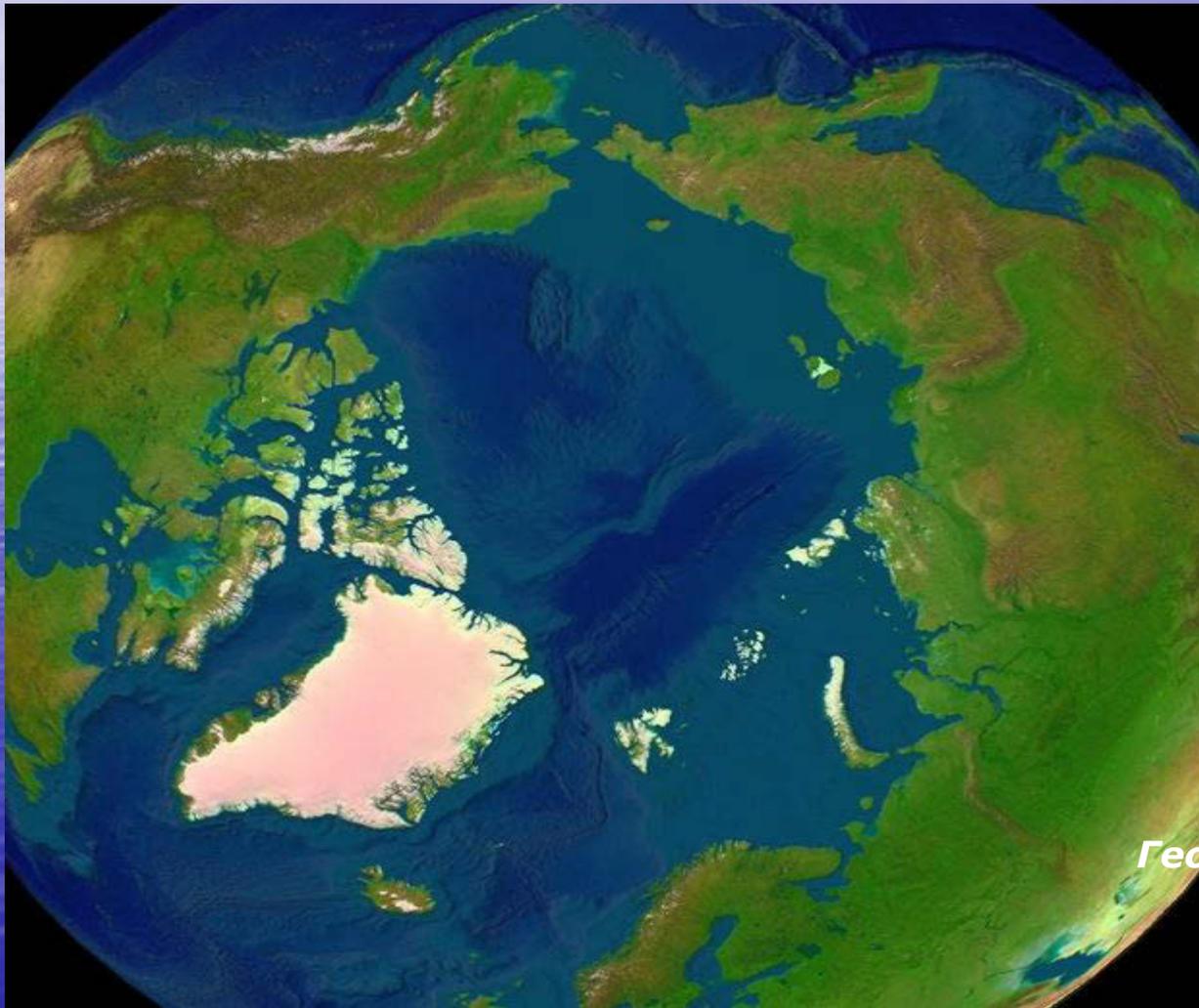


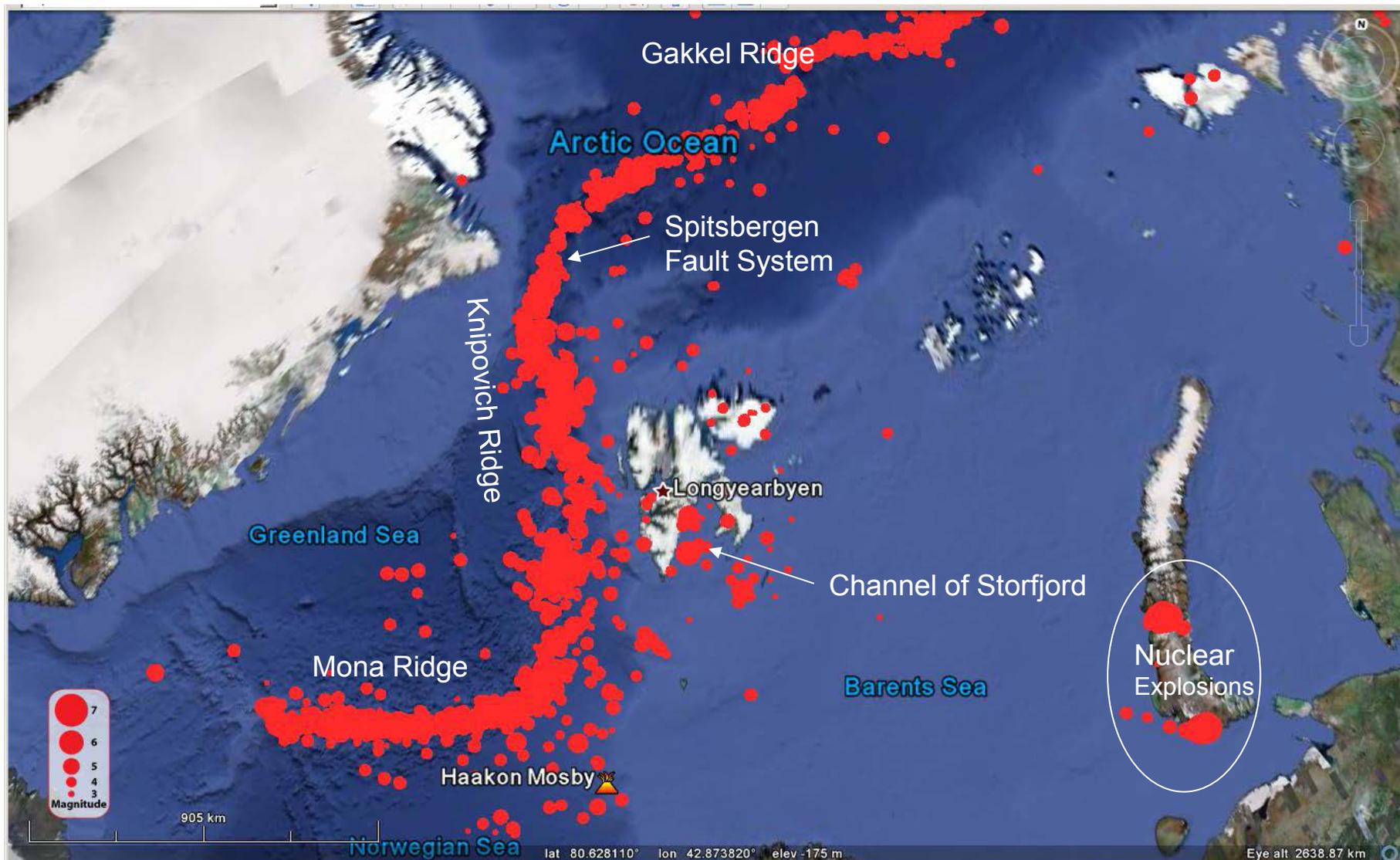
# ПОТЕПЛЕНИЕ АРКТИКИ И НОВЫЕ ВЫЗОВЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ WARMING IN THE ARCTIC AND NEW CHALLENGES FOR INDUSTRIAL SAFETY



ANATOLY VINOGRADOV  
KOLA REGIONAL  
SEISMOLOGICAL CENTRE  
GS RAS

А.Н.ВИНОГРАДОВ, ,  
Кольский филиал  
Геофизической службы РАН  
г. Апатиты

# Землетрясения Арктики и Северной Атлантики за 1964-2010 гг. Earthquakes in the ARCTICA & NORTHERN ATLANTIC OCEAN FOR 1964-2010



**На шельфе Арктики на дне моря сохранились погребенные газонасыщенные слои криолитозоны: их общая площадь 3 млн. кв. км**  
**Underwater gas-bearing permafrost occupies 3 mln sq.km on the Russian Arctic shelf**

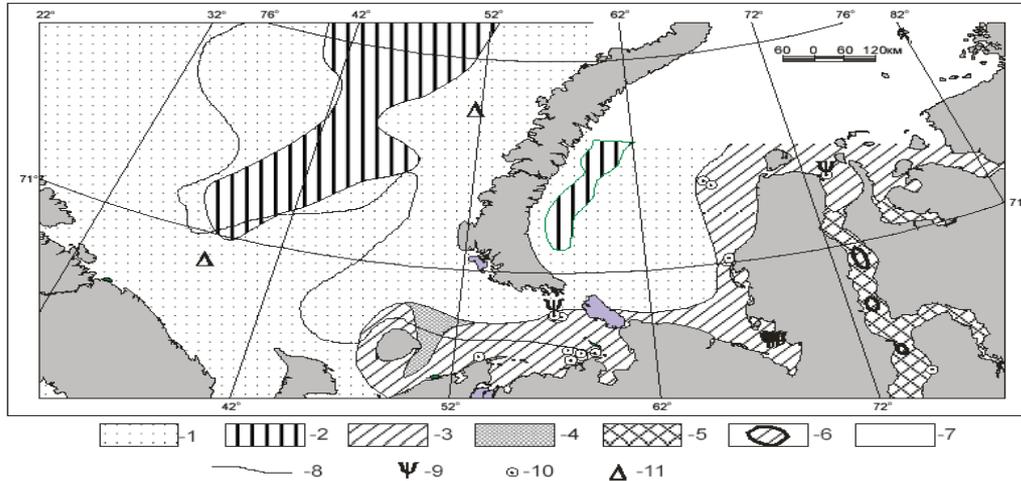
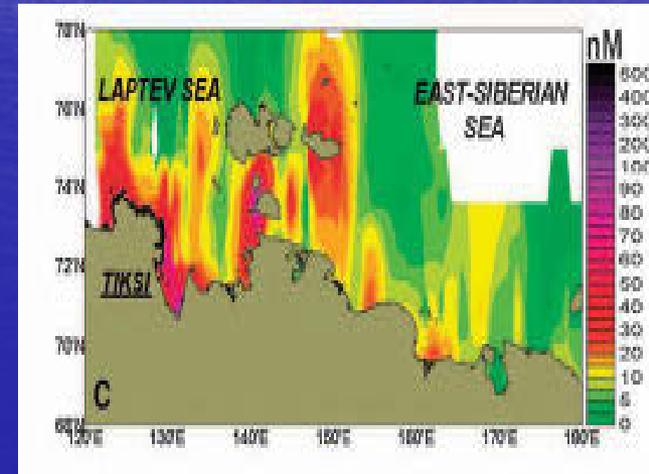


