

Двадцать вторая международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"

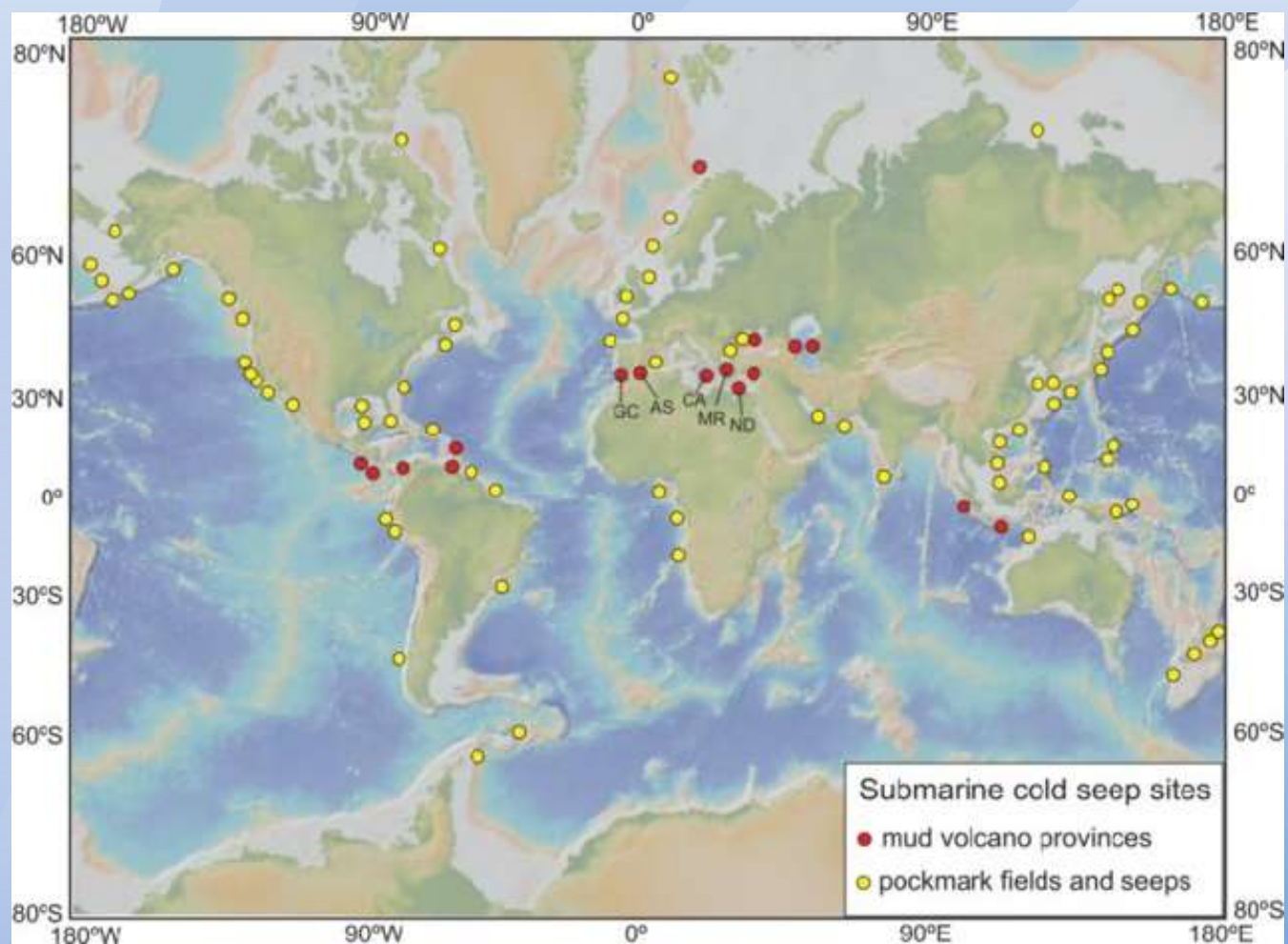
ПРОЯВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ВЫХОДОВ ГАЗА НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Ермошкин А.В., Капустин И.А., Мольков А.А.
Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

