 этап.** Детальные исследования. Получение прямых и косвенных свидетельств собственно гидратоносности, т.е. поиск и комплексное изучение гидратоносных объектов геолого-геофизическими, гидрофизическими, литологическими и геохимическими методами.
- 4 этап.** Оценка общих ресурсов газа в отдельных скоплениях газовых гидратов и в целом в наиболее перспективных участках.
- 5 этап.** Разработка и опробование экспериментальных методов извлечения газа из гидратных скоплений.

**Экспедиционные научно-исследовательские работы -
единственный способ изучения гидратоносных
объектов**

МЕТОДЫ И ПАРАМЕТРЫ АППАРАТУРНЫХ КОМПЛЕКСОВ, РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ПРИ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРАТОНОСНЫХ ОБЪЕКТОВ



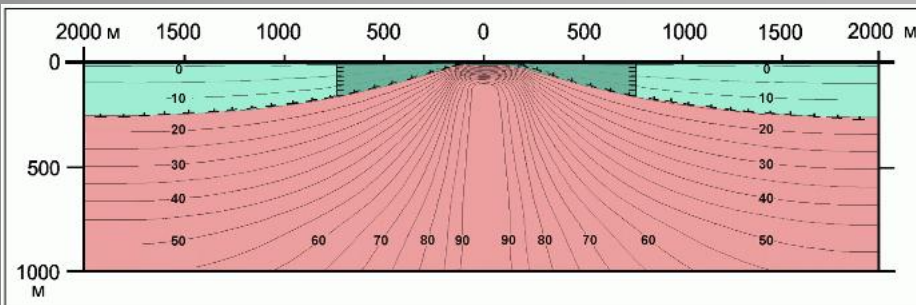
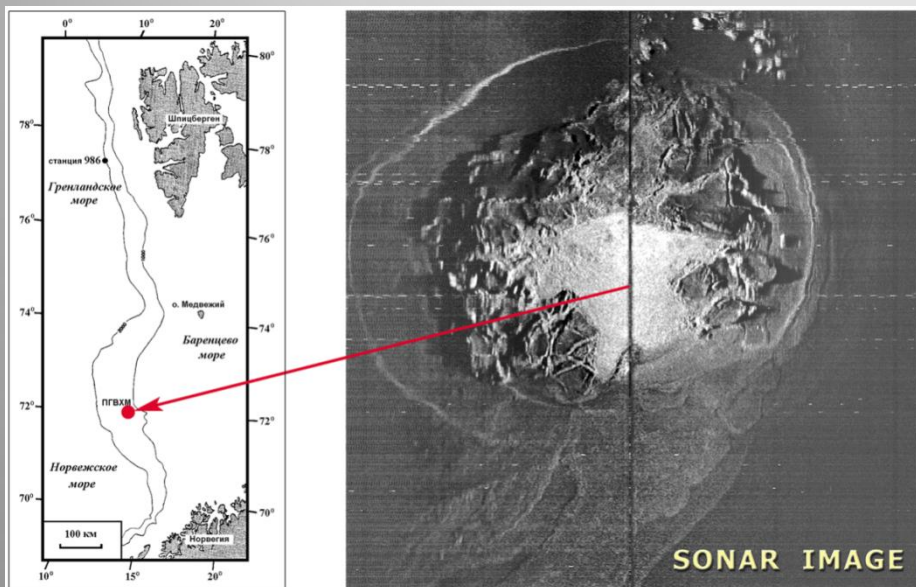


Исследования ВНИИОкеангеология в области газовых гидратов

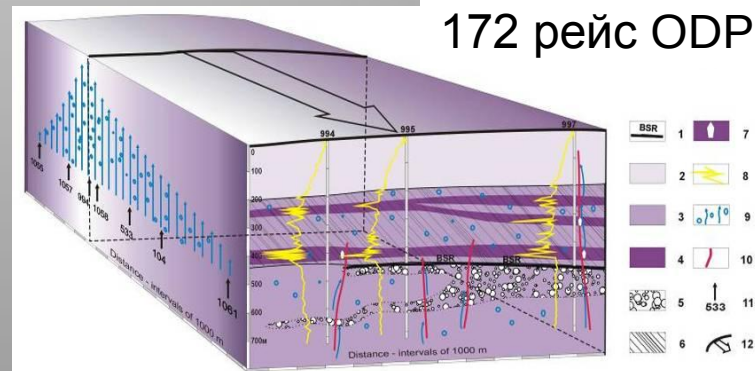
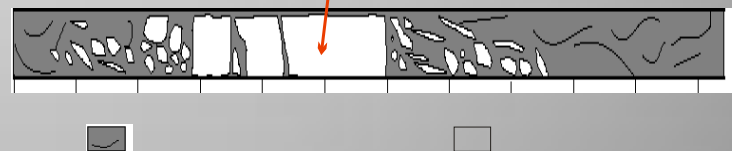
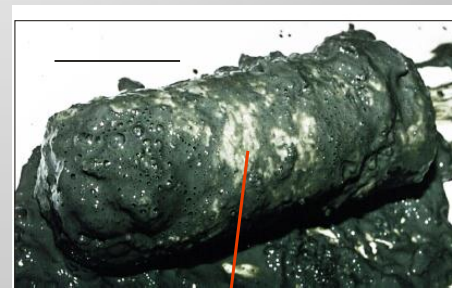


Норвежское и Баренцево моря

Международные российско-американско-
Норвежские экспедиции ГВ Хаакон Мосби



Аккумулятивный хребет Блейк Аутер С3 Атлантика



Исследования ВНИИОкеангеология в области газовых гидратов

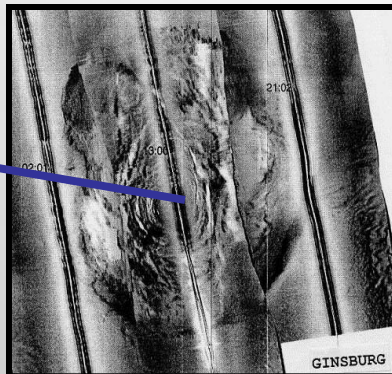


Кадисский залив (СВ Атлантика)

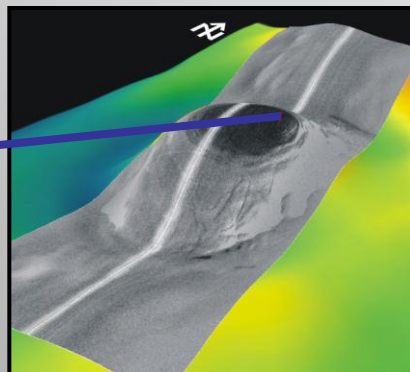
UNESCO-IOS-VNIIO-Spain-Portugal



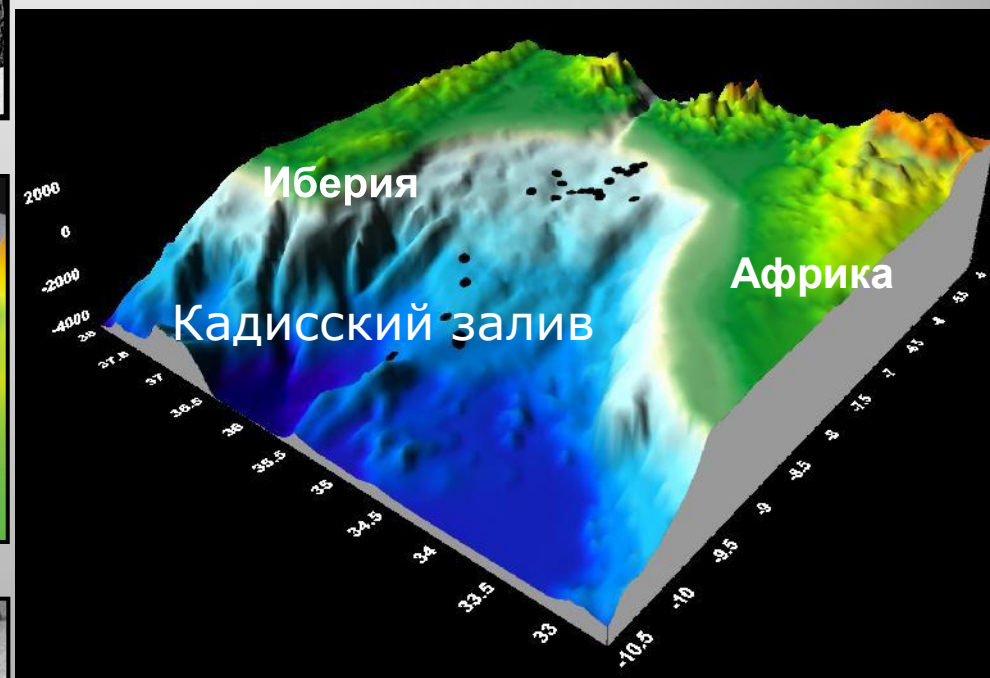
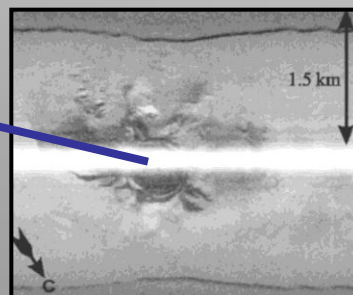
ГВ Гинсбург



ГВ Бонджардим



ГВ Капитан Арутюнов



Около 30 грязевых вулканов в Кадисском заливе находятся в пределах зоны стабильности газовых гидратов. В отложениях 9 из них вскрыты газовые гидраты.

Районы распространения ГГ в российской экономической зоне

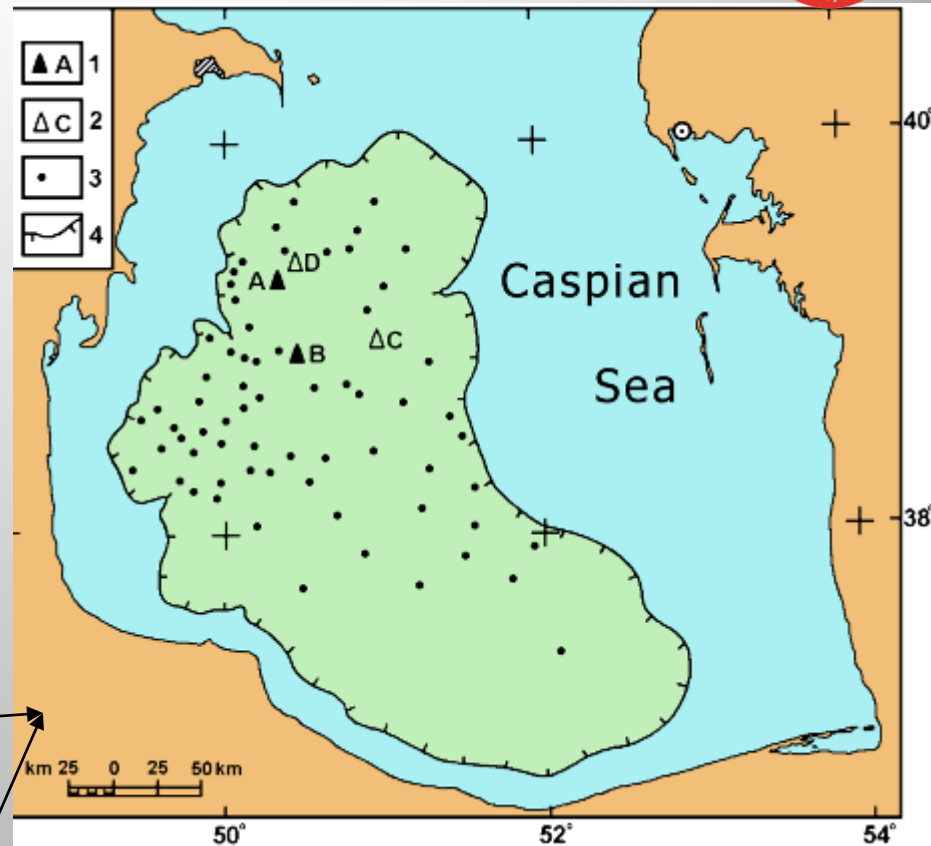
- Каспийское море
- Чёрное море
- Охотское море
- Озеро Байкал