Рисунок. Газонасыщенные осадки Баренцево-Карского шельфа

1- глубоководный районы шельфа Баренцева и Карского морей, 2- зона стабильности потенциальных газогидратов метана, 3-область распространения газонасыщенных осадков, 4- зона приколлувеевского талика, 5- газонасыщенные осадки эстуариев, 6- акустические окна (перуглубленные впадины), 7- отсутствие данных, 8- изотерма  $\theta^{\circ}\text{C}$  придонной воды, 9- точки скважин, где имели место выбросы, 10- точки скважин, вскрывших мерзлые грунты, 11- точки скважин, в которых отмечены нефтепооявления

Аномальные концентрации метана в водах Восточной Арктики (до 1400 раз выше фона), по N.Shakhova, I.Semiletov (Science, 2010)  
 Methane anomaly in sea water over Eastern Arctic shelf



**Распределение газонасыщенных мерзлых пород на шельфе Западной Арктики (по Н.А.Костину, МГТУ, 2010).**

**Permafrost WITH GAS-HYDRATES on the West Arctic shelf**

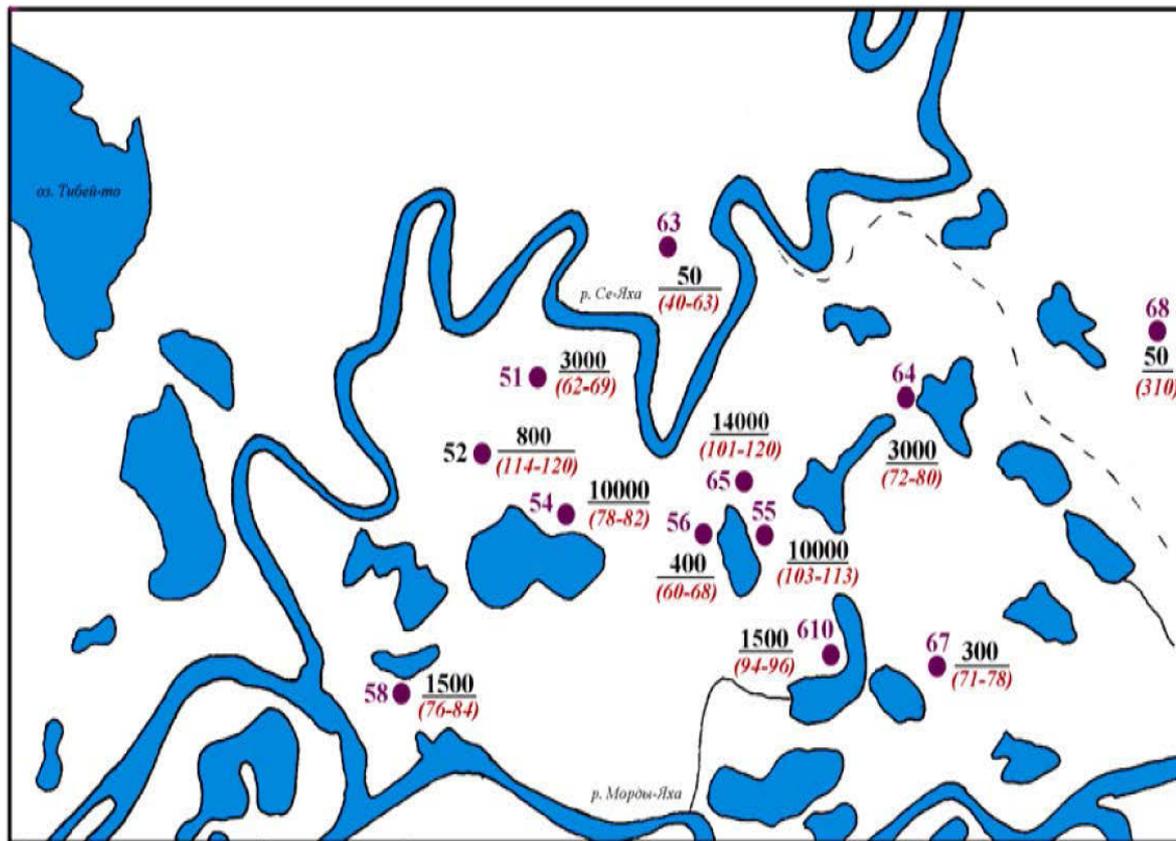
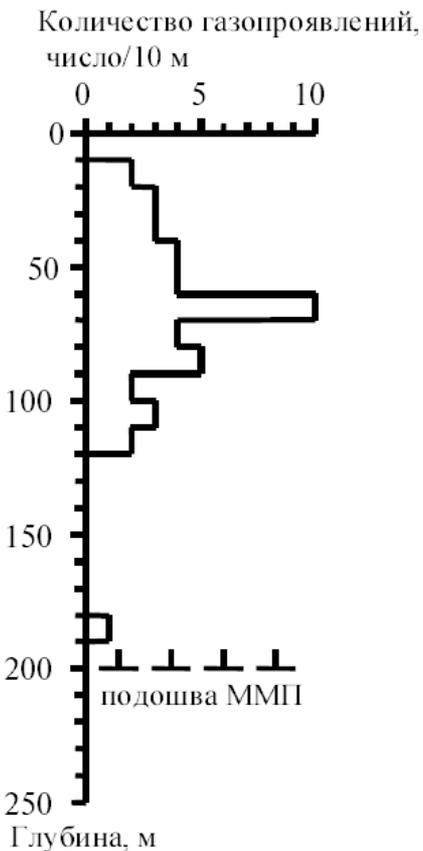


# Gas release of permafrost at the Bovanenkovo gas field (Yamal)

## Выделения газа из слоя вечной мерзлоты над Бованенковским месторождением (Ямал)

(By Yakushev et al., 2003)