eav@ipfran.ru



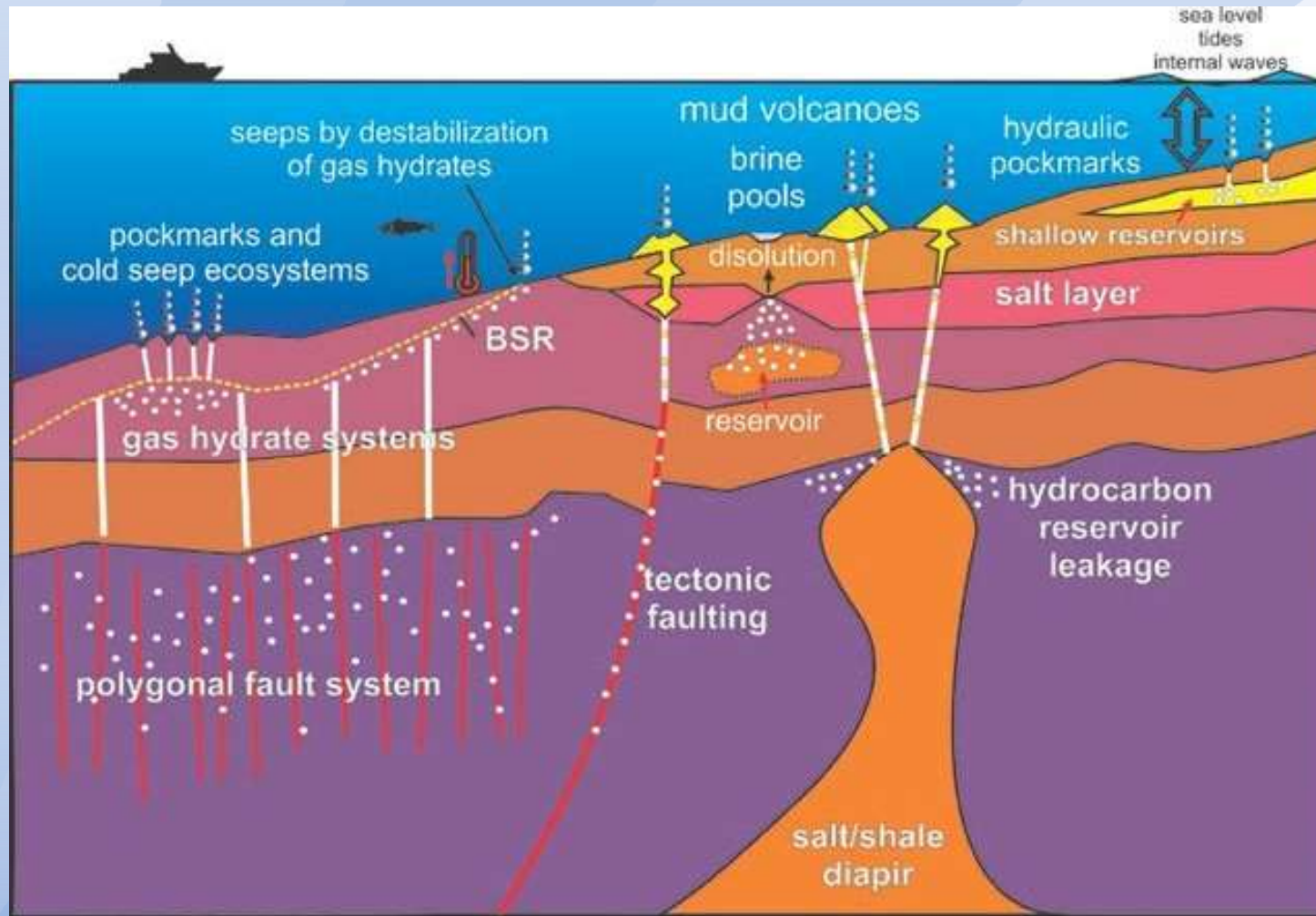
Введение



Milkov A.V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates // Mar. Geol. 2000.

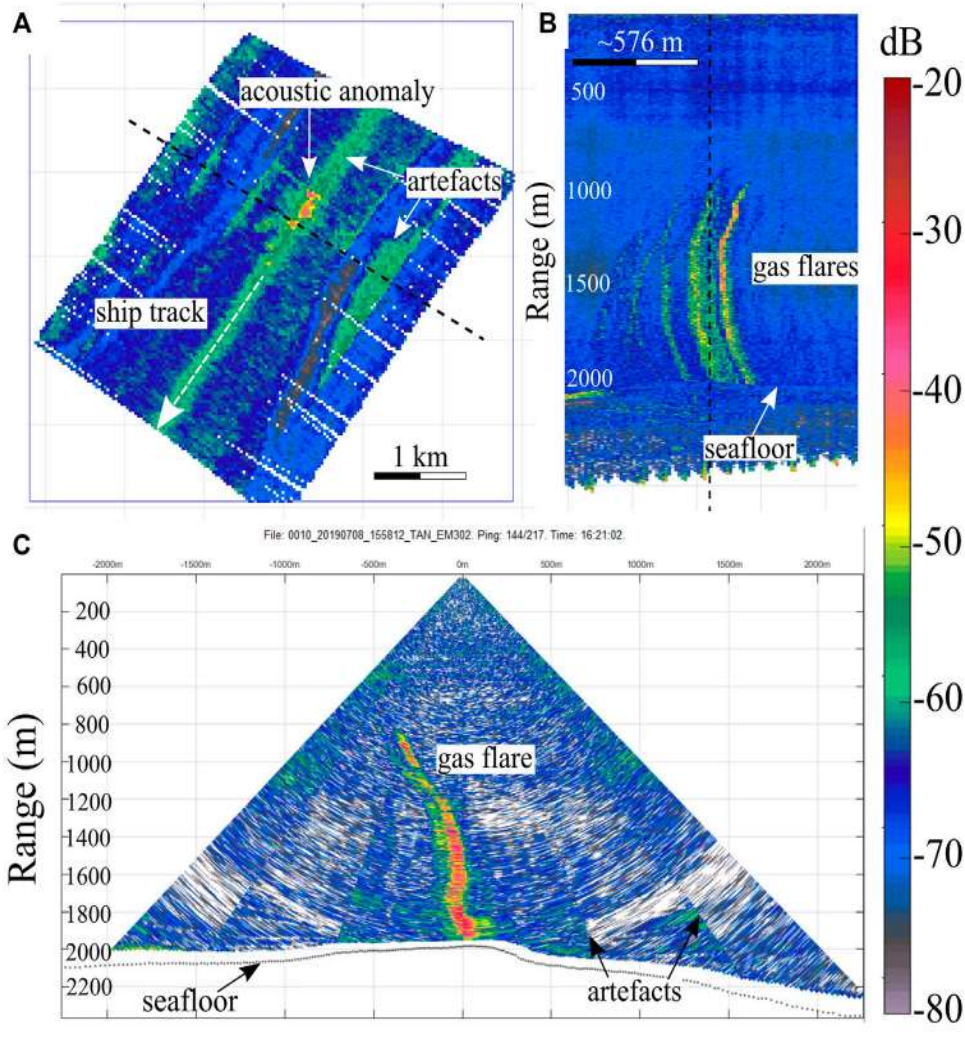
Ceramicola S. et al. Cold seep systems // Springer – Submarine Geomorphology, 2018