Российская Арктика – высокоперспективный
потенциально газогидратноносный регион

Исследования ВНИИОкеангеология в области газовых гидратов



Каспийское море

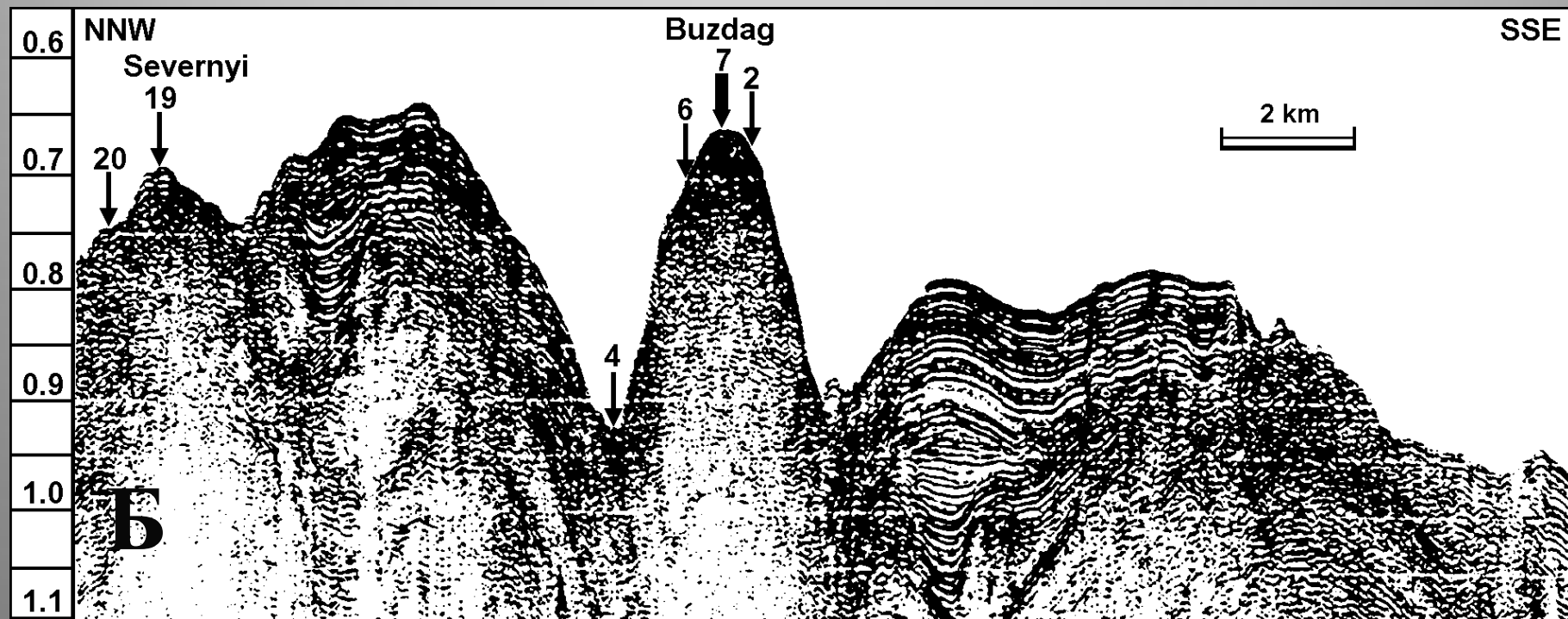


**Южно-Каспийская газогидратоносная
подводно-грязевулканическая провинция.**

- 1 – выявленные скопления газовых гидратов на грязевых вулканах (А – Бuzдаг, В – Элм);
- 2 – глиняные диапиры, не содержащие газовых гидратов (С – Северный, D – безымянный на валу Аби́ха);
- 3 – подводные грязевые вулканы;
- 4 – граница газогидратоносной провинции

(А) Газовые гидраты из отложений грязевого вулкана Буздаг (Южная впадина Каспийского моря, глубина воды 475 м).

(Б) Фрагмент временного разреза по профилю через поднятие Визирова (хребет Шатского). Жирная стрелка – станция с гидратами; слева – двойное время в секундах. Рейс НИС «Поиск», 1979 г.

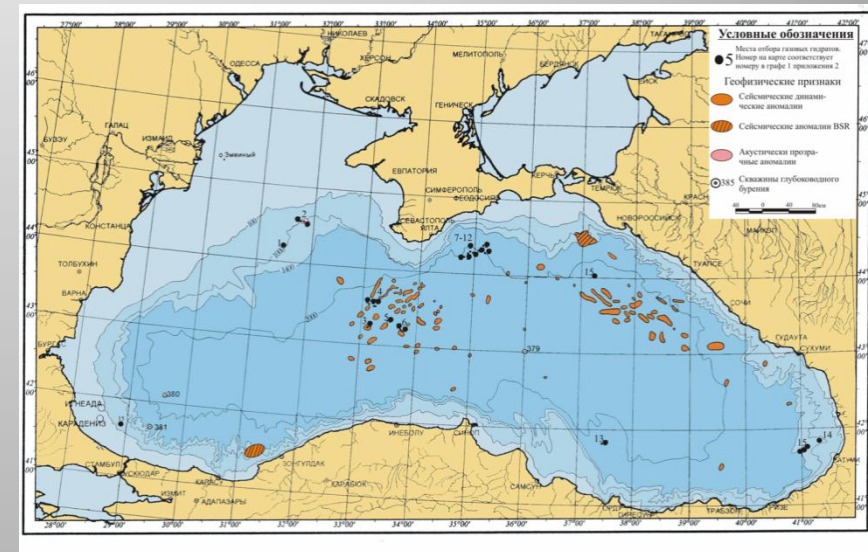
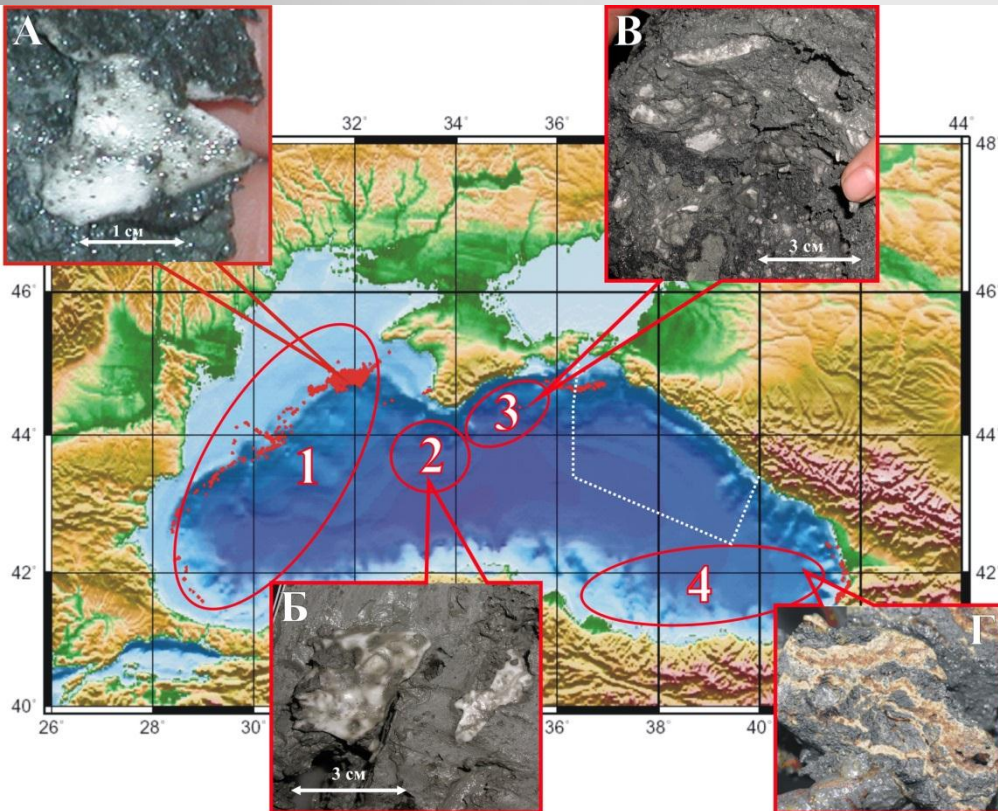


Исследования ВНИИОкеангеология в области газовых гидратов



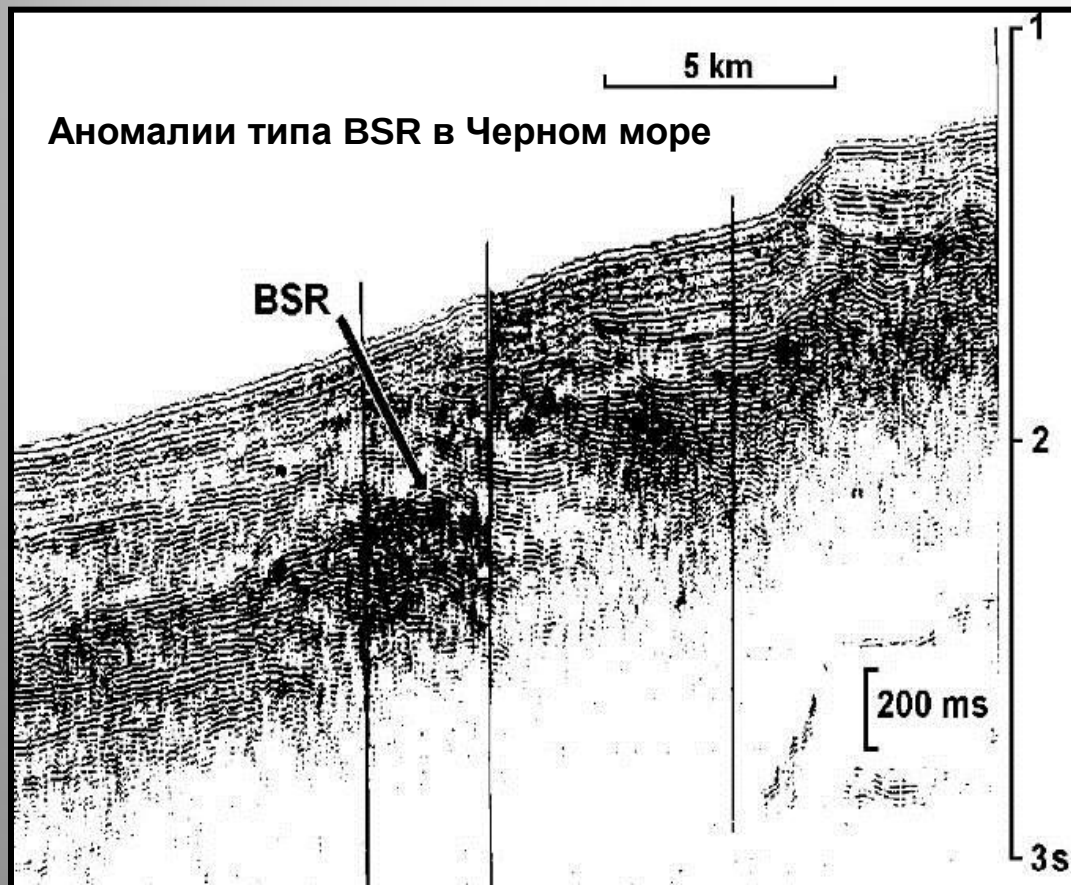
ВНИИОкеангеология - UNESCO-IOS (МГУ им. Ломоносова)

Черное море

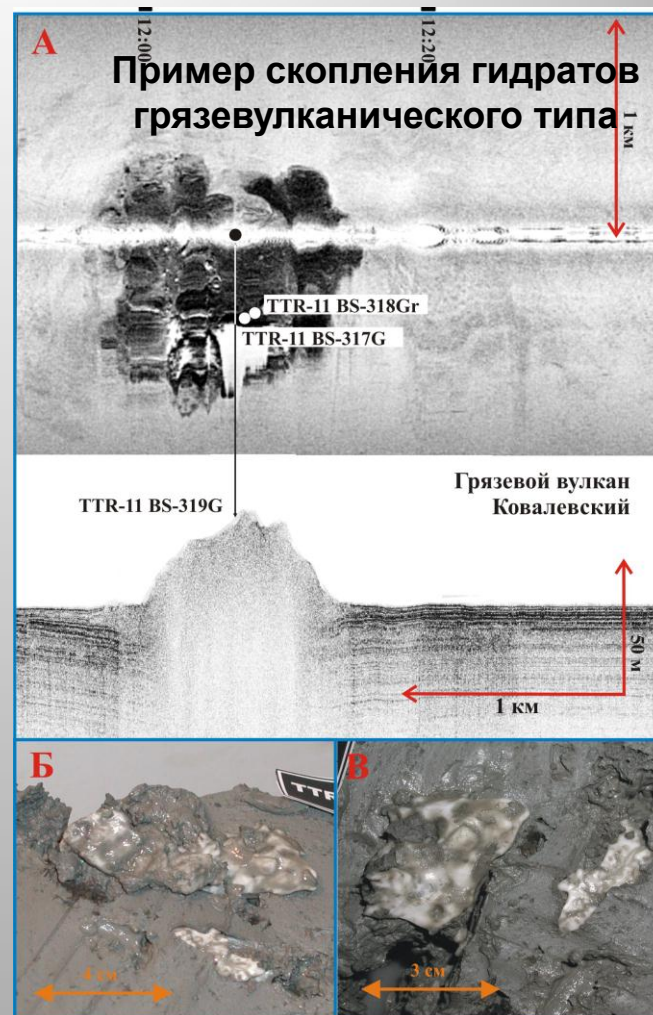


Карта изученности газогидратопоявлений Черного моря

Исследования ВНИИОкеангеология в области газовых гидратов

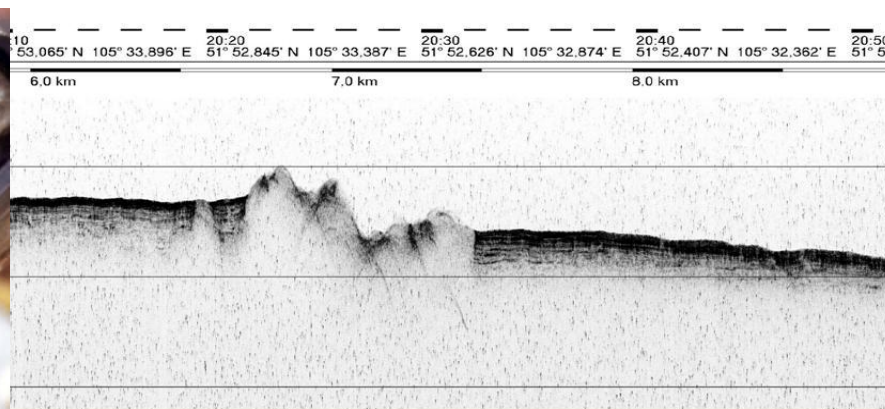
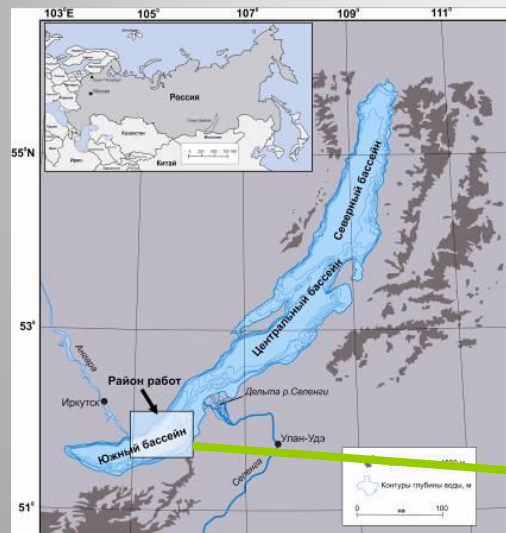


Пример сейсмической записи МОБ с BSR – Bottom Simulating Reflector (отражающий горизонт, имитирующий дно и отождествляемый с подошвой зоны стабильности газовых гидратов) в Прогибе Сорокина. Рейс НИС «Евпатория», 1988 г.