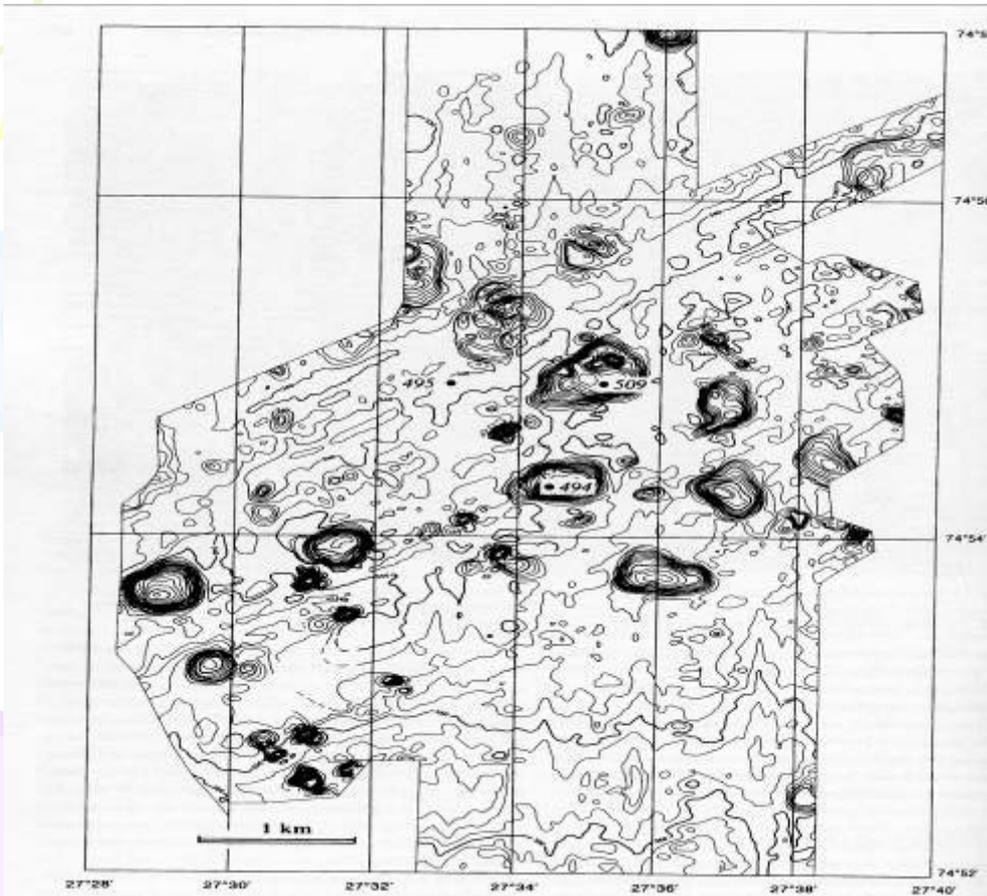
масштаб: 1:100000



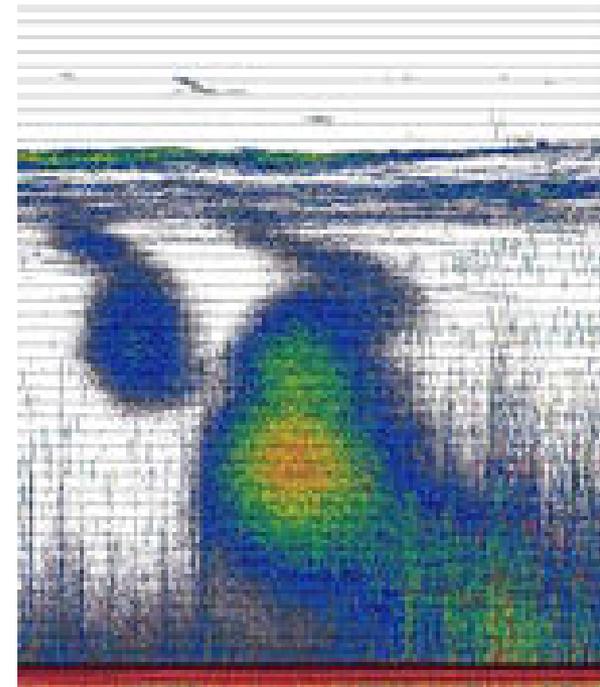
Number of gas streams at depth 0-250 m

Gas release of different wells: cubic meters per day / depths

# Дегазация дна через грязевые вулканы и покмарки Degassing of sea bottom via mud volcanoes and pockmarks



Поле гигантских покмарков в Зюйдкапском желобе  
Big pockmark field in Storfjorden trough



Gas flow of a deep level HMMV  
Восходящий поток метана из очага  
вулкана Хакон Мосби

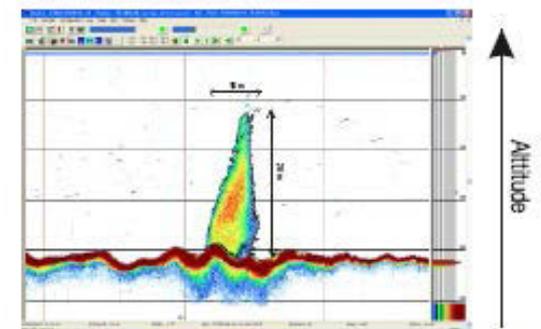
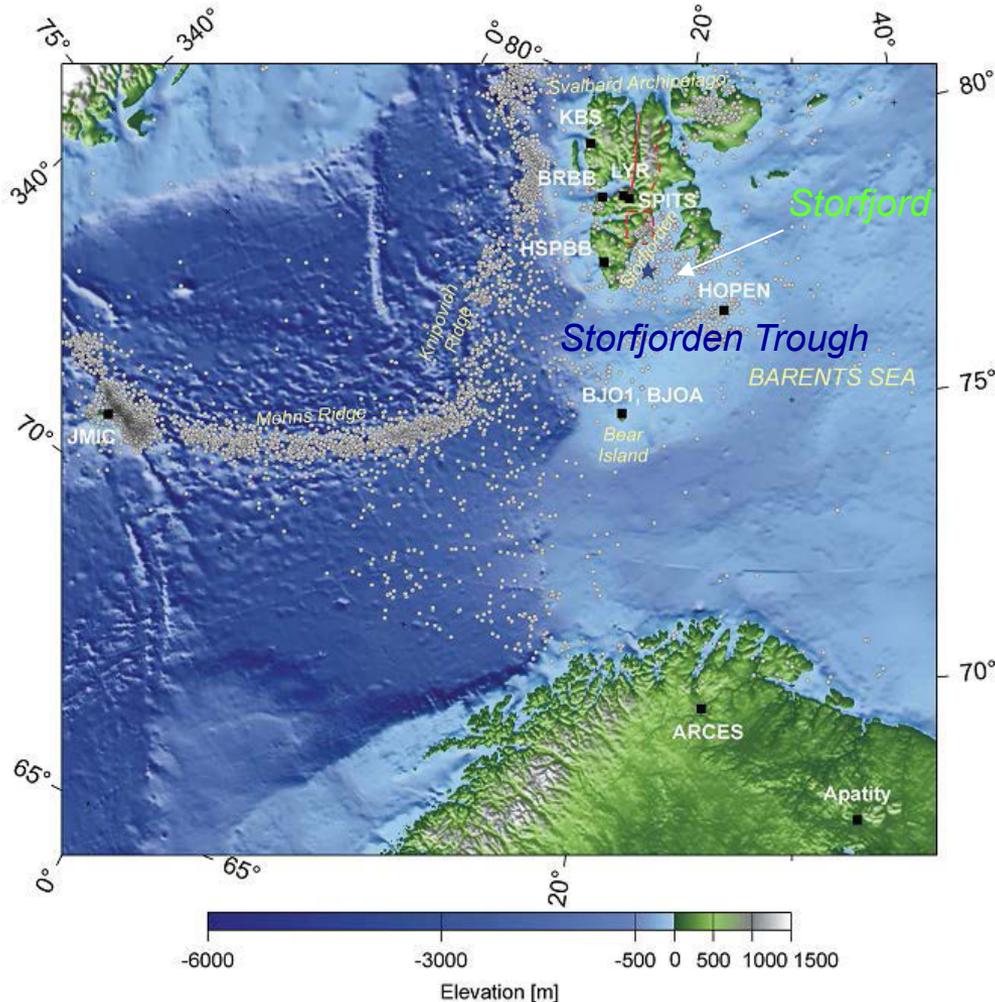


Figure 4. Gas flare detected with the 200 MHz ROV VICTOR mounted echo-scanner during Vicking survey in a water depth of 1280 m. Gas flare vertical acoustic cross-section maximum length and height is respectively 1.8m and 2.8m with mean volume backscattering strength of 41 dB re 1 m<sup>2</sup> as estimated by Moviewer software.

Expulsion of free gas at Håkon Mosby Mud Volcano :  
Vicking cruise (2006) results

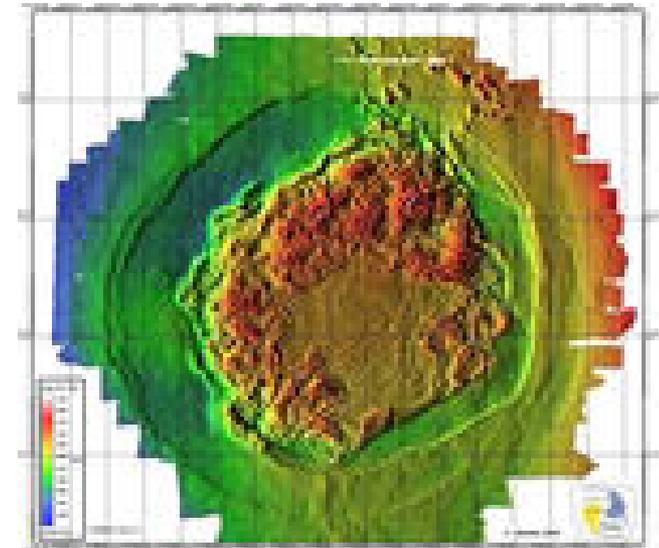
# STORFJORD & STORFJORDEN TROUGH – THE MAIN ARENA FOR “DIFFUSIVE” SEISMICITY

SVALBARD



Seismicity links with mad volcanoes

Диффузная сейсмичность на шельфе связана с грязевым вулканизмом.



Hakon Mosby Mad Volcano at Bear Island

Pirly M., Schweitzer J., Ottemöller L. et al. Preliminary Analysis of the 21 February 2008, Svalbard (Norway), Seismic Sequence // Seismological Research Letters. 2010. V. 81, № 1. P. 63–75.

Стурфиорд и Зюйдкапский желоб – главные зоны диффузной сейсмичности на западной окраине Баренцевоморского шельфа

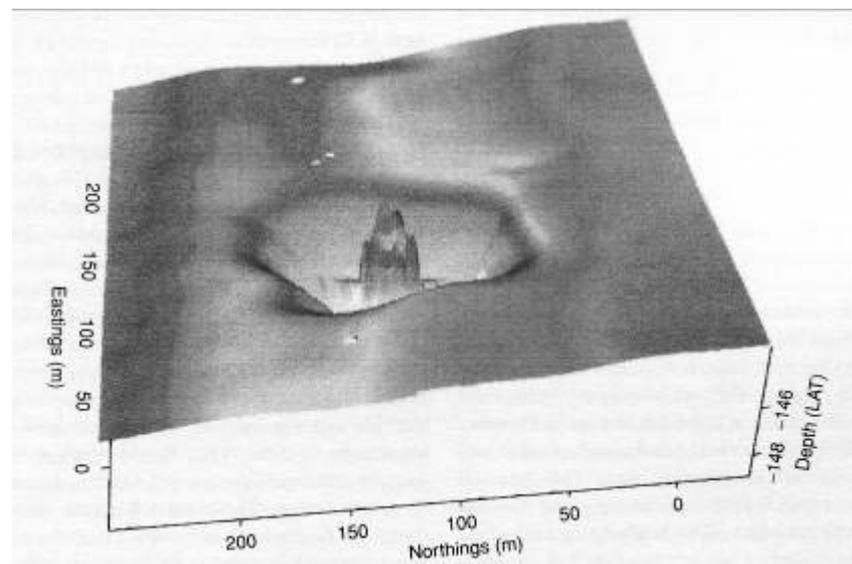
# GIANT GAS BLOW OF the Northern SEA BOTTOM ГИГАНТСКИЕ ВЫБРОСЫ ГАЗА СО ДНА СЕВЕРНОГО МОРЯ

250 METERS GAS BULB



ГАЗОВЫЙ ПУЗЫРЬ 250 МЕТРОВ В ДИАМЕТРЕ

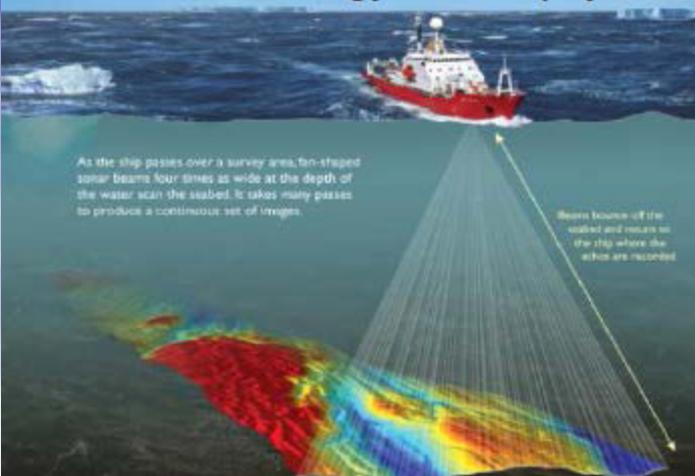
SINKED SHIP INTO GIANT POCKMARK



ТРАУЛЕР, ЗАТОНУВШИЙ В 1923 г.,  
В ЦЕНТРЕ ГИГАНТСКОГО ПОКМАРКА

FOTOS OF BOOK “Seabed Fluid Flow. The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment”,  
2009, by Alan Judd & Martin Hovland.