Введение

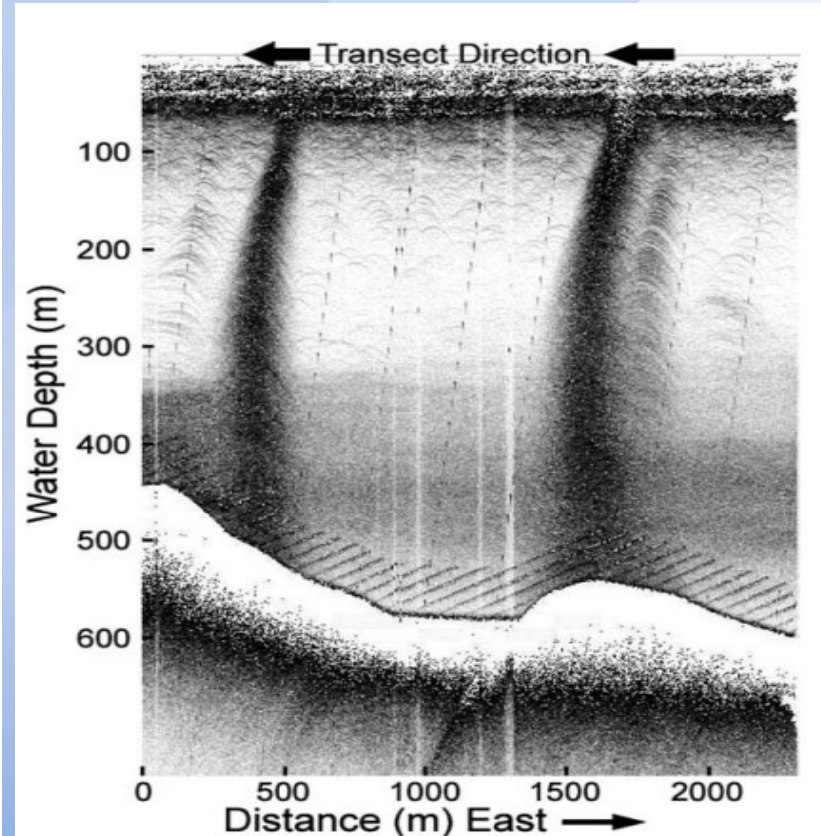


Berndt C. Focused fluid flow in passive continental margins // Philos T R Soc A, 2005
Ceramicola S. et al. Cold seep systems // Springer – Submarine Geomorphology, 2018

F. Turco et al. Estimates of Methane Release From Gas Seeps at the Southern Hikurangi Margin, New Zealand // *Frontiers in Earth Science*, 10, 2022.



De Beukelaer et al. Distinct side-scan sonar, RADARSAT SAR, and acoustic profiler signatures of gas and oil seeps on the Gulf of Mexico slope // *Geo-Mar. Lett.*, 23, 2003.



Акустический профилометр Datasonics Chirp II 7 кГц, разрез пузырьковых потоков, собранный 11 июля 2001 г. над блоком MMS Lease Block GC185

Многолучевые изображения интенсивности обратного рассеяния поля просачиваний Глендху (A) интегрированная эхо-карта (разрешение 20×20 м) (B) вид с вдоль профиля, показанного на а); (C) сечение, указанное

Введение

Бондур В.Г., Кузнецова Т.В. Выявление газовых сипов в акваториях арктических морей с использованием данных дистанционного зондирования // Исследование Земли из космоса. – 2015.

Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Крылов С.Д., Орлов А.О., Цыренжапов С.В. Определение областей донного газоотделения на акваториях с пресным льдом по данным радарных и радиометрических измерений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 150–161



Введение

Bulatov M.G., Kravtsov Y.A., Raev M.D., Repina I.A. and Skvortsov E.I. Microwave, optical and IR combined studies of the sea surface perturbations caused by underwater gas bubble plume // IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002 (2003)