Фрагмент записи гидролокатора бокового обзора и придонного профилографа с месторасположениями станций грунтового пробоотбора через грязевого вулкан Ковалевский, центральная часть Черного моря. Б,В: Газовые гидраты из отложений грязевого вулкана Ковалевский.

Исследования ВНИИОкеангеология в области газовых гидратов

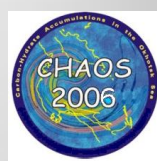


ВНИИОкеангеология-ЛИН СО РАН- Бельгия

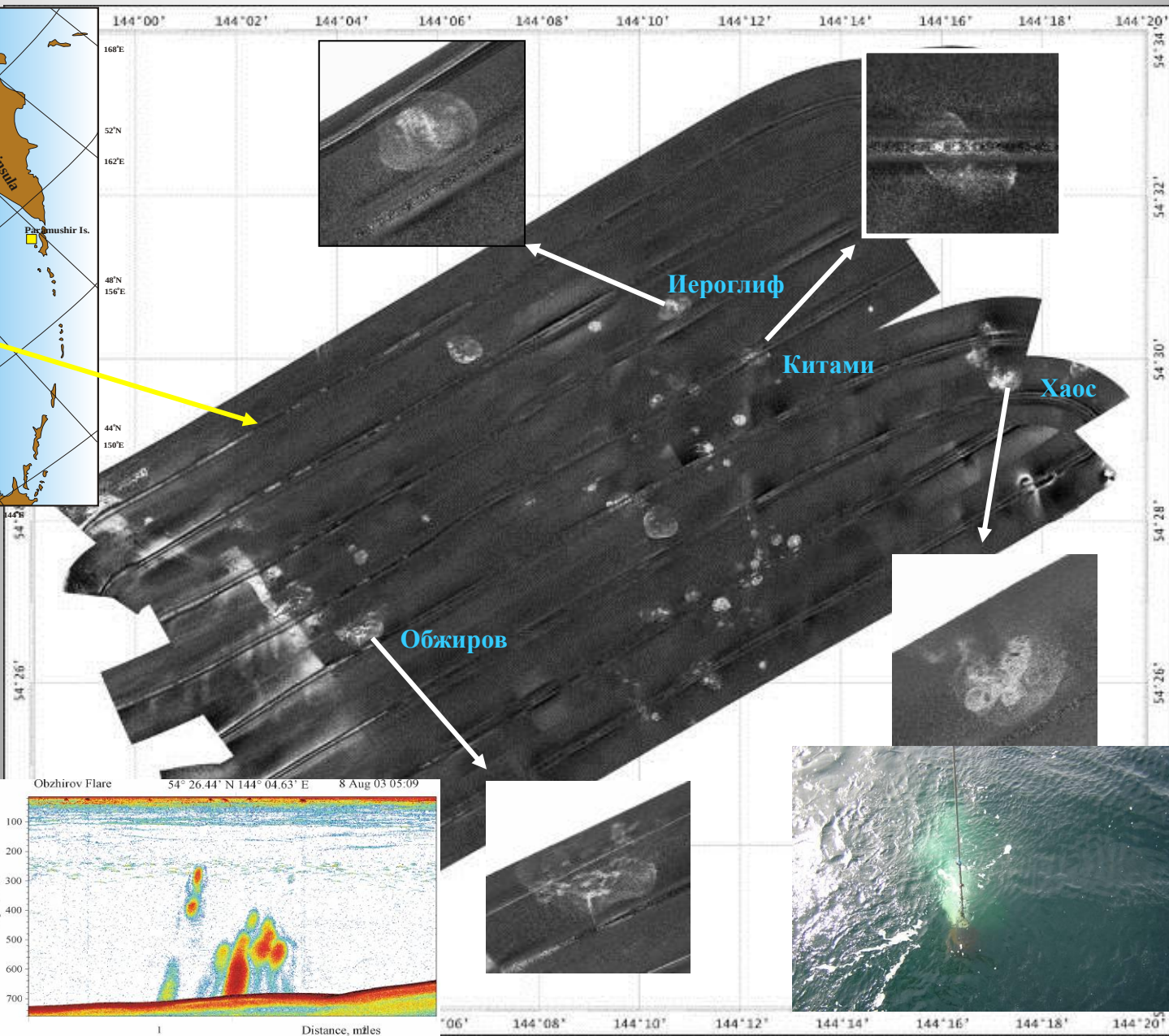
**Южный бассейн озера Байкал 2000г.
Первая находка гидратов в придонных отложениях**

Охотское море

ВНИИО-ТОИ ДВО РАН-Япония (КИТ)

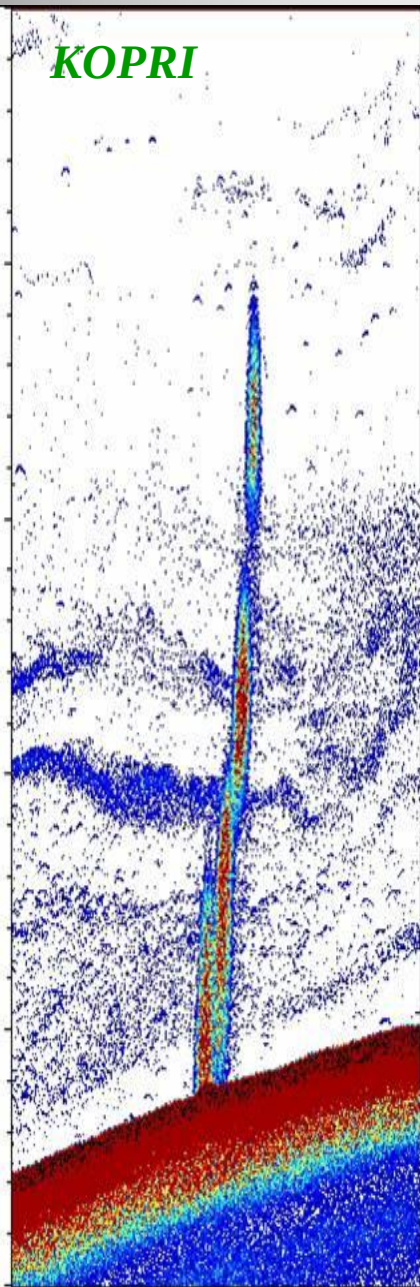


На площади
около 200 км²
выявлено более
40 очагов
разгрузки
флюидов –
потенциальных
скоплений
газовых гидратов

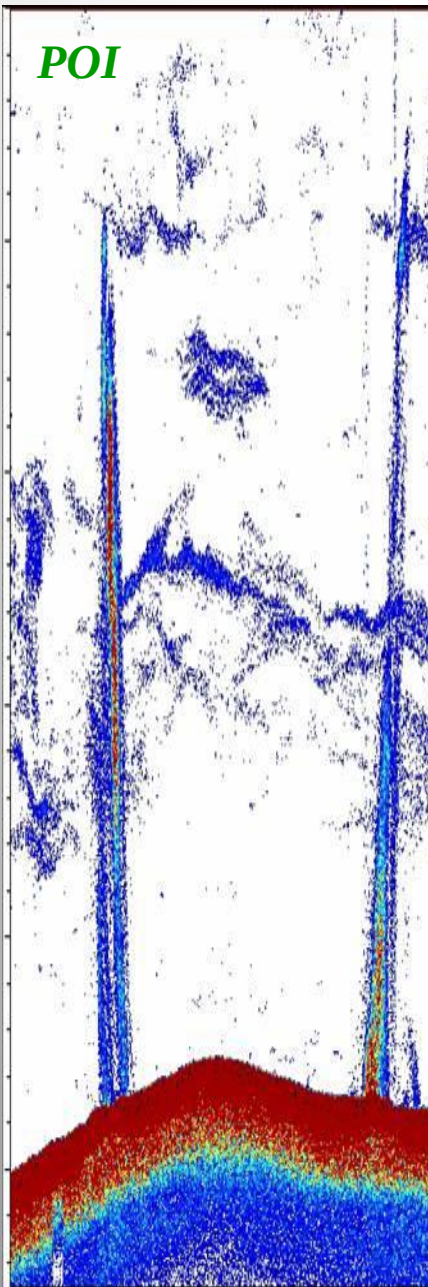


ЭХОЛОТИРОВАНИЕ С ЦЕЛЮ ВЫЯВЛЕНИЯ «ГАЗОВЫХ ФАКЕЛОВ»