# Polar Marine Geology and Geophysics



# Centre for Arctic gas hydrate, environment and climate (CAGE)

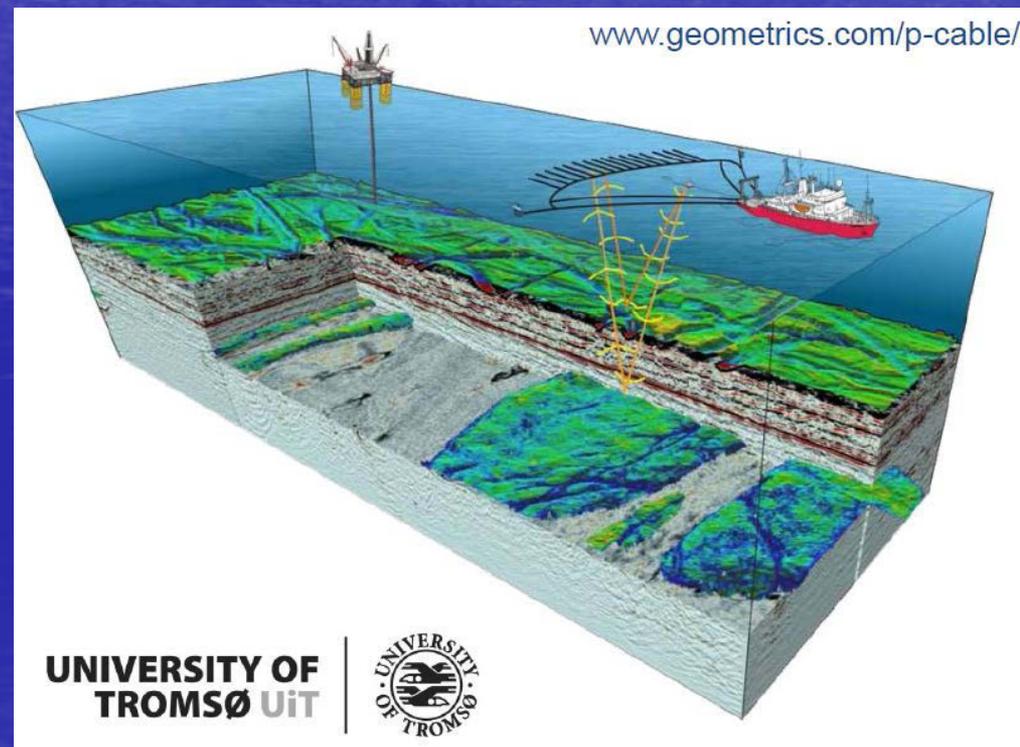


Jurgen Mienert

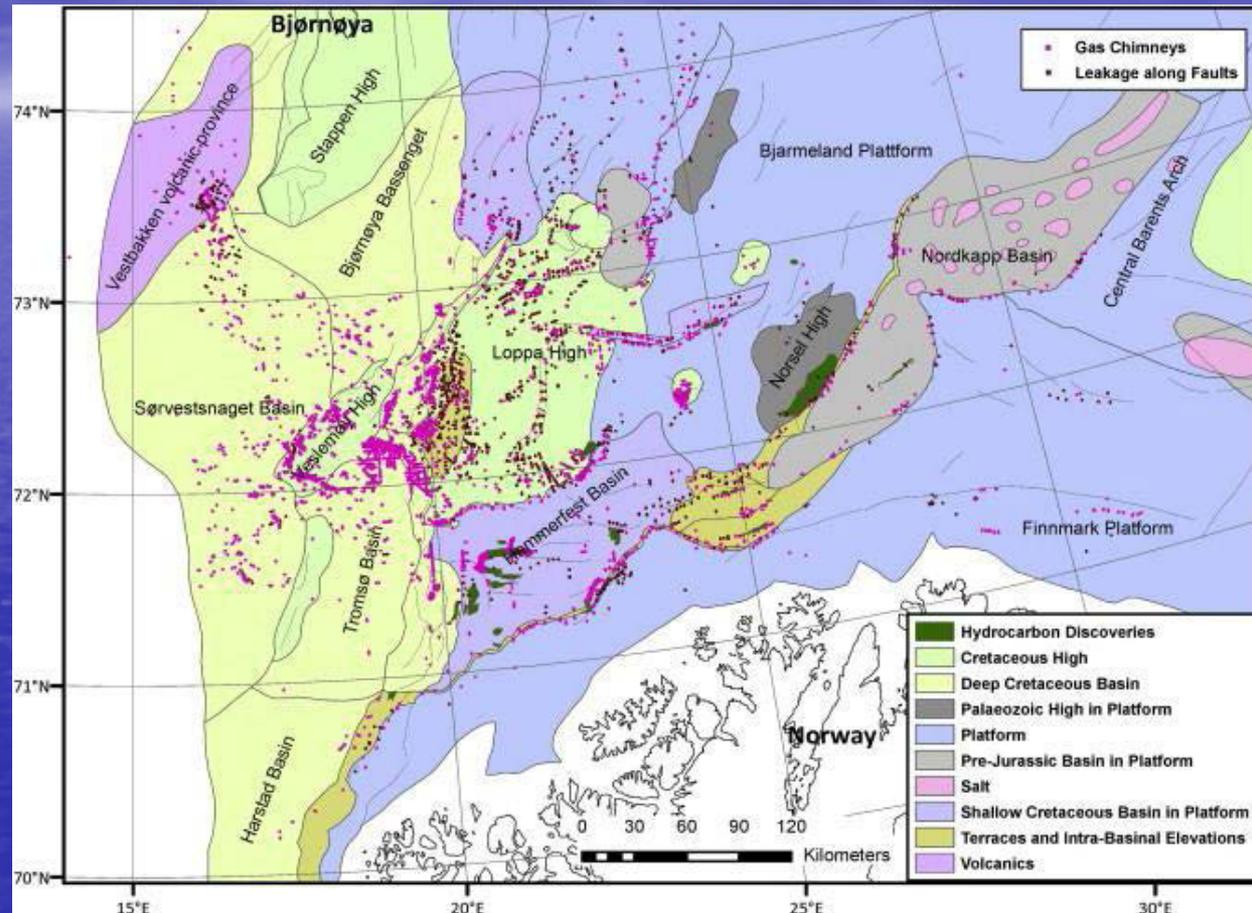
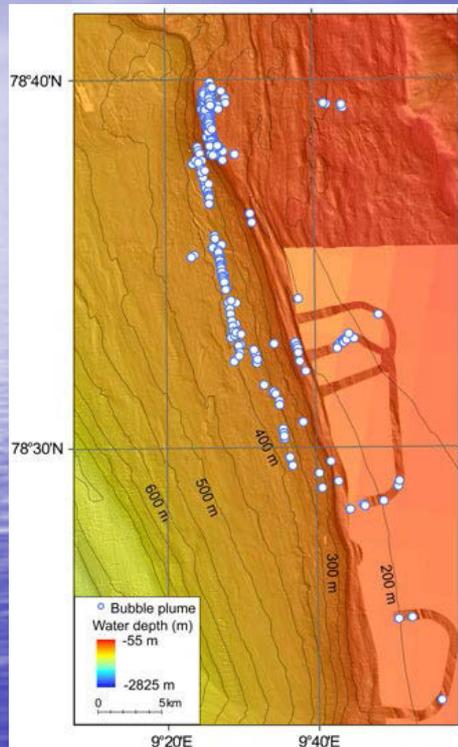