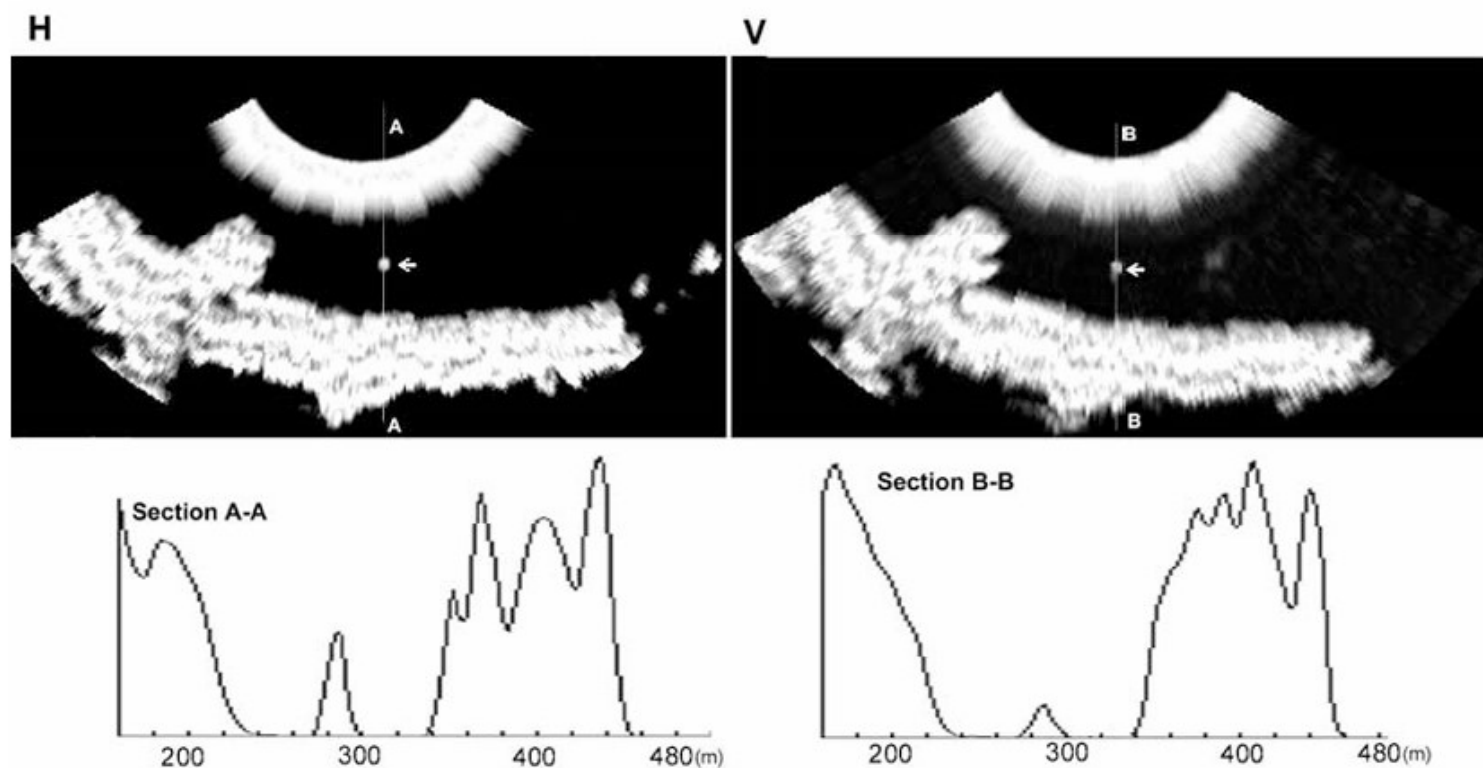
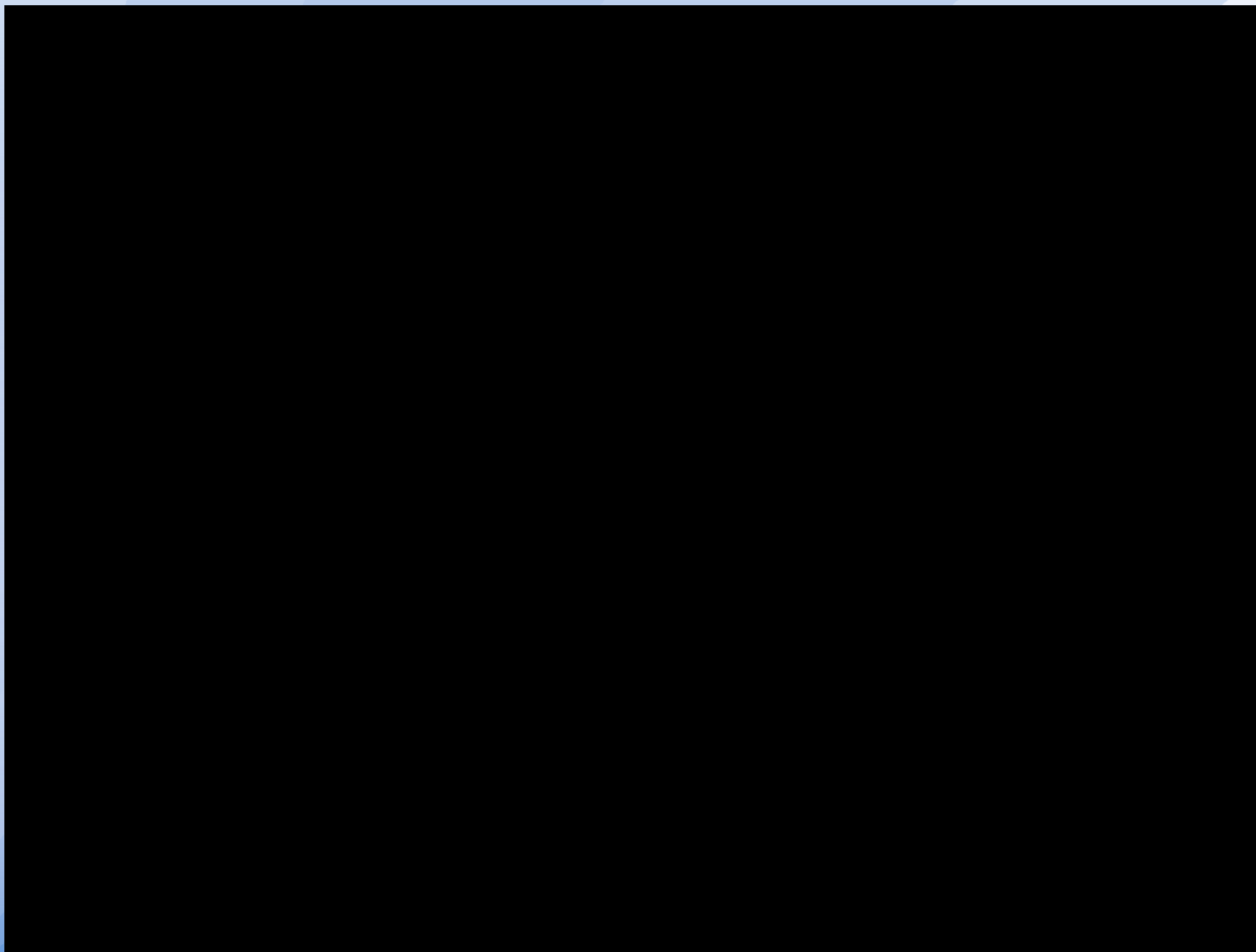


Fig. 3. Radar images of surface disturbances induced by the air bubble flow.