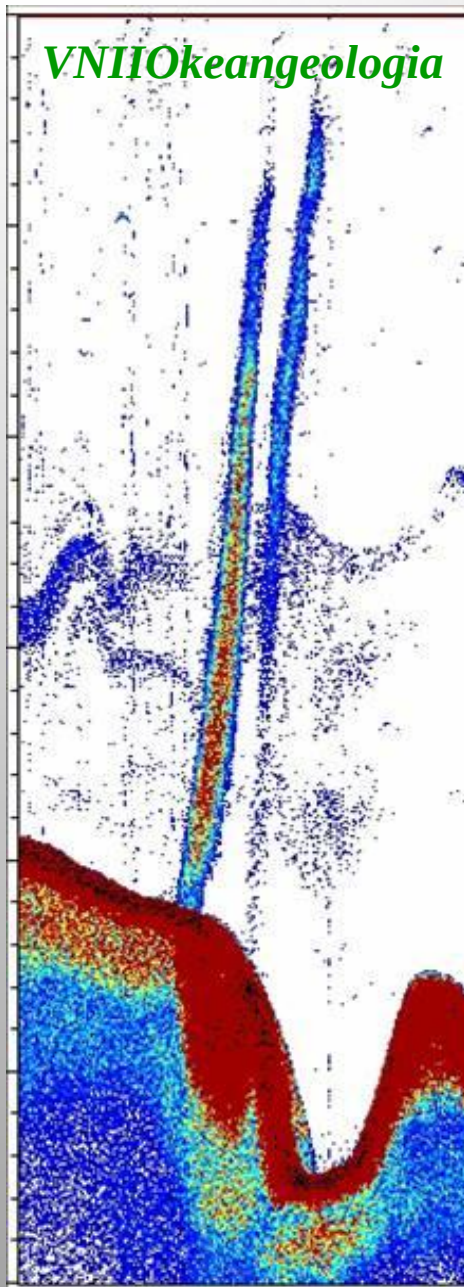
KOPRI



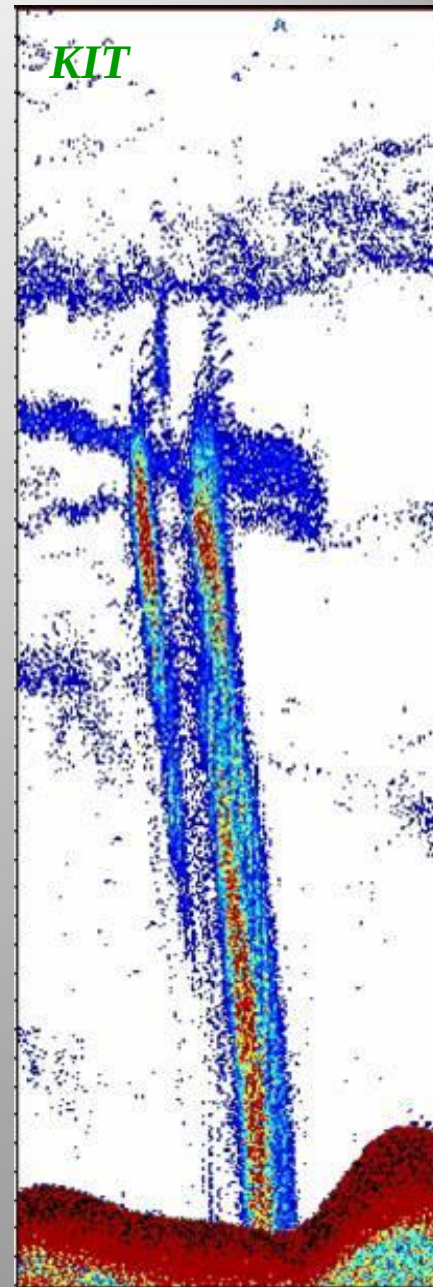
POI



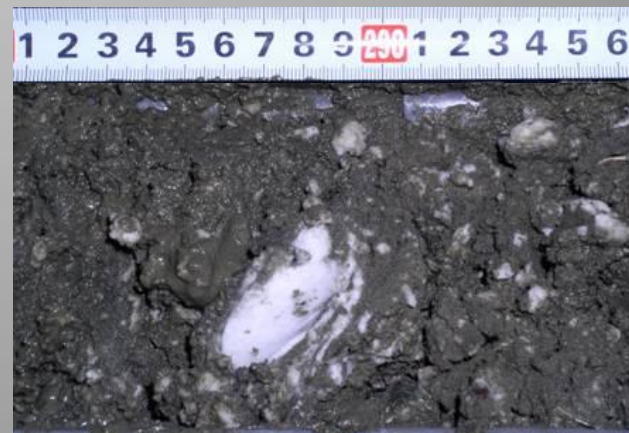
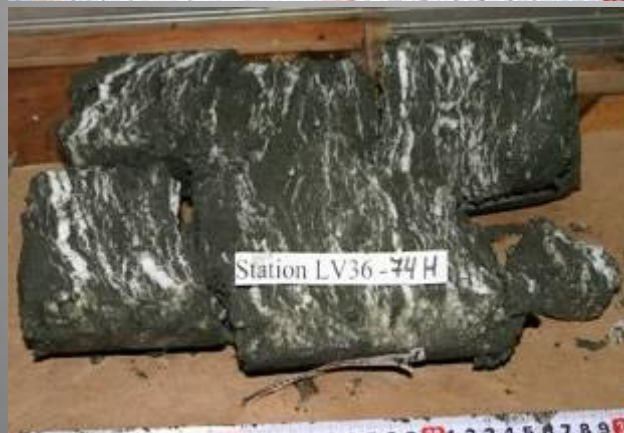
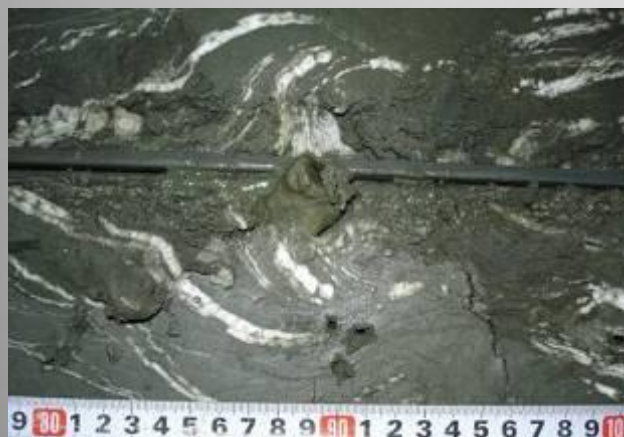
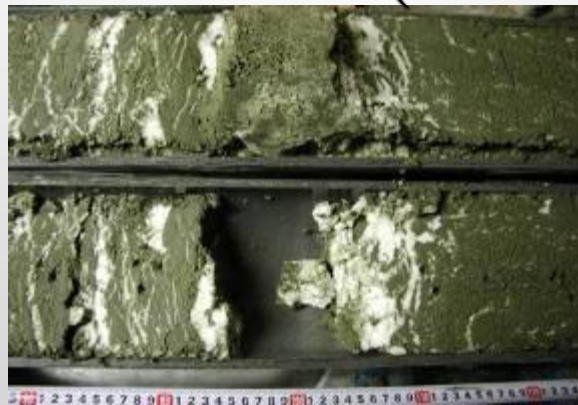
VNIIOkeangeologia



KIT



Текстурообразующие газовые гидраты (Охотское море)



Охотское море (2005)



Очаг разгрузки
флюидов КОПРИ

Мощность
гидратного
слоя
составила 36
см

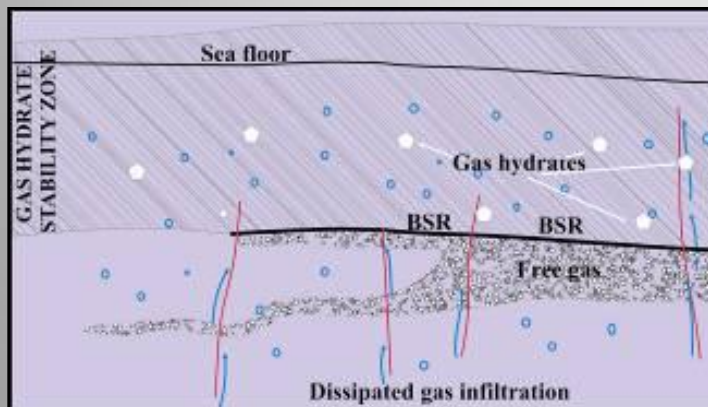


Северный Ледовитый океан

Фильтрогенные



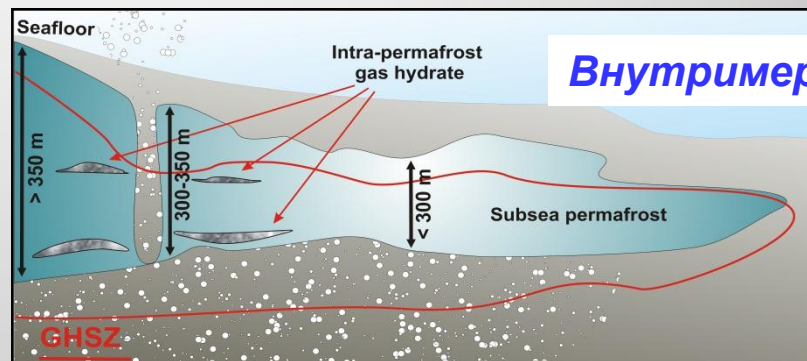
Глубоко залегающие
В условиях рассредоточенной
фильтрации УВ



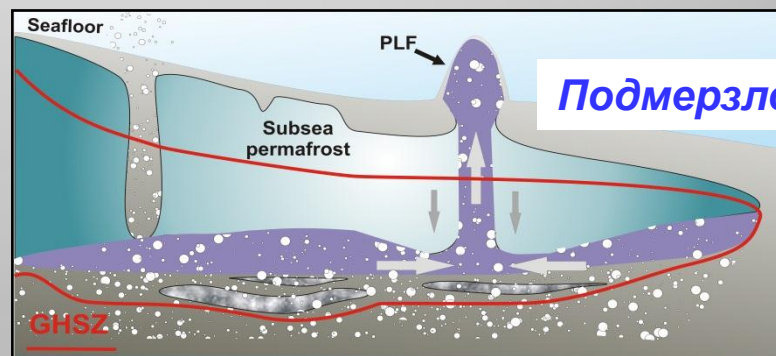
Придонные в очагах разгрузки УВ



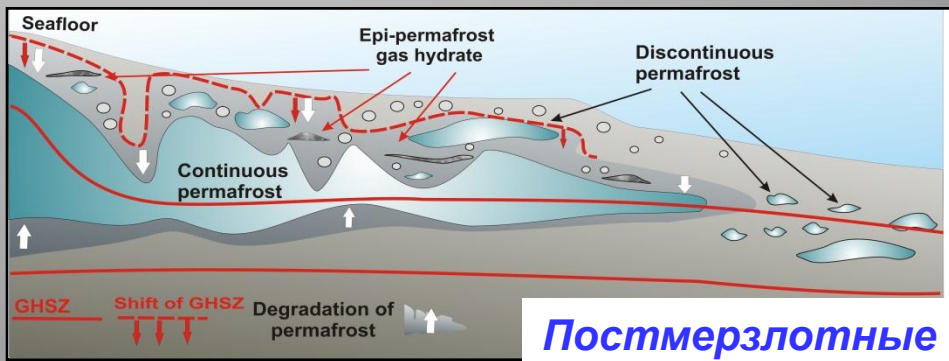
Криогенетические



Внутримерзлотные

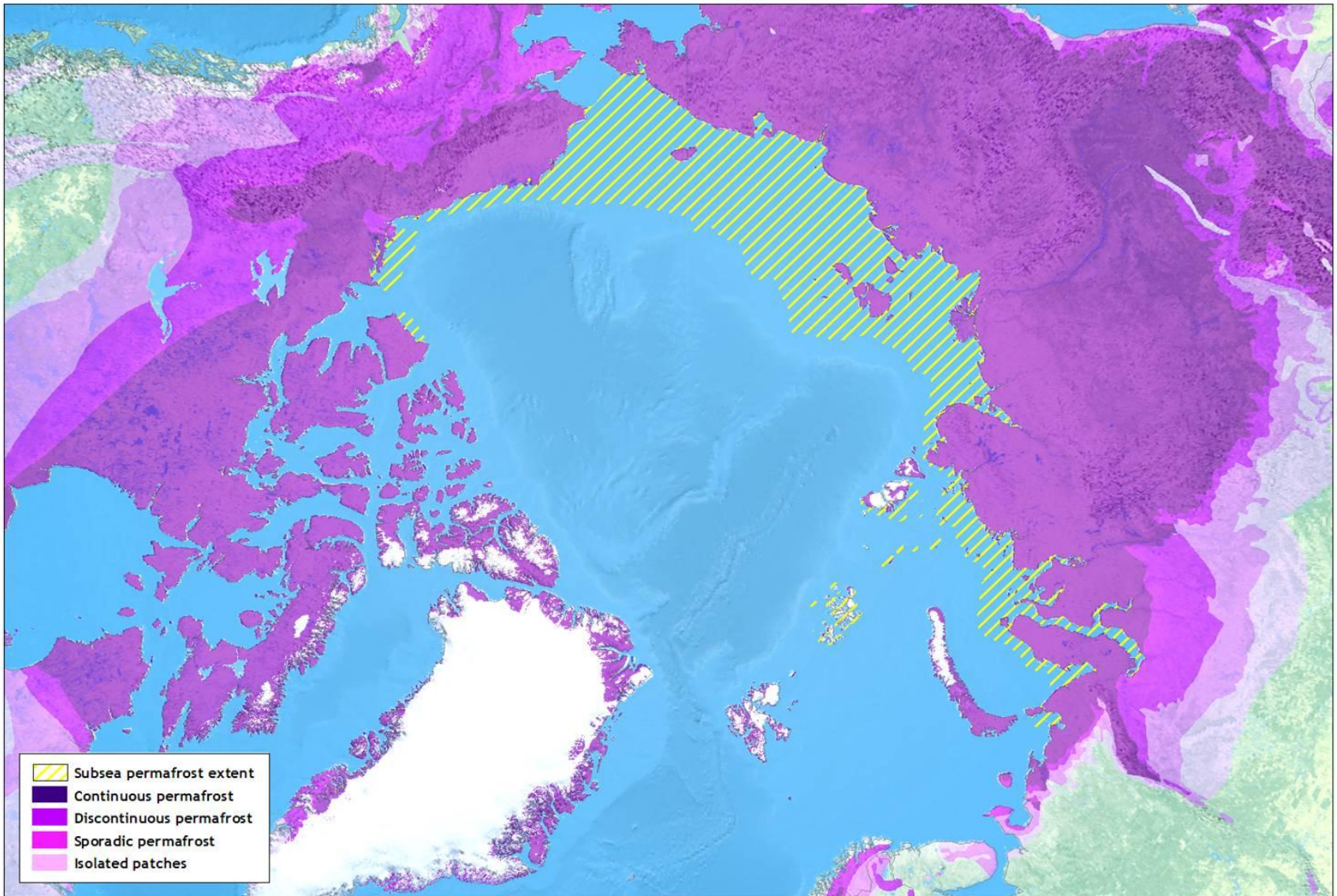


Подмерзлотные

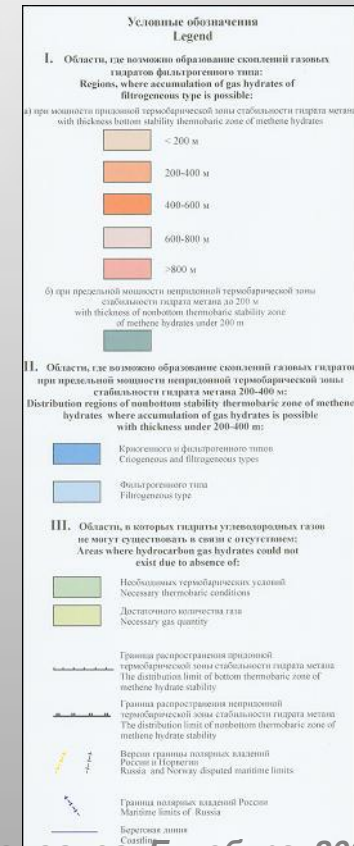
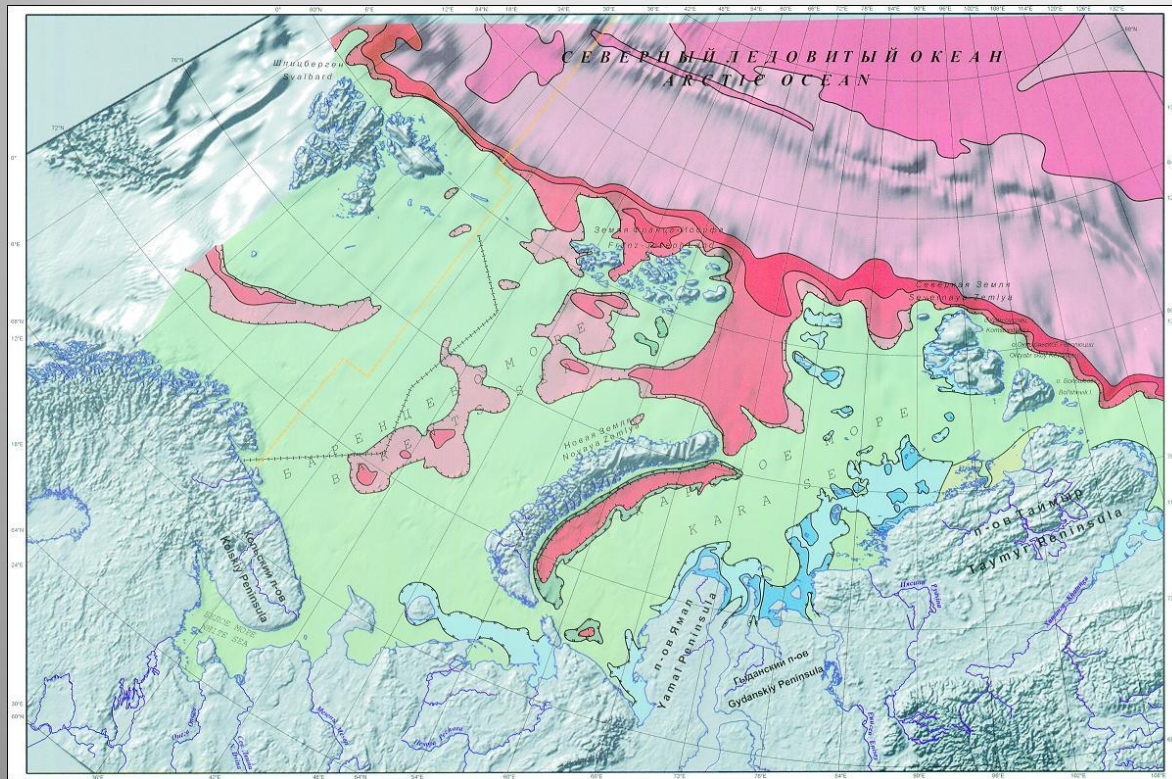


Постмерзлотные

Вечная мерзлота в Арктике



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 $-1,8^{\circ}\text{C}$, предполагаемая мощность от 25 м до 50 м и более.