**R/V Helmer Hanssen:** Existing sea-ice-going research vessel

**2015:** Norway's new state-of-the-art, ice-breaking research vessel stationed in Tromsø used by NP and UiT.



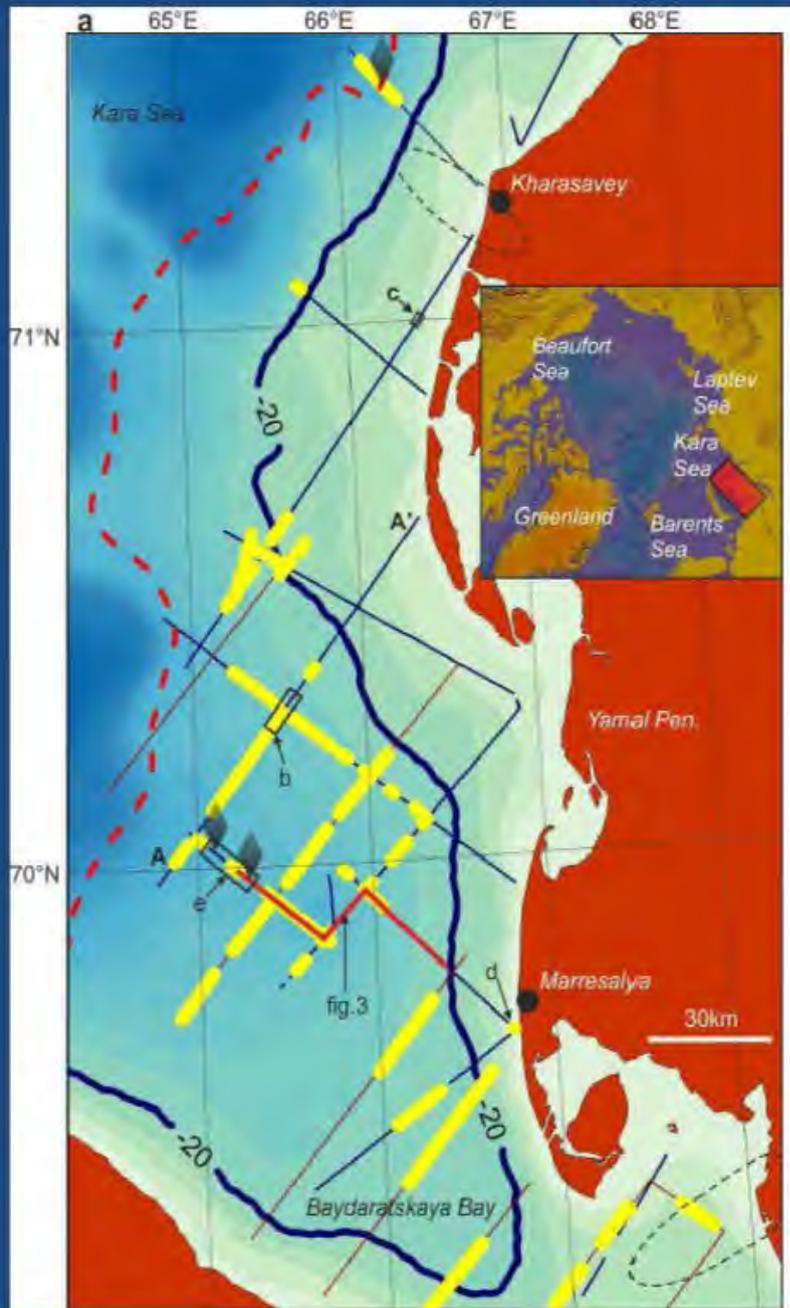
# МЕТАНОВЫЕ СТРУИ НА ШЕЛЬФЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ



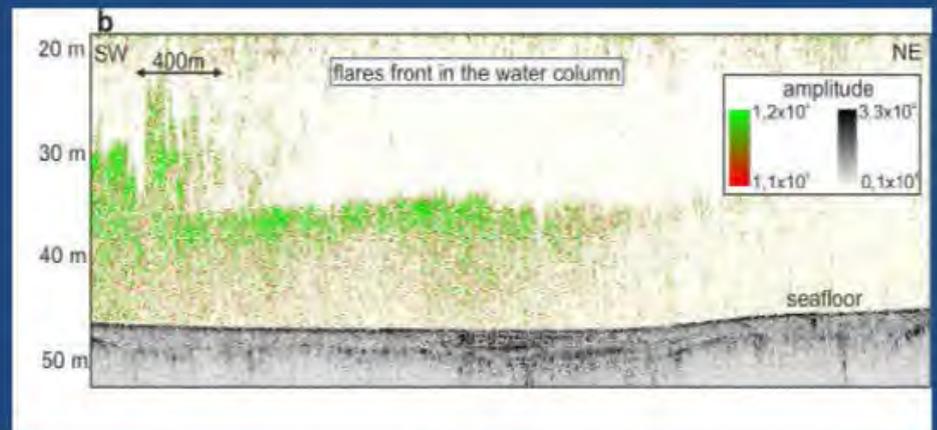
Bathymetric map of the zone of bubble plumes at NW Svalbard margin, observed in 2008 (from K. E. Thatcher et al., 2012)

Gas release in the SW Barents Sea  
 (by Vadakkepuliambatta et al., 2013)

# Gas release and permafrost decay in Kara Sea



- Work performed by Alexey Portnov (from Russia), PhD Student funded by Statoil
- Research cruises conducted by Russian colleagues in St. Petersburg
- Gas release is widespread over an area of at least 7,500 km<sup>2</sup> at the South Kara Sea Shelf



Portnov et al. (In Review)

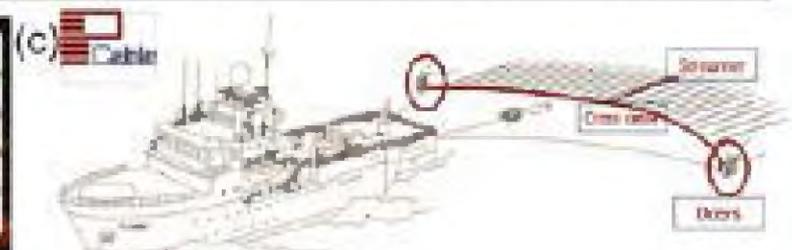
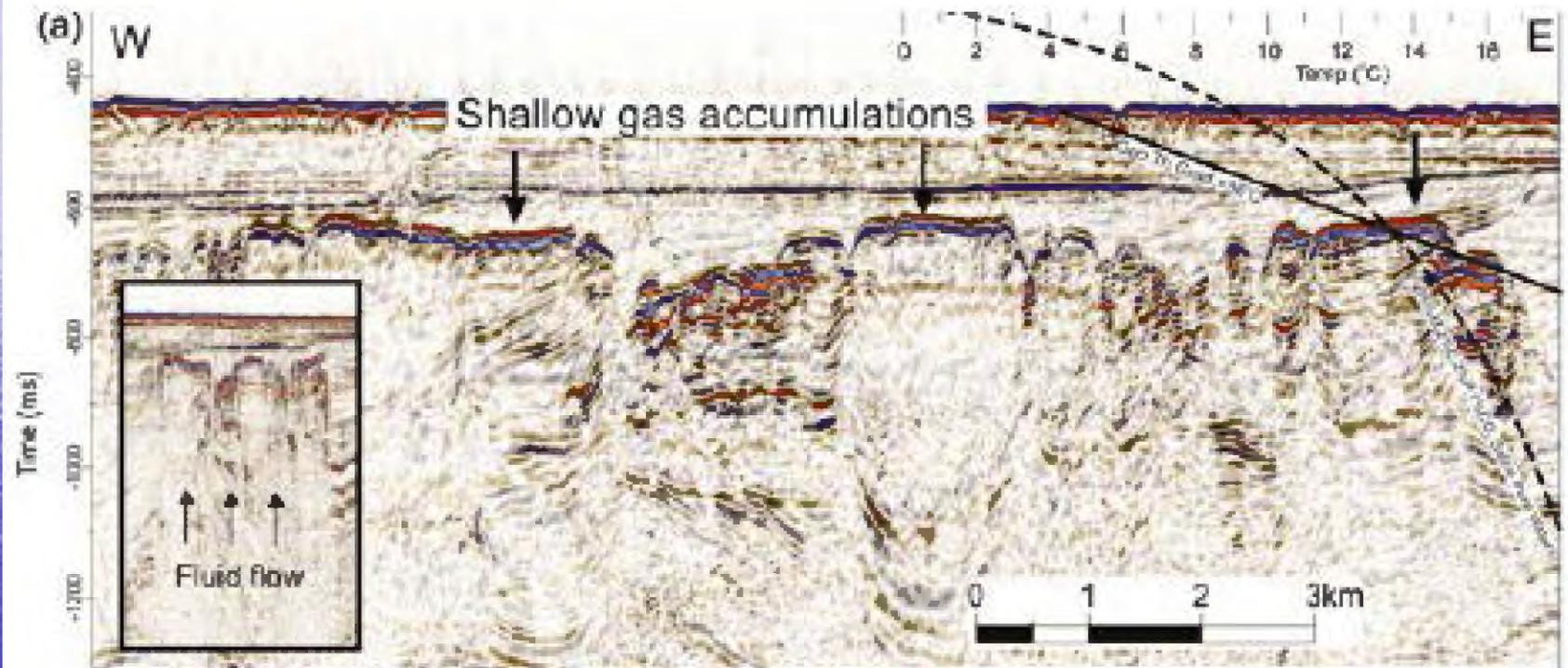
# P-CABLE HIGH-RESOLUTION 3D SEISMIC IMAGING OF HYDRATE OCCURRENCES OVER UNUSUALLY LARGE GAS CHIMNEYS IN THE SW BARENTS SEA

<sup>1</sup>Stefan Bünz, <sup>1</sup>Sunil Vadakkepuliymbatta, <sup>1</sup>Jürgen Mienert, <sup>2</sup>Ola K. Eriksen, <sup>2</sup>Frode N. Eriksen, and <sup>3</sup>Sverre Planke