План доклада

- Введение
- Теоретическое моделирование
- Модельные эксперименты
- Натурный эксперимент
- Результаты
- Заключение

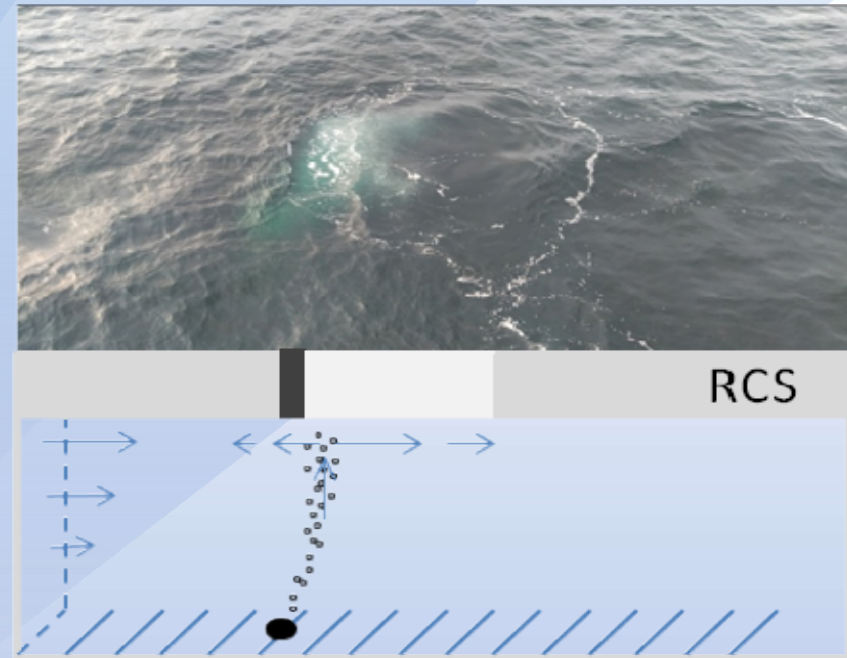
Приповерхностные процессы



Теоретическое моделирование

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \vec{r} \frac{\partial N}{\partial \vec{r}} + \vec{k} \frac{\partial N}{\partial \vec{k}} = \alpha N - \frac{\alpha N^2}{N_0}$$

$$\vec{r} = \frac{\partial \omega(\vec{r}, \vec{k}, t)}{\partial \vec{k}}; \quad \vec{k} = - \frac{\partial \omega(\vec{r}, \vec{k}, t)}{\partial \vec{r}}$$



$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \left(g(k_x^2 + k_y^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{\sigma}{\rho} (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{3}{2}} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left[gk_x (k_x^2 + k_y^2)^{-\frac{1}{2}} + \frac{3\sigma k_x}{\rho} (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{1}{2}} \right] + u_x,$$

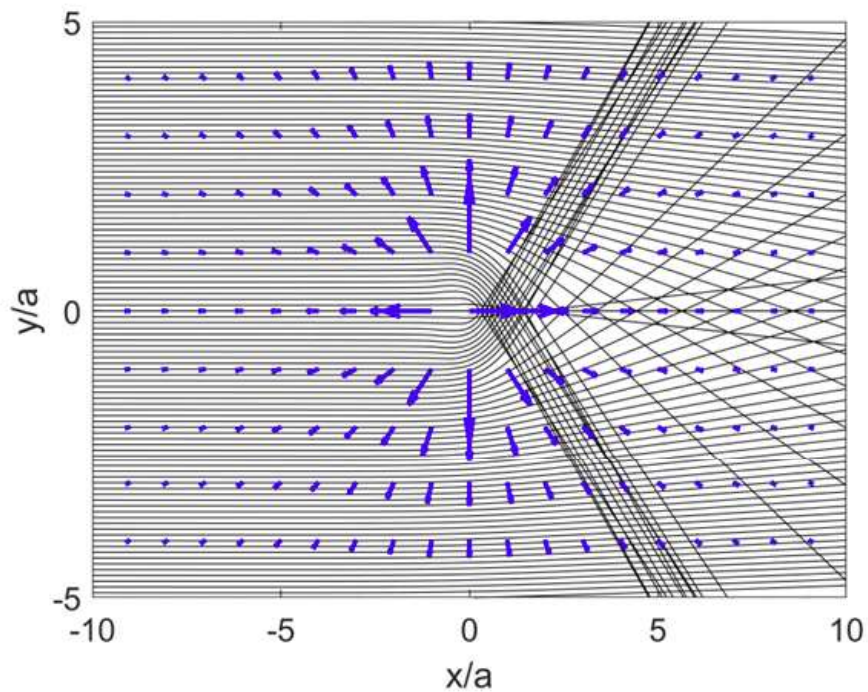
$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{2} \left(g(k_x^2 + k_y^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{\sigma}{\rho} (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{3}{2}} \right)^{-\frac{1}{2}} \cdot \left[gk_y (k_x^2 + k_y^2)^{-\frac{1}{2}} + \frac{3\sigma k_y}{\rho} (k_x^2 + k_y^2)^{\frac{1}{2}} \right] + u_y,$$