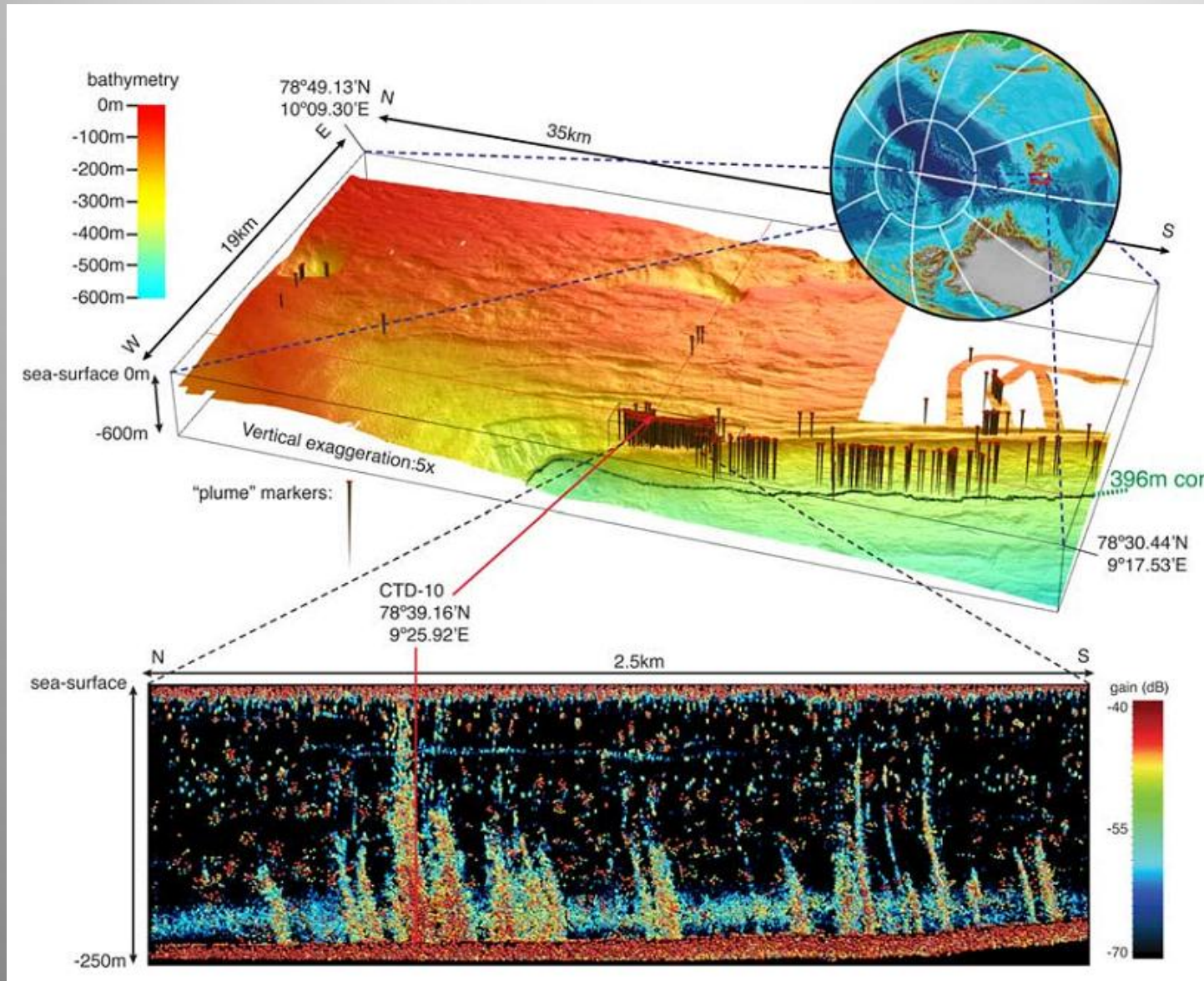


На восточно-арктическом шельфе России, в границах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, весьма широко распространение реликтовой субмаринной мерзлой зоны. Здесь можно выделить сплошную (прерывистую), переходящую в островную, и островную, реликтовые мерзлые зоны различной мощности, первая может быть как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

Разгрузка метана и гидратообразование в Арктических акваториях

Прибрежье Шпицбергена

Westbrook et al., 2009



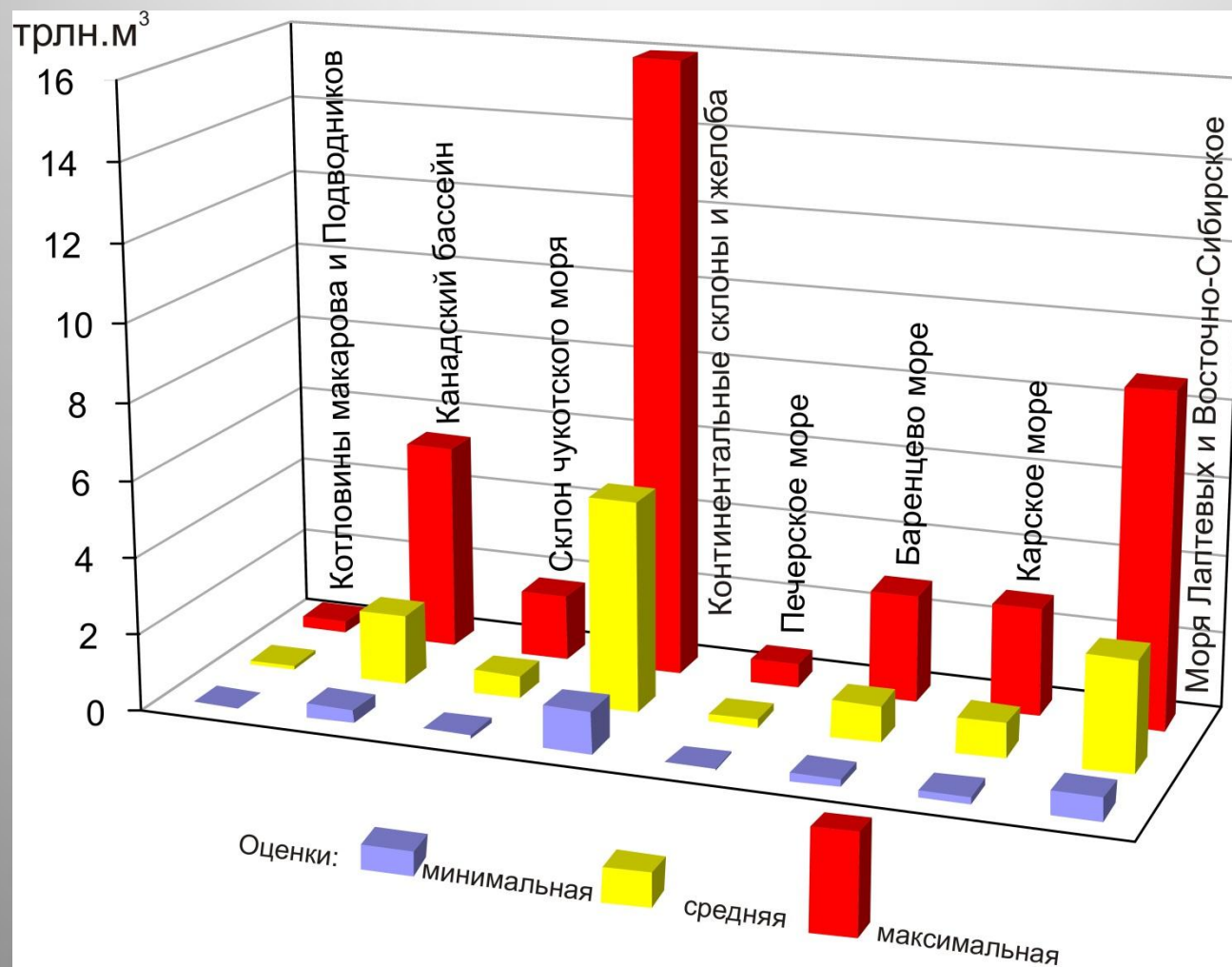
Ресурсные оценки

Объем зоны стабильности газовых гидратов в недрах Северного Ледовитого океана

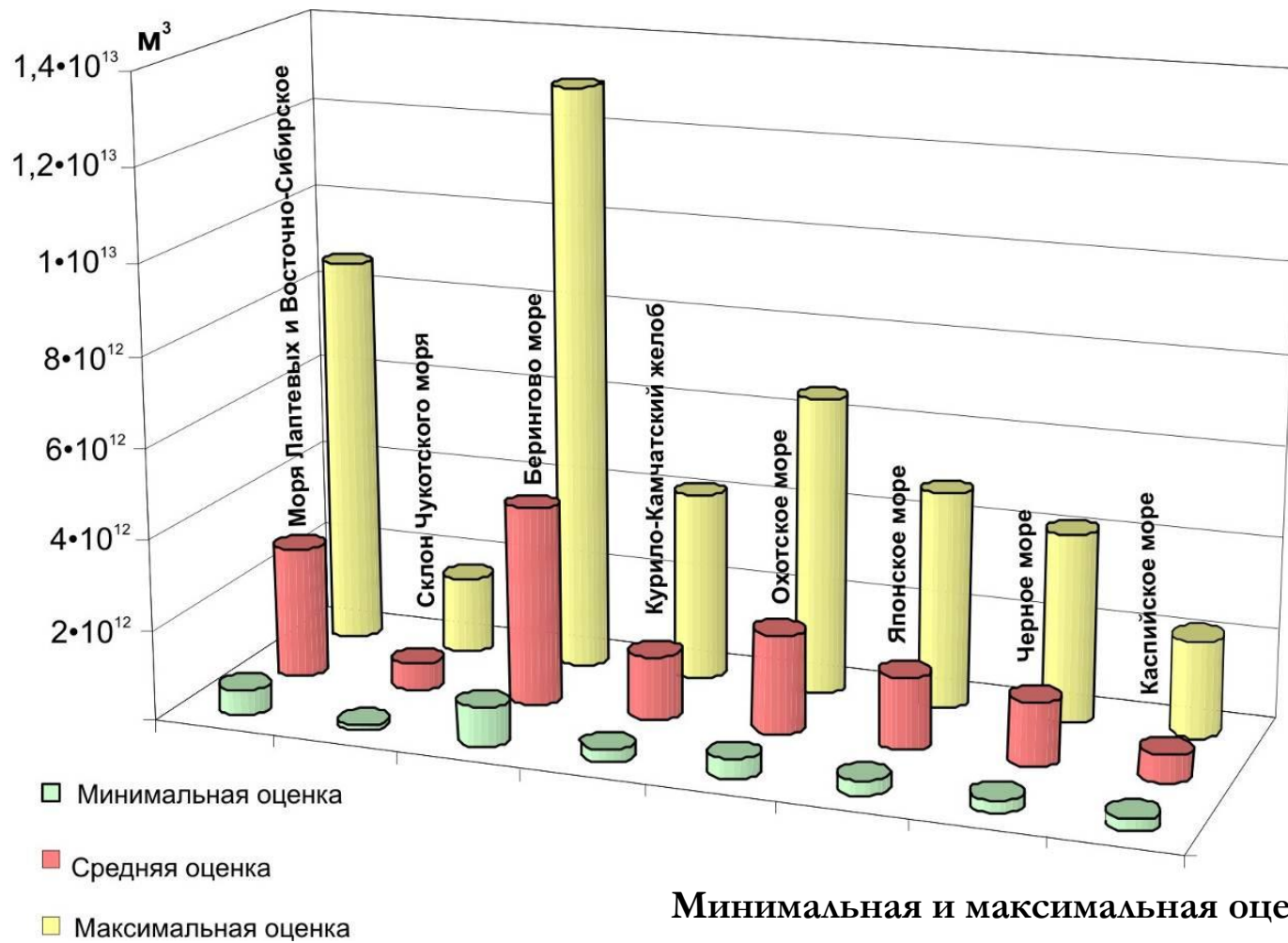


Основные морфоструктуры	Типы зоны стабильности и гидратов	Площадь, тыс. км ² (% от общей площади)	Пределы изменения мощности (средняя мощность в м)	Объем, м ³
Ложе океана	Придонный	3431	200-1000 (700)	2,4 * 10 ¹⁵
Континентальный склон	Придонный	950	200-800 (560)	5,3 * 10 ¹⁴
Арктический шельф России	Придонный	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