<sup>1</sup> Department of Geology, University of Tromsø, Tromsø, Norway

<sup>2</sup> P-Cable 3D Seismic AS, Oslo, Norway

<sup>3</sup> Volcanic Basin Petroleum Research AS, Oslo, Norway

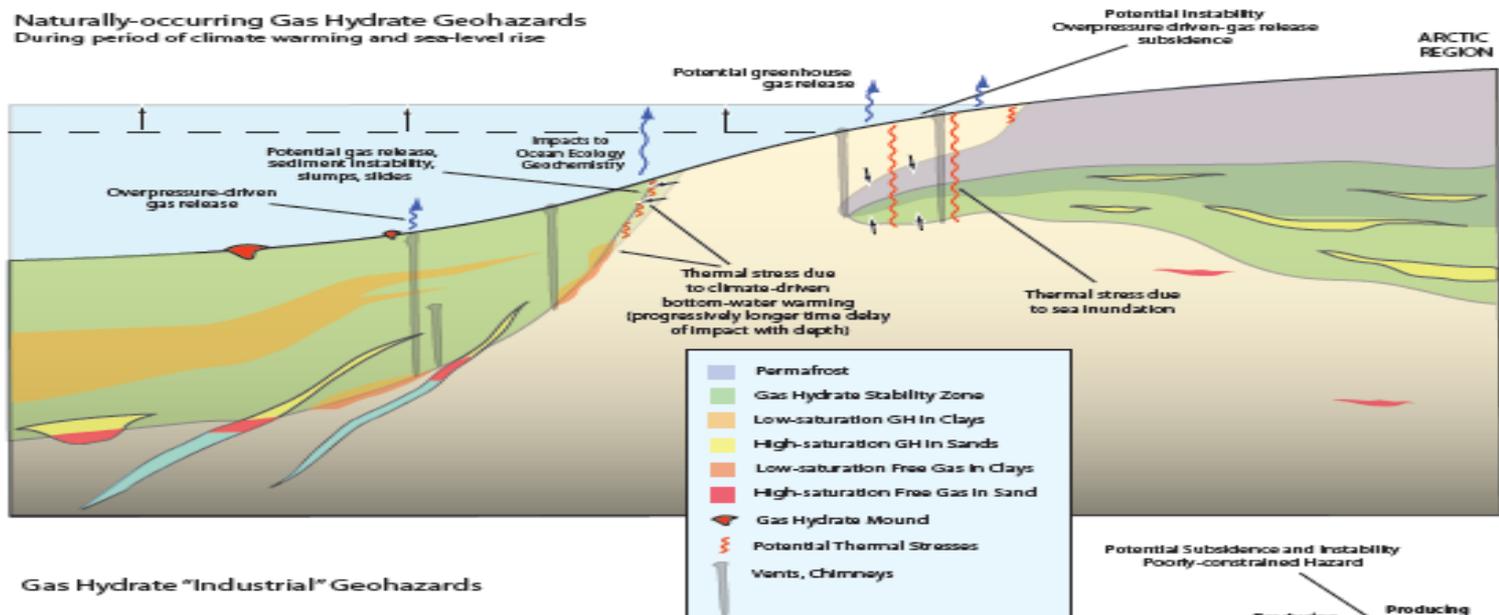


# Overview of has-hydrate geohazards

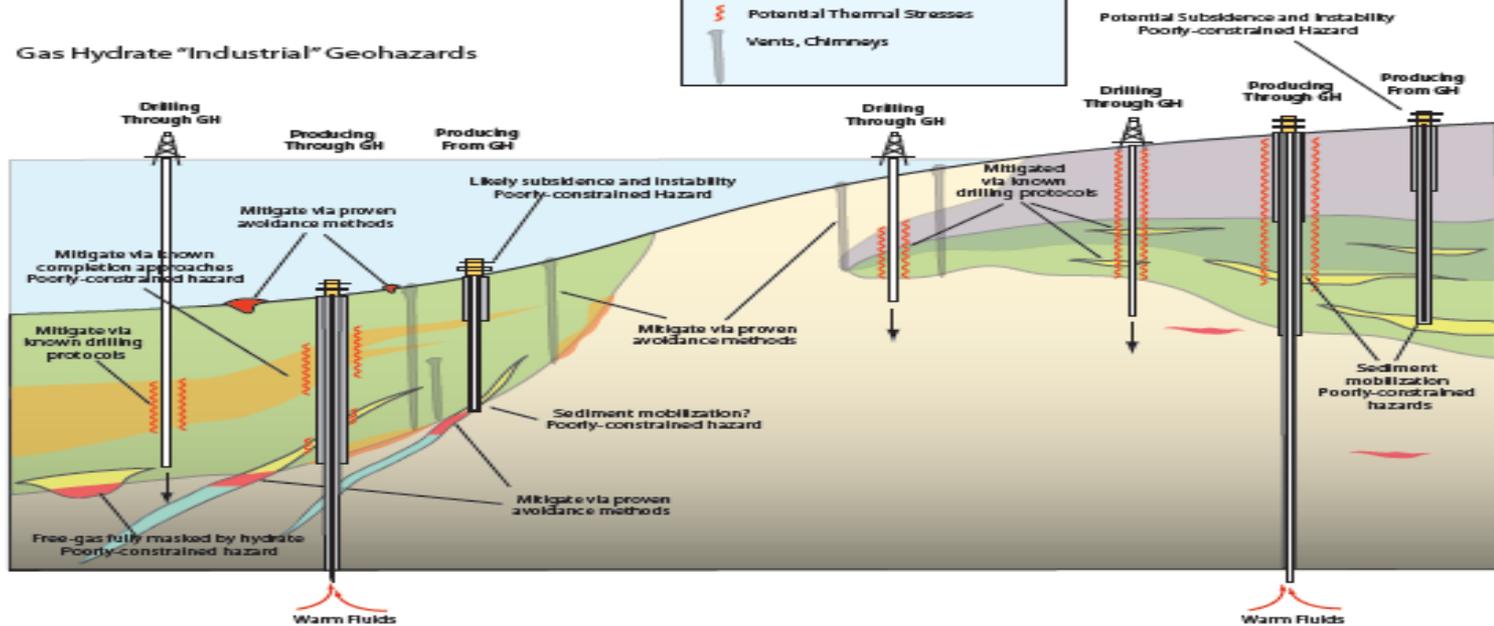
(by R.Boswell et al., 2012)

## Naturally-occurring Gas Hydrate Geohazards

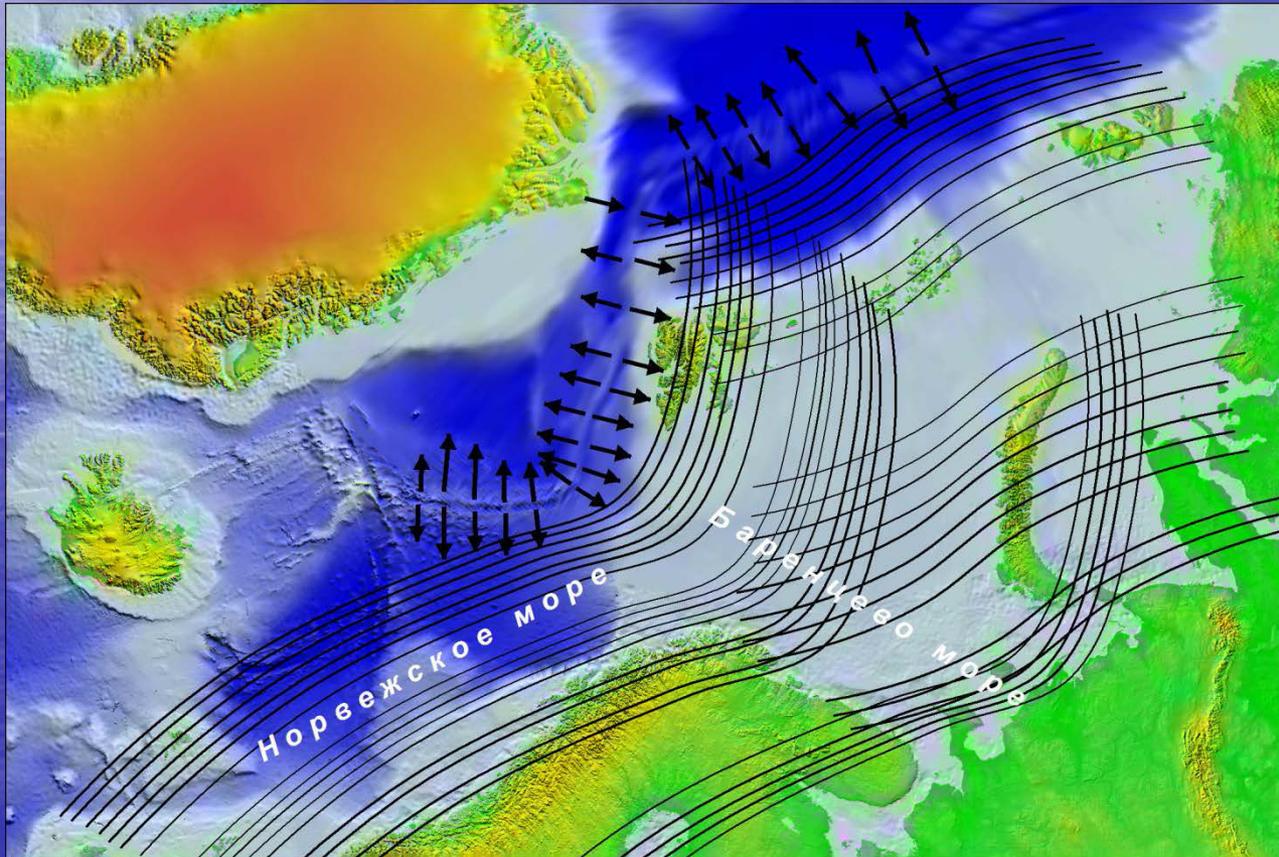
During period of climate warming and sea-level rise



## Gas Hydrate "Industrial" Geohazards



**Distribution of deformation waves,  
generating in the mid-ocean spreading zones**  
**Схема распространения на Западно-Арктическом  
шельфе волн деформации, генерируемых в  
срединно-океанических зонах спрединга**



# ФАКТОРЫ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РИСКА НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ПОЛЯХ Западной Арктики



# Пульсирующие ледники Западной Арктики

## NUMBER OF SURGING GLACIERS IN WEST ARCTIC

- Шпицберген – 132 (18 000 км<sup>2</sup>)
- Новая Земля – 10
- Земля Франца Иосифа – ??
- Сокращение объема льда за 1952-2001 г.г. – 250 км<sup>3</sup>
- сброс льда в океан

выводными ледниками

удвоился в 1990-2007 г.г.