$$\frac{dk_x}{dt} = -k_x \frac{du_x}{dx} - k_y \frac{du_y}{dx},$$

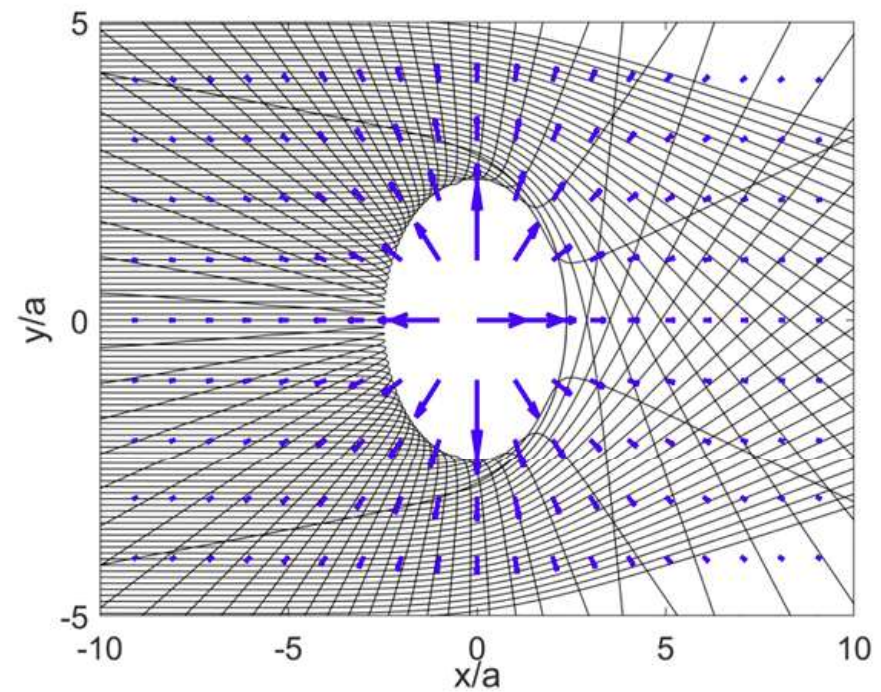
$$\frac{dk_y}{dt} = -k_x \frac{du_x}{dy} - k_y \frac{du_y}{dy}.$$

Bakhanov, V.V.; Ostrovsky, L.A. Action of strong internal solitary waves on surface waves. J. Geophys. Res. 2002,107(C10),3139.

Теоретическое моделирование



(a)



(b)

Figure 1. Wave ray trajectories for $|k| < \frac{g}{4u_{\parallel}^2}$ (a) and $|k| > \frac{g}{4u_{\parallel}^2}$ (b). The blue arrows represent the current velocity vectors. The wavefront propagation direction is from left to right.

Ermoshkin A., Kapustin I., Molkov A., Semiletov I. Manifestation of Gas Seepage from Bottom Sediments on the Sea Surface: Theoretical Model and Experimental Observations // Remote Sensing. 2024; 16(2):408.

Теоретическое моделирование

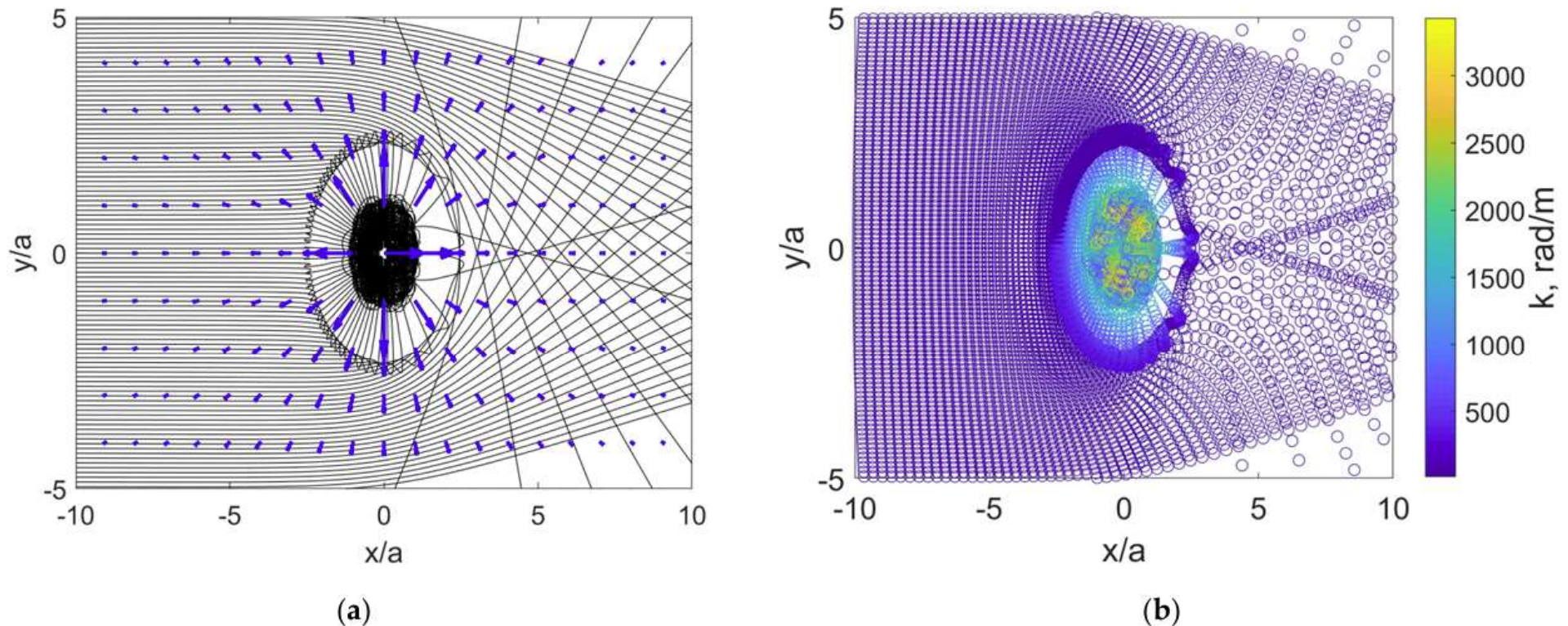
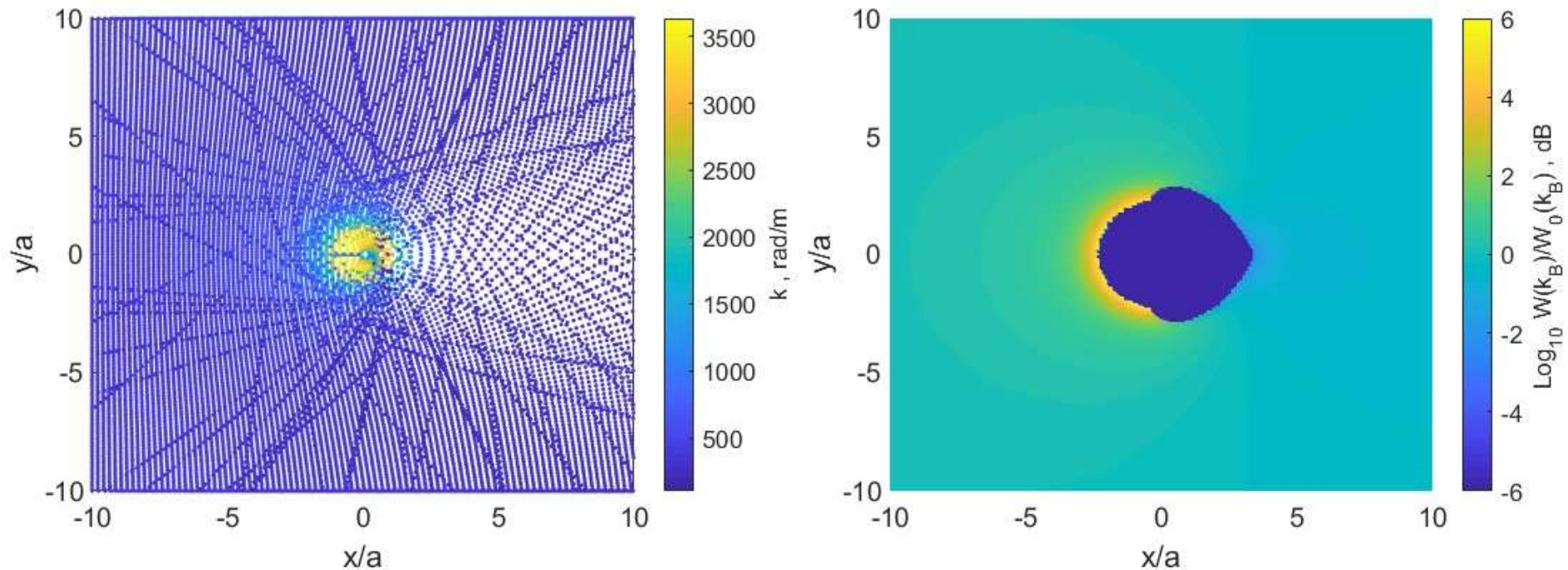