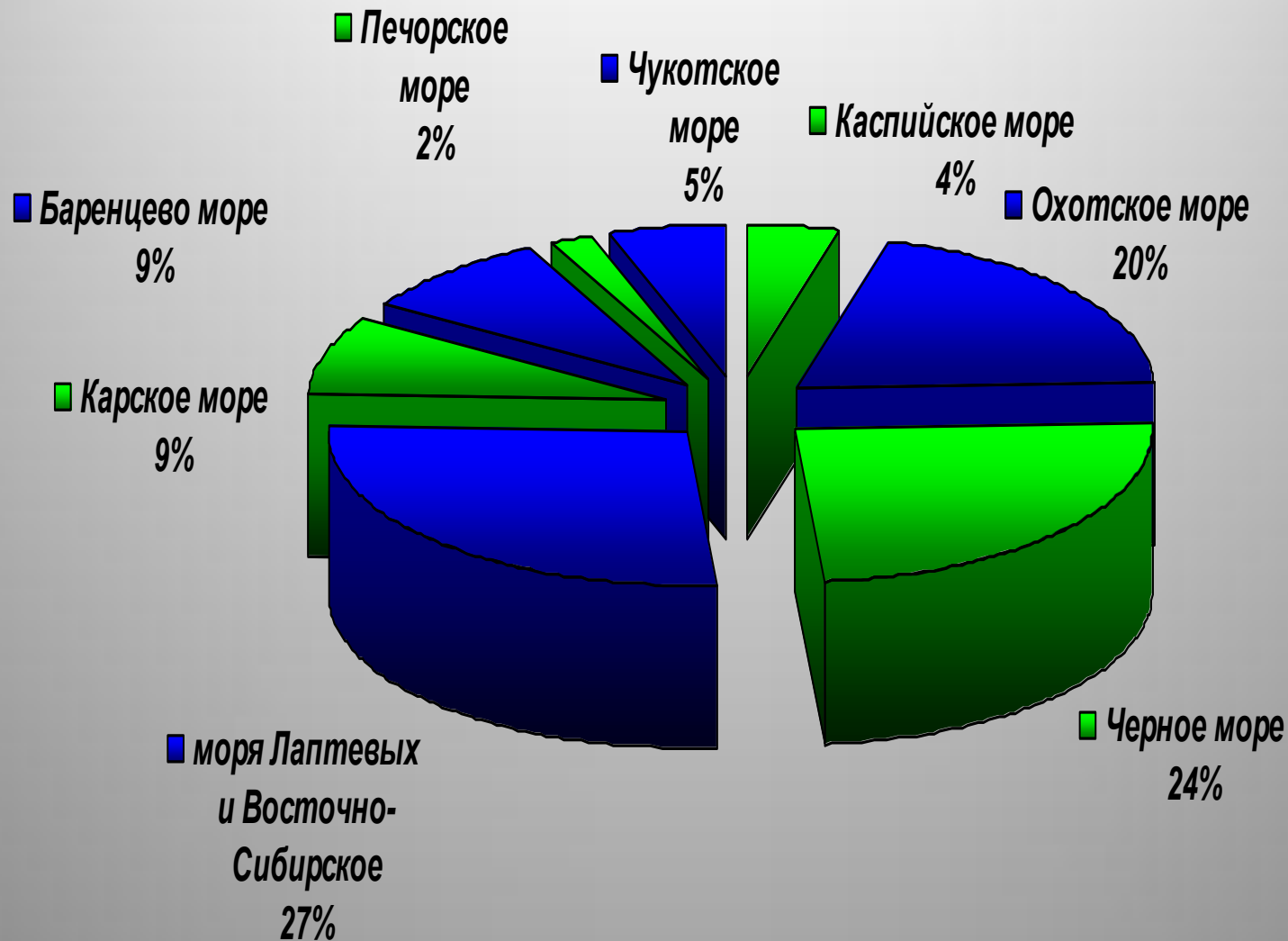
Потенциальные ресурсы газа в субмаринных газовых гидратах акваторий морей РФ

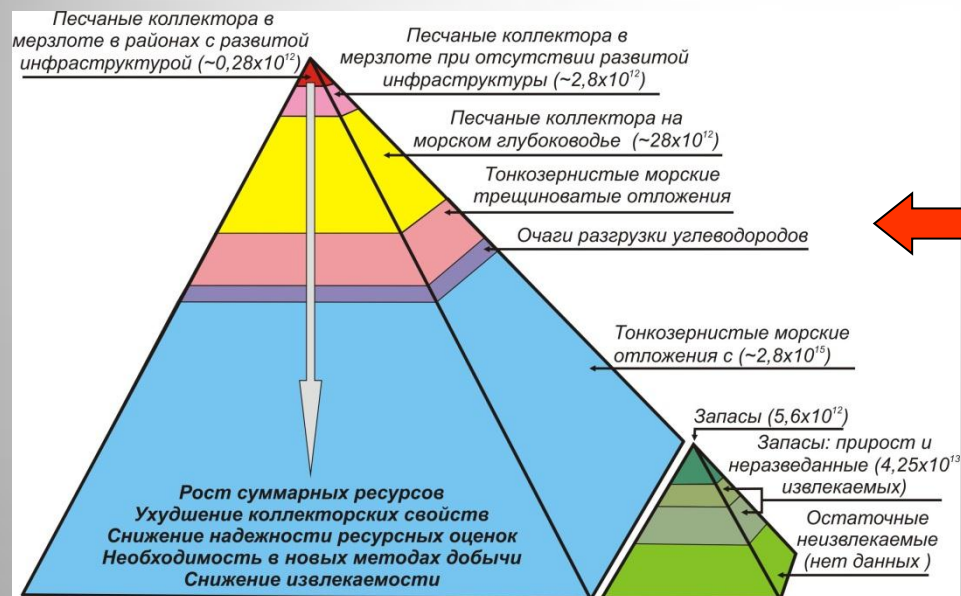


Минимальная и максимальная оценки суммарных прогнозируемых ресурсов газа в газовых гидратах морей России составляют величины 3,8 и 81 трлн. м³



Соотношение потенциальных ресурсов гидратного метана в морях РФ

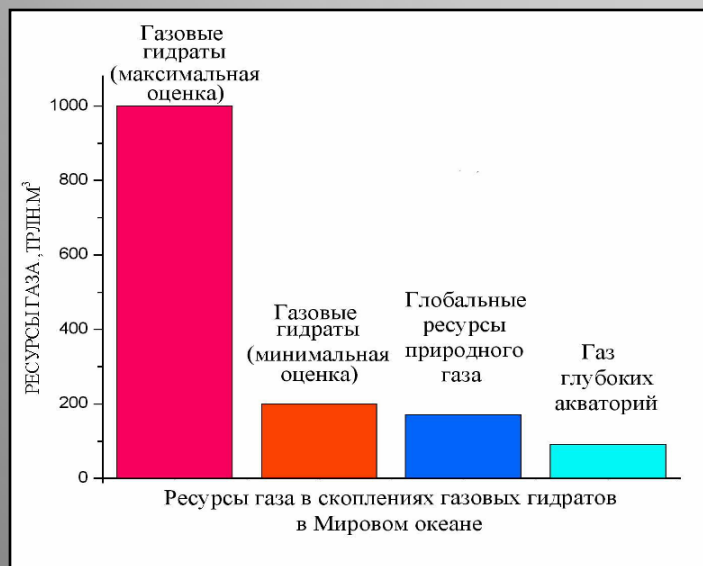




Глобальные ресурсы метана в газовых гидратах

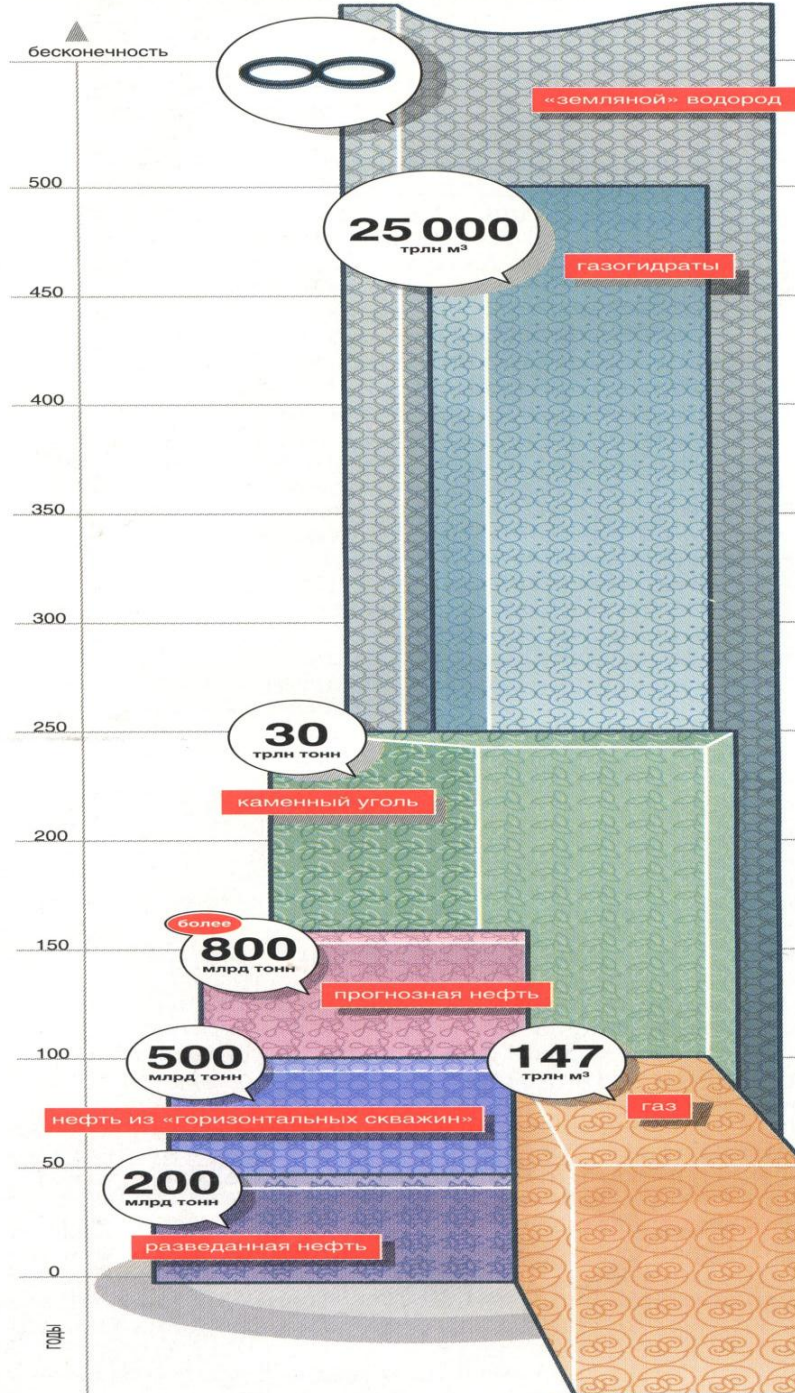
Глобальные запасы газа (исключая гидраты)

Boswell R., Collett T. ; 2006; Ruppel, 2011



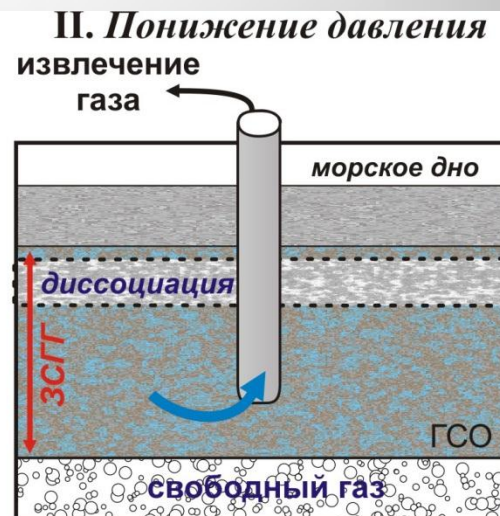
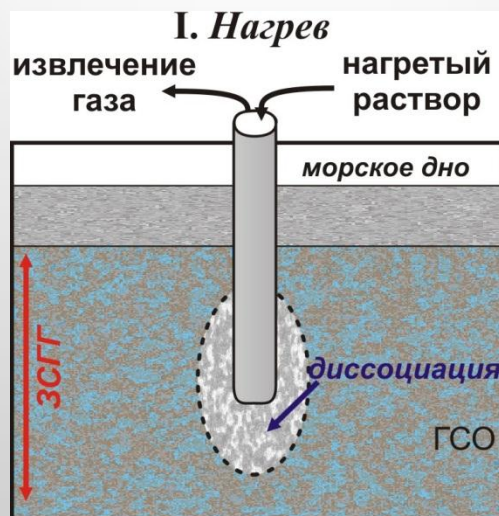
Walsh et al., 2009