и достиг 100-150 км<sup>3</sup> в год

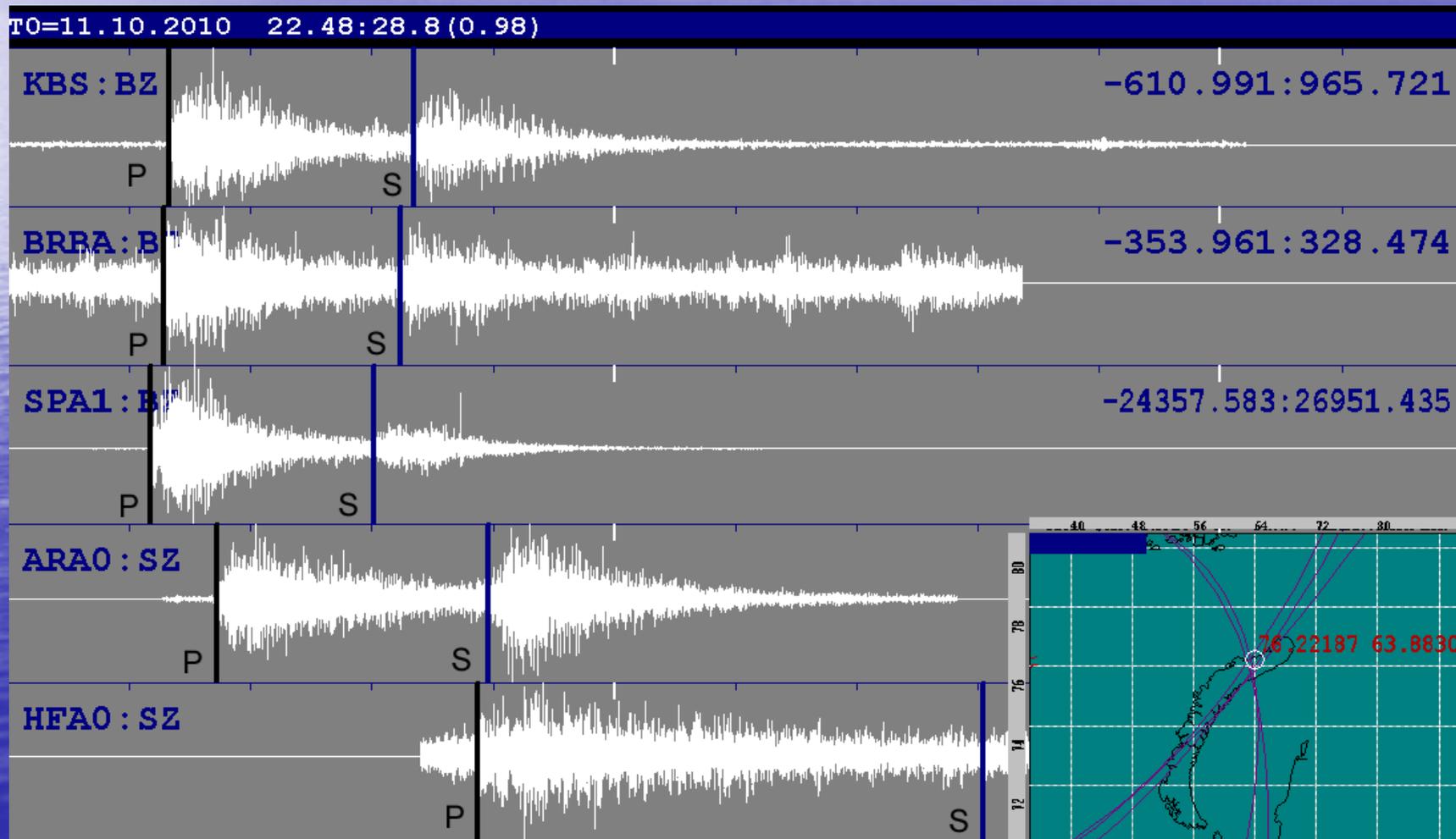


**SURGING GLACIERS AND ICEBERG GENERATION  
GROWING UP IN TWICE DURING WARM PERIOD  
1990-2007**

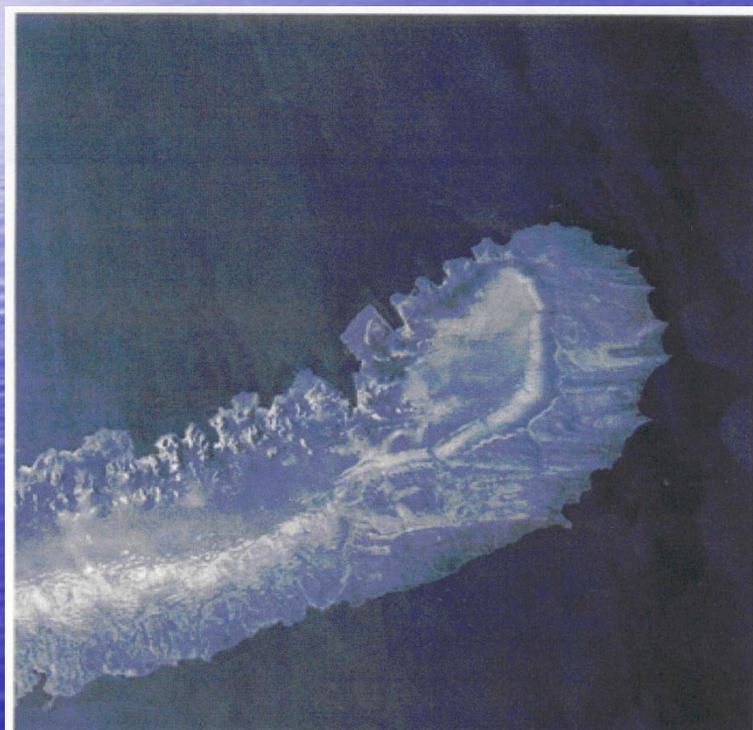
# ICEQUAKE ON NOVAYA ZEMLYA

M=4,24 11/10/2010

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ НА НОВОЙ ЗЕМЛЕ,  
ОБУСЛОВЛЕННОЕ ОТКОЛОМ АЙСБЕРГА

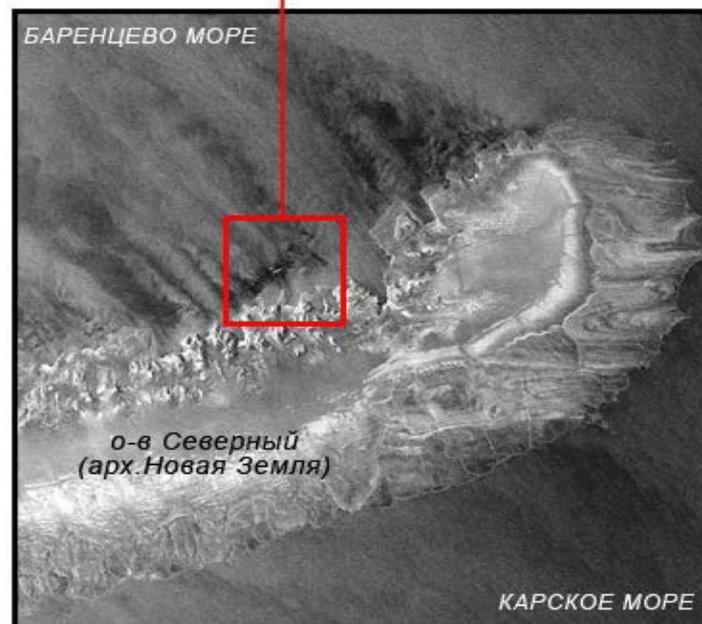
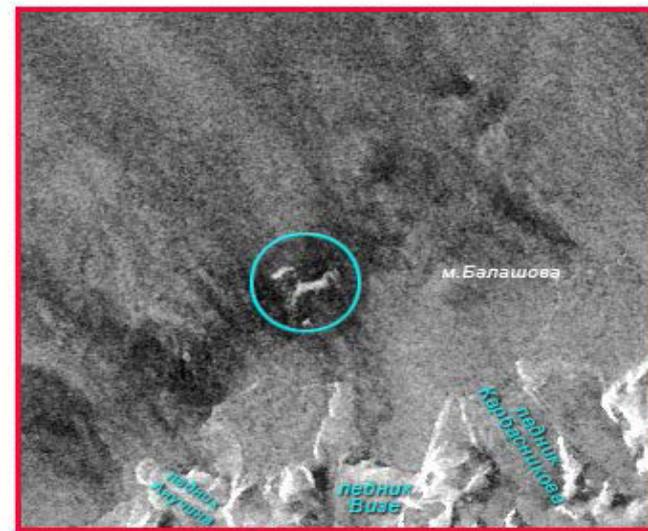


КОСМОСНИМКИ АЙСБЕРГА, ОТКОЛ  
КОТОРОГО ВЫЗВАЛ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ:  
РАЗМЕР 0,8x4 км, МАССА 150 МЛН ТОНН  
icebegrs, generating earthquake,  
on ENVISAT image:  
size 0,8x4 km and weight about 150 mln tons



ИСЗ ENVISAT/ASAR 10 октября 16:26 GMT

Рис. 4. Спутниковый снимок района эпицентра, сделанный 10.10.2010



ИСЗ ENVISAT/ASAR 13 октября 16:35 GMT

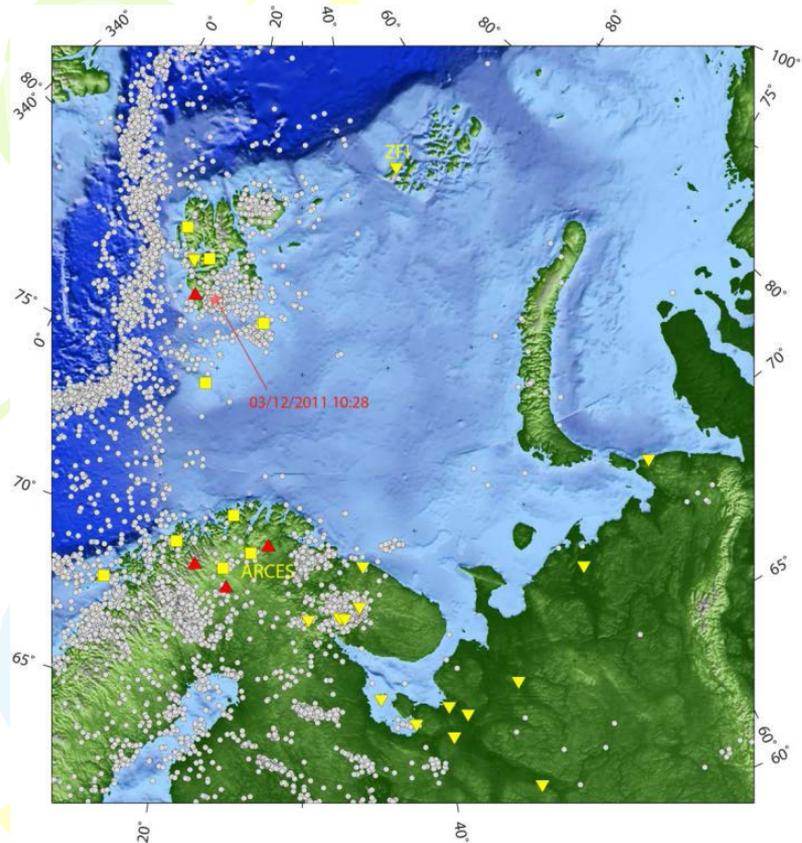
 - район обнаружения группы айсбергов, образовавшихся от выводящих ледников о. Северный