Figure 2. The trajectories of the wave rays (a) and the change in the wave number along the rays (b) for the case shown in Figure 1b with allowance for capillary effects.

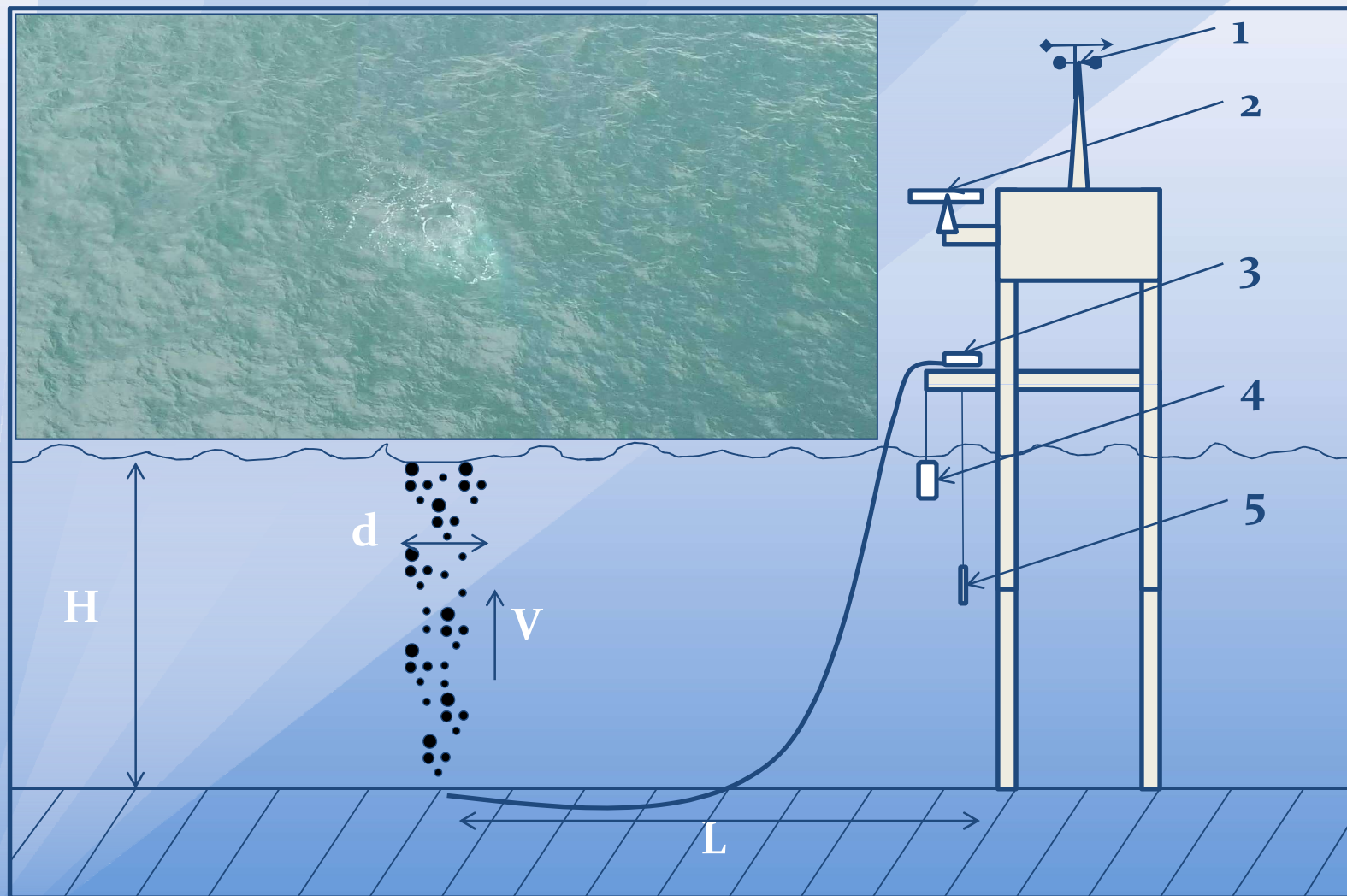
Ermoshkin A., Kapustin I., Molkov A., Semiletov I. Manifestation of Gas Seepage from Bottom Sediments on the Sea Surface: Theoretical Model and Experimental Observations // Remote Sensing. 2024; 16(2):408.