Источник: Институт мировых ресурсов

Методы извлечения гиратного газа



III. Механическое разрушение

IV. Закачка ингибиторов

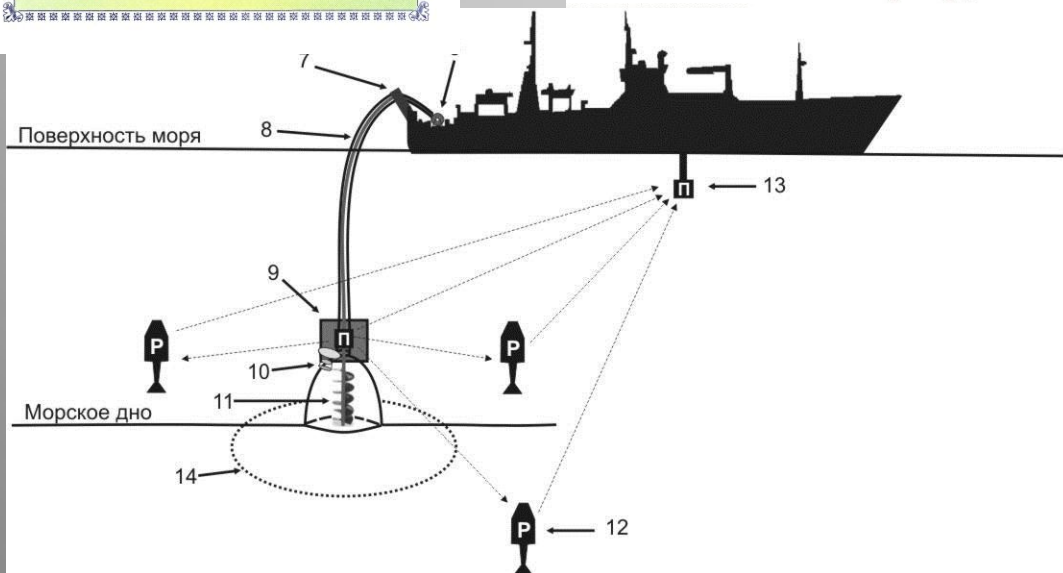
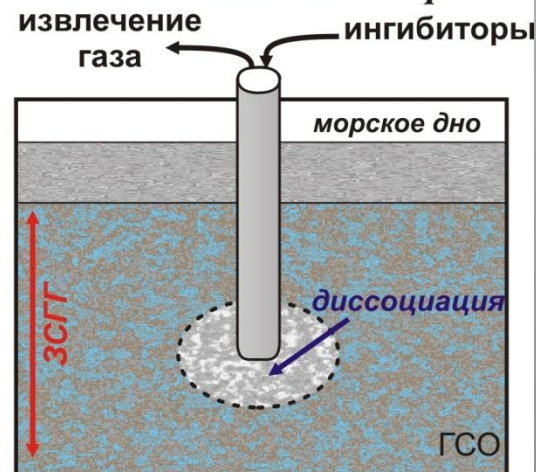
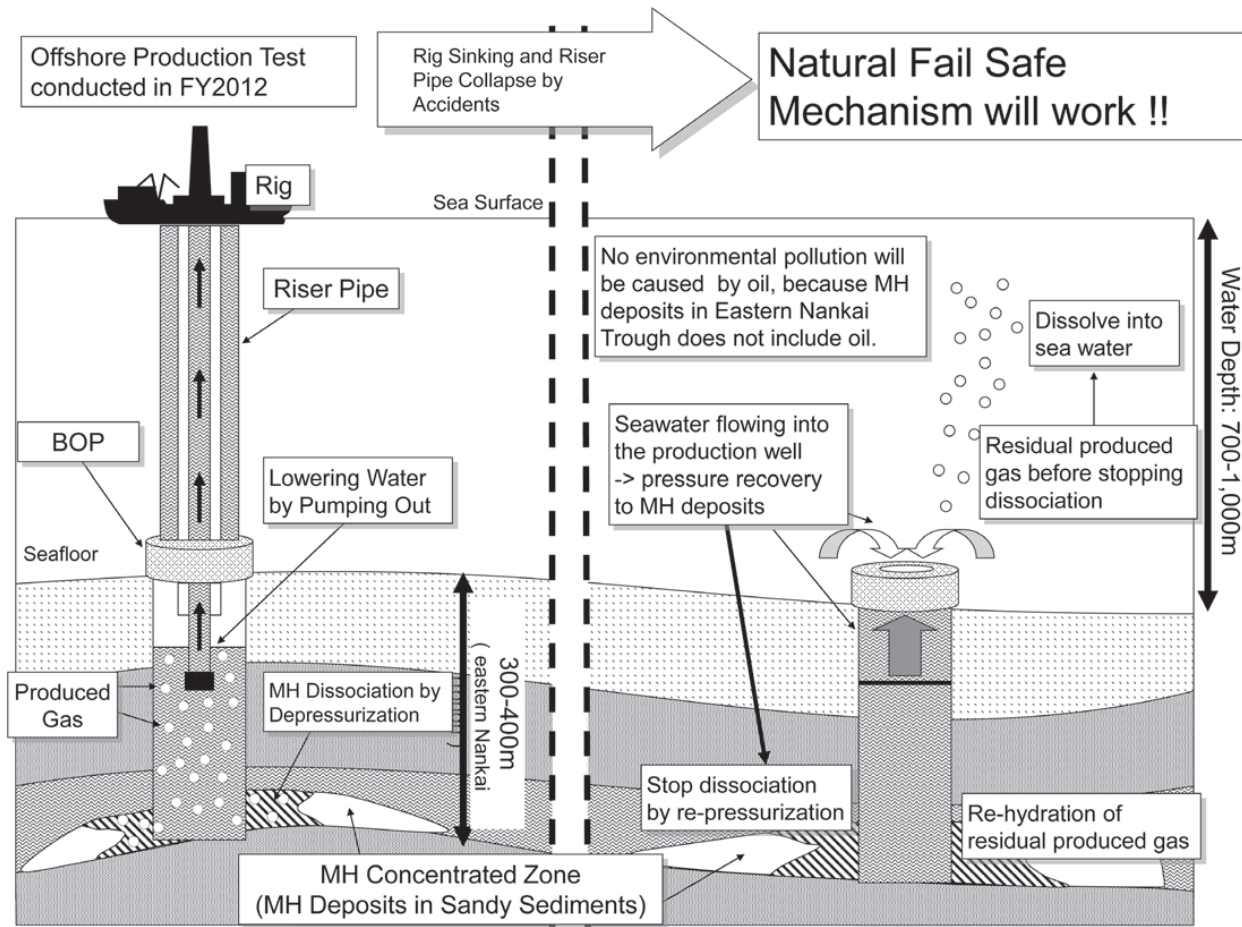
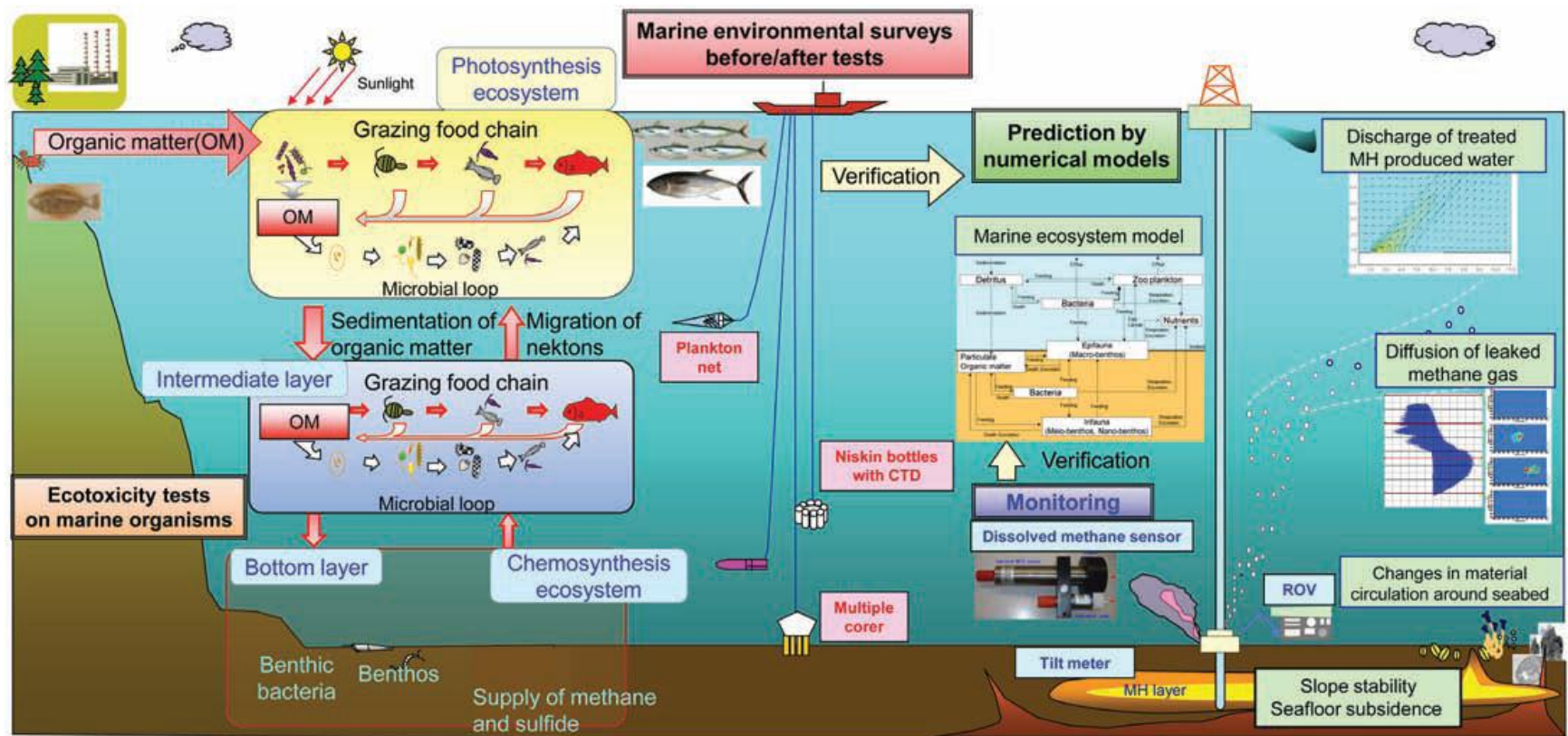


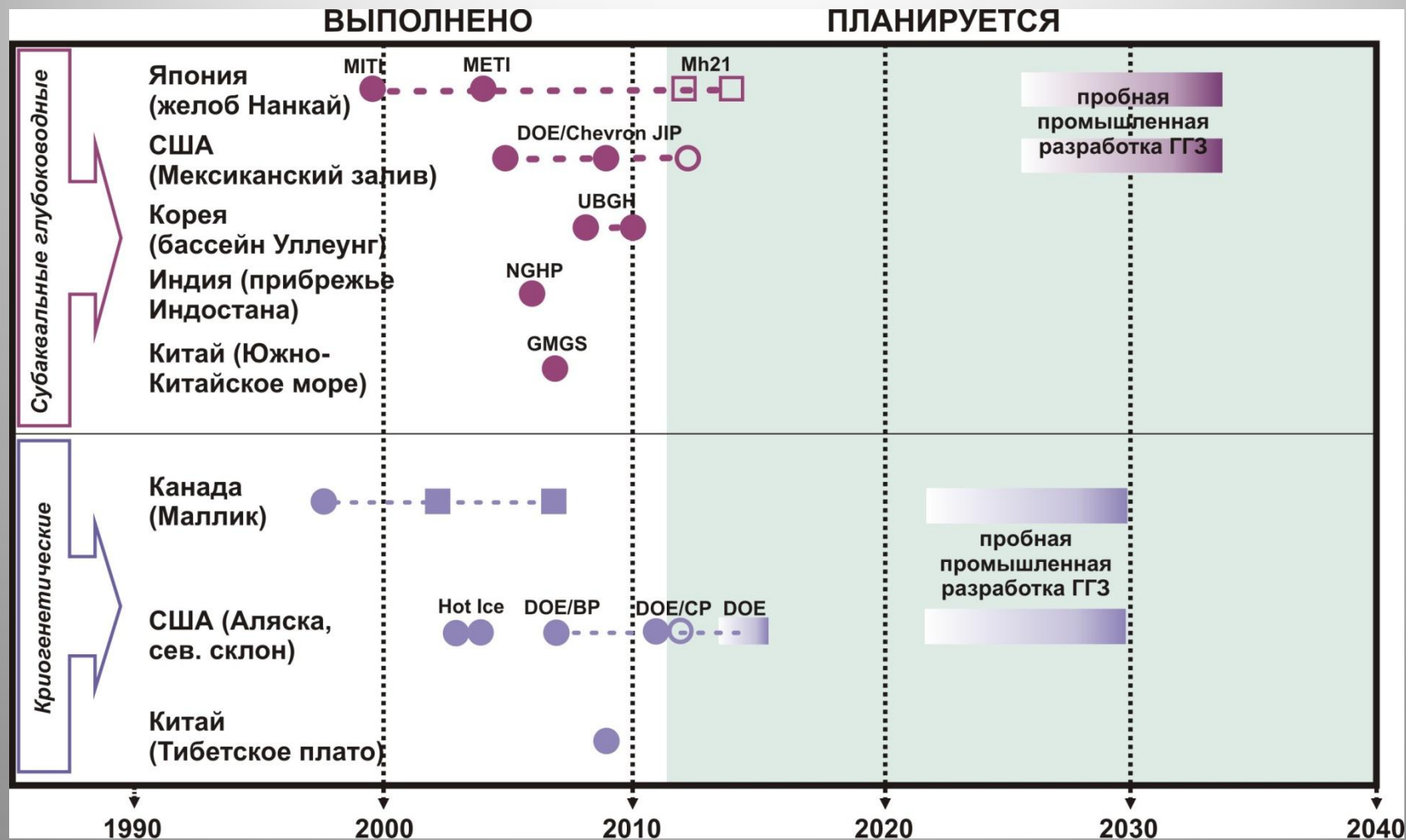
Схема добычи газовых гидратов (Япония)



ОВОС для добычной стадии



Дорожная карта деятельности ведущих мировых держав по поиску, изучению и опытной добыче газовых гидратов до 2040 г