# **ФЗП "Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года"**

Утверждена Правительством РФ 07.07.2011 на период 2012-2014 гг

FEDERAL AIMED PROGRAMME "DECREASING RISKS AND MITIGATION IMPACT  
OF NATURAL AND TECHNOGENIC HAZARDS IN RUSSIAN FEDERATION TILL 2015  
HAVE BEEN APPROVED IN 07/07/2011



**Концептуальная схема Баренцевоморско-Карской сети сейсмоинфразвукового мониторинга геодинамического режима шельфа Западной Арктики : желтые «шары» - сейсмоинфразвуковые комплексы (СИЗК); желтые «кнопки» - трехкомпонентные сейсмостанции; красные «капли» - крупнейшие месторождения нефти («О») и газа («G»), намеченные к первоочередному освоению; красные «пятна» - перспективные нефтегазовые поля на границе морских владений России и Норвегии, подлежащие разведке и освоению до 2020 г.**

**The concept of advanced seismic - and - acoustic monitoring network for Barents and Kara Sea oil and gas province**

**Пространственное распределение землетрясений (серые кружки) в БЕАР и действующие станции Баренцевоморской мониторинговой сети (квадраты и треугольники)**

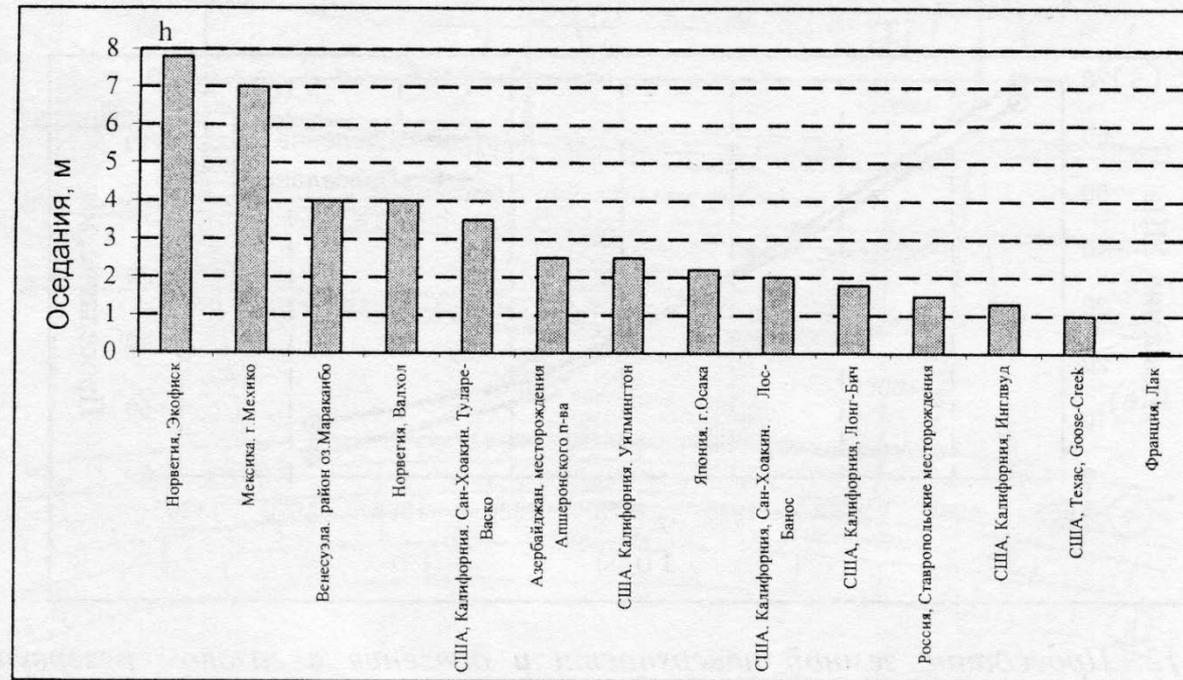
**Earthquakes in BEAR and recent seismic networks**



# Нарушение устойчивости платформы вследствие проседания морского дна

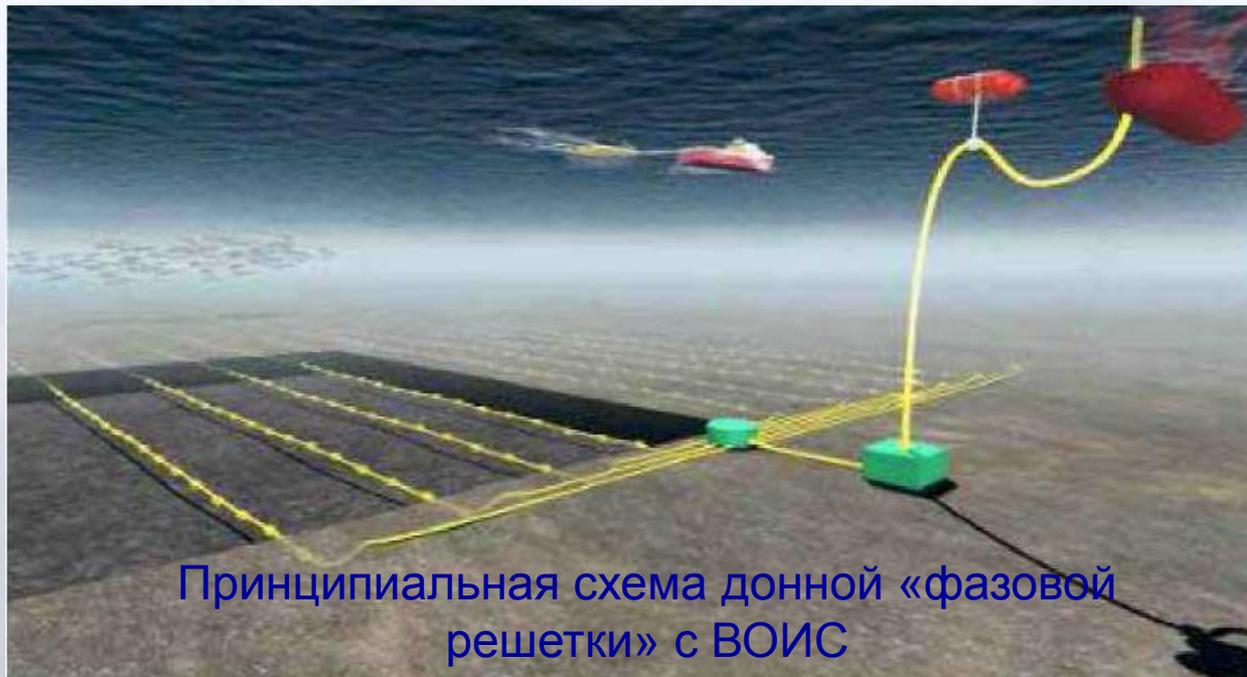


Масштабы проседания поверхности над обрабатываемыми газовыми месторождениями на шельфе значительно больше, чем на континенте. Рекорд Экофиска – 9,5 метров



**Для адекватного контроля и управления геодинамическим режимом нефтегазовых полей необходима модернизация мониторинговых комплексов с использованием волоконно - оптических измерительных систем:**

- Получение информации в форматах 3D, 4D**
- Повышение разрешающей способности до 1000 раз;**
- Повышение долговременности работы до 20 лет**
- Оценка объема газогидратов;**
- Повышение отдачи пластов до 40...60% (сейчас 20...30%).**



Принципиальная схема донной «фазовой решетки» с ВОИС

**Отечественные донные сейсмометрические системы с ВОИС отсутствуют. В Норвегии с 2009 в опытную эксплуатацию введен комплекс «Оптоплан-FOSAR» площадью 64 км<sup>2</sup>**

# Рекомендации Экспертного совета по Арктике при СОВЕТЕ ФЕДЕРАЦИИ РФ (Аналитический доклад 2011 года)

- *«...С учетом почти повсеместного распространения в арктических нефтегазовых полях аномально высоких пластовых давлений (АПВД), представляется необходимым закрепить законодательно обязательное включение в лицензионные соглашения на право разведки и освоения уникальных и крупных нефтегазовых месторождений в АЗРФ требования о применении сейсмомониторинговых технологий 4D-4C для надежного контроля и управления деформационными процессами в недрах и профилактики техногенных землетрясений с катастрофическими последствиями. Эта мера позволит избежать повторения на шельфе АЗРФ тяжелых аварий с гигантскими выбросами газа и нефти, подобных тем, что имели место на суше при освоении Тазовского, Бованенковского и Кумжинского газовых месторождений, а также на глубоководном шельфе Мексиканского залива в мае 2010 году при отработке месторождения Маконадо с платформы «Deepwater Horizon» компании BP...».*

**Спасибо за внимание !  
Давайте дружно обеспечивать безопасность  
жизни в Арктике !**



**Thank you for attention !  
Let to cooperate for safety in the Arctic**