Теоретическое моделирование



Ermoshkin A., Kapustin I., Molkov A., Semiletov I. Manifestation of Gas Seepage from Bottom Sediments on the Sea Surface: Theoretical Model and Experimental Observations // Remote Sensing. 2024; 16(2):408.

Модельный эксперимент

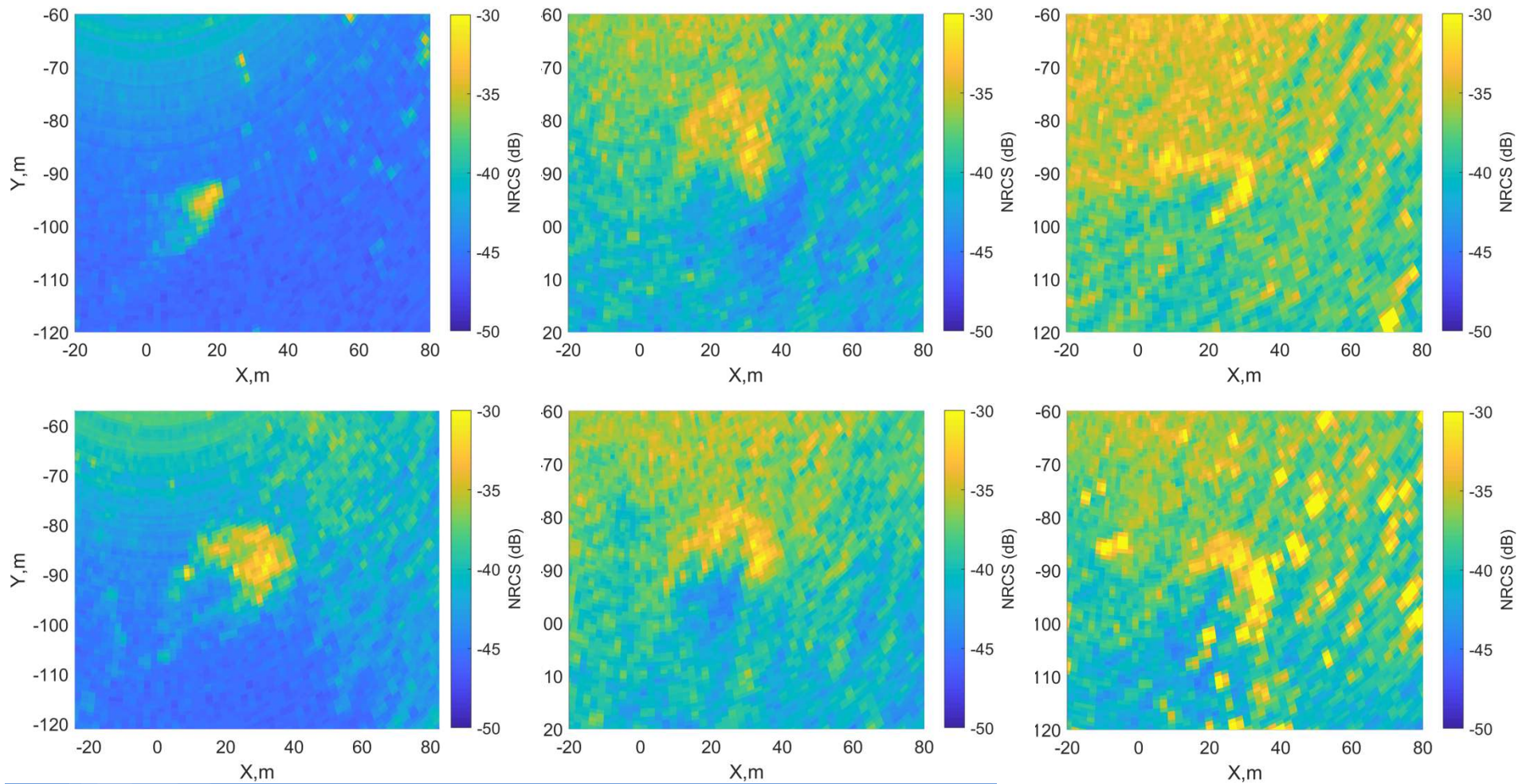


Модельный эксперимент

$u_w = 0-2$ м/с

$u_w = 2-3$ м/с

$u_w > 3$ м/с



Модельный эксперимент