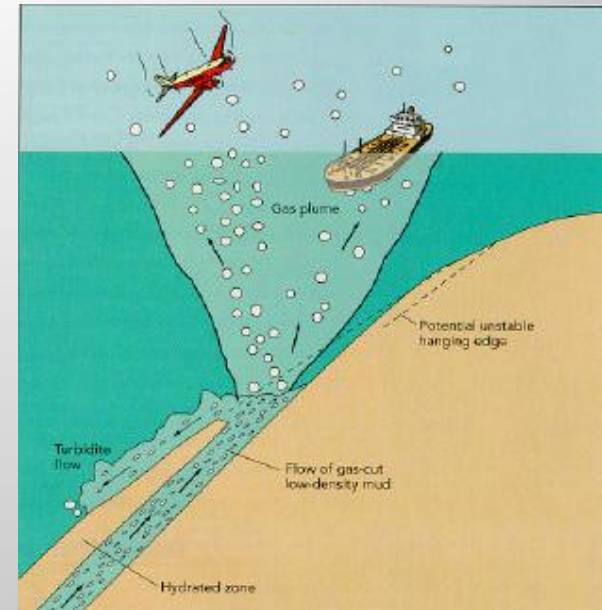


Промысловые геофизические исследования в скважинах и /или пробоотбор - круги. Опытно-экспериментальная добыча - квадраты. Залитые символы – завершённые работы, пустые – планируемые. Долгосрочная промышленная добыча – прямоугольники

Гидраты как фактор риска

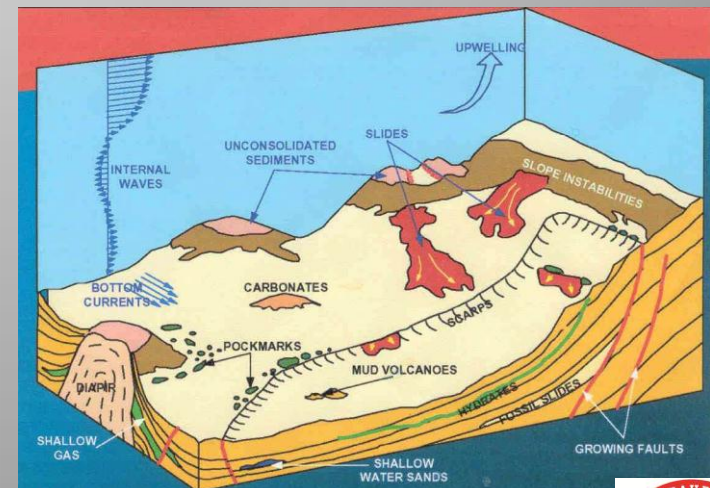
✓Устойчивость континентальных склонов

- Подошва зоны стабильности газовых гидратов может быть местом резкого снижения прочности толщи осадочных пород.
- Присутствие гидратов может препятствовать нормальному уплотнению и консолидации отложений. Поэтому, свободный газ, удерживаемый ниже ЗСГ, может оказаться под повышенным давлением.

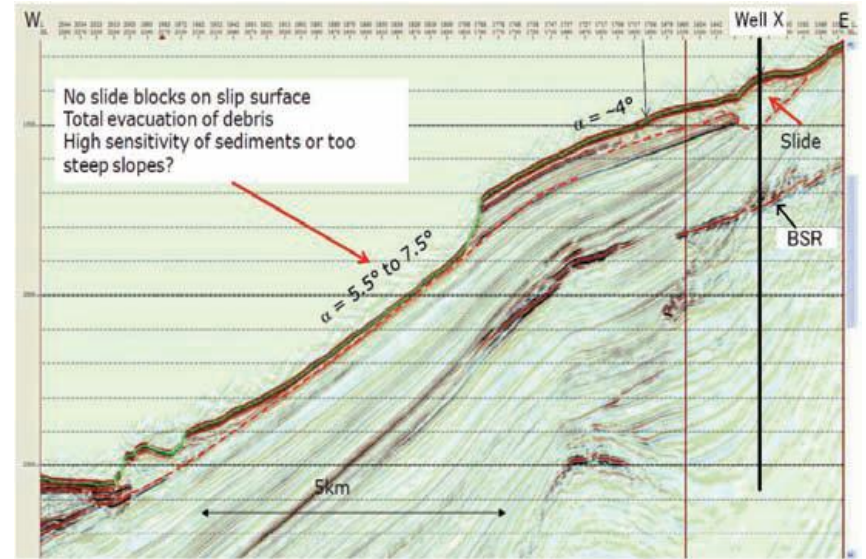
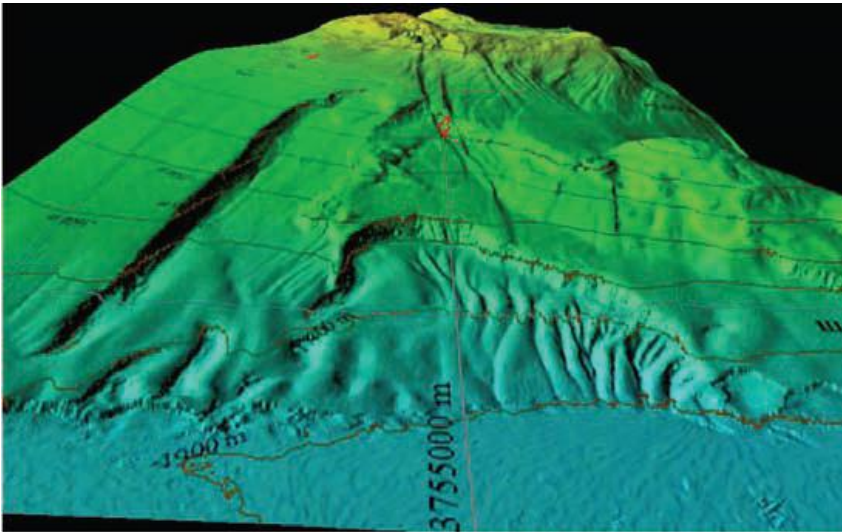


Petroleum Engineer, March 1998

- Подводные оползни, обусловленные наличием гидратов, могут повлиять на устойчивость морских платформ и трубопроводов. Нефтегазовые компании, ведущие разведку и разработку месторождений в глубоких водах, должны быть заинтересованы в развитии методов выявления неустойчивых участков морского дна



Подводный оползень, предположительно связанные с ГГ (жёлоб Нанкай, Тихий океан)





✓Риски, вызванные наличием/образованием/разложением газовых гидратов при освоении месторождений «нормальных» углеводородов

- Гидраты создают геохимический барьер на пути мигрирующих потоков нефти и газа, создают осложнения при бурении и закачивании морских скважин с подводным устьем и отрицательно влияют на устойчивость морских платформ.

- Циркуляция теплого бурового раствора в скважине может повлечь за собой повышение температуры окружающих скважину пород, содержащих природные гидраты. Плавление (разложение на газ и воду) гидратов при повышении температуры может повлечь за собой потерю устойчивости разбуренных осадочных пород. Потерю контроля над скважиной вплоть до взрыва.

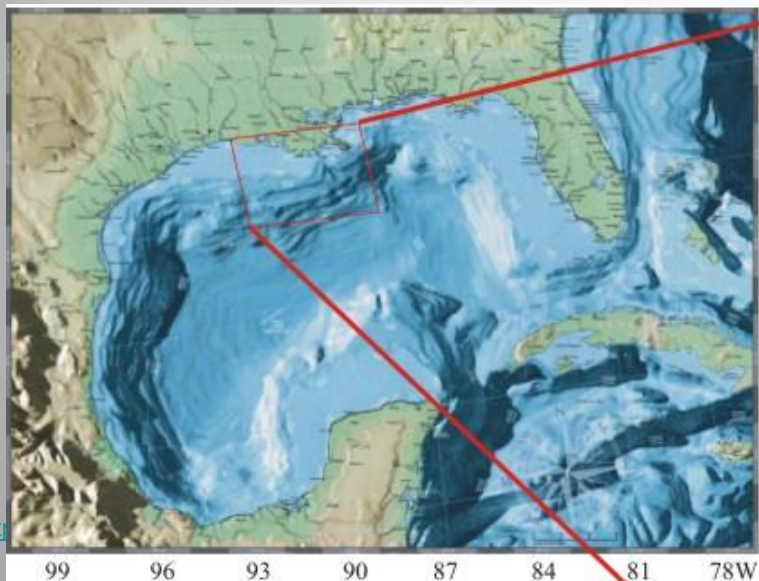
- Образование гидратов может привести к забиванию дроссельных линий, линий глушения скважины и обвязки противовыбросовых превенторов, затруднениям при регулировании давления в скважине, ограничению перемещения буровой колонны и ухудшению свойств бурового раствора вследствие его обезвоживания.



http://www.pet.hw.ac.uk/research/hydrate/hydrates_why.cfm

“From 1980 to 2006 there were 165 blowouts in U.S. waters, with over 500 worldwide,” wrote independent researcher Dan Zimmerman in a well-documented September 2009 report to Minerals Management Service (MMS), “and hydrates were the main contributor.”

Гидраты как фактор риска



Заключение

- Изучение природных газовых гидратов началось в 1969 г. в СССР В. Г. Васильев, Ю. Ф. Макогон, Ф.А. Требин и А.А. Трофимук зарегистрировали открытие «Свойства природных газов находиться в земной коре в твердом состоянии и образовывать газогидратные залежи».
- В 80-90е гг. СССР и затем РФ занимали одно из лидирующих положений в области изучения газовых гидратов.
- К началу XXI века ведущее положение в этой области занимают те страны, где организованы национальные научно-исследовательские программы, специально направленные на изучение различных аспектов образования газовых гидратов (США, Япония, Индия, Корея).
- В Российской Федерации нет ни одной централизованной программы по изучению природных гидратов, отсутствует финансирование, работы ведутся отдельными группами энтузиастов.
- С сожалением нужно констатировать отставание отечественной науки в этой области, которое в первую очередь, связано с отсутствием государственной поддержки.



Основные приоритеты развития геологии газовых гидратов

- **Необходима современная интеграция данных сейсморазведки, геотермического зондирования, геолого-геохимического изучения недр акваторий для выявления, изучения и ресурсной оценки скоплений газогидратов.**
- **Развитие и усовершенствование термодинамических моделей гидратообразования и диссоциации.**
- **Уточнение оценок содержания метана в гидратах акваторий на основе современного материала, отвечающего международному уровню.**
- **Совместные проекты между государственными и академическими институтами при финансовой поддержке госбюджета и нефтегазовых компаний.**
- **Выявление геоэкологических опасностей, связанных с образованием и разложением газовых гидратов в природных условиях при разработке месторождений нефти и газа (особенно в Арктике).**
- **Постановка опытно-методических и геолого-разведочных работ, направленных на поиск и изучение скоплений газовых гидратов.**

MARHINSKAY drill. Rig

**under Gas-Hydrates
after blowout**

Спасибо за внимание

Yakutia, 1963

$T = - 57\text{ }^{\circ}\text{C}$

$H=1800\text{ m}$

$H_{pf} = 1200\text{ m}$

$H_{t=0}\text{ }^{\circ}\text{C} = 1400\text{ m}$



© Makogon

• Методы и специфика оценок ресурсов газа в гидратах Мирового океана

Основные понятия и термины

Q_g - глобальная оценка количества метана в субмаринных газовых гидратах (м^3);

Q_r - региональная оценка количества метана в газовых гидратах (м^3);

Q_l - оценка количества метана в гидратах в пределах скопления (м^3);

g_g, g_r и g_l - удельные количества метана в гидратах на единицу площади, соответственно глобальное, региональное и локальное ($\text{м}^3/\text{км}^2$).

Величины Q_g в большинстве случаев получены в результате умножения следующих параметров:

S - общая площадь потенциально газогидратоносных акваторий;

p - коэффициент гидратонасыщения (степень заполнения гидратами порового пространства;

h - мощность гидратосодержащей толщи;

K - пористость отложений;

E - коэффициент расширения при разложении гидратов метана, который при полном заполнении гидратной решетки молекулами метана составляет

Методика оценки ресурсов газа в газовых гидратах, разработанная во ВНИИОкеангеология

Основа - анализ данных прямых наблюдений по конкретным гидратоносным объектам

13 более или менее достоверных оценок q_i , основанных на фактических наблюдениях, которые позволяют сделать вывод - среднее значение количества газа на единицу площади в скоплениях газовых гидратов составляет $6,5 \cdot 10^8 \text{ м}^3/\text{км}^2$.

$$q_i = 1 \cdot 10^8 - 2,5 \cdot 10^9 \text{ м}^3$$

$$\text{Max } q_i = 1 \cdot 10^{13} \text{ м}^3$$

- (1) скопления газовых гидратов по рангу равнозначны месторождениям газа и среднее значение удельного (на единицу площади) содержания газа в них является репрезентативным;**
- (2) потенциально газогидратоносные акватории Мирового океана в целом условно можно отнести к уровню мегапровинций;**
- (3) удельные количества газа в гидратах распределены по тому же закону, что и плотности запасов обычного газа.**

**Распределение плотностей запасов газа в нефтегазоносных
объектах (по Назарову, 1989; табл.1, стр.8)**

Нефтегазоносный объект	Плотность запасов газа, м ³ / км ²	
	Средняя	пределы изменений
Мегапровинция	$4,8 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6 - 1,4 \cdot 10^7$
Провинция	$1,6 \cdot 10^7$	$2 \cdot 10^6 - 6,9 \cdot 10^7$
Область	$4,5 \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^6 - 5,4 \cdot 10^8$
Район	$8,7 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^6 - 9,2 \cdot 10^8$
Месторождение	$6,2 \cdot 10^8$	—

***Среднее значение плотности запасов газа в месторождениях
превышает ее среднее значение в мегапровинциях приблизительно
в 130 раз.***

**Глобальное удельное содержание метана в газовых гидратах (плотность
запасов в пределах всех потенциально газогидратоносных акваторий),
согласно закономерностям распределения плотностей запасов в
газоносных объектах, не должно превышать $5 \cdot 10^6$ м³/км²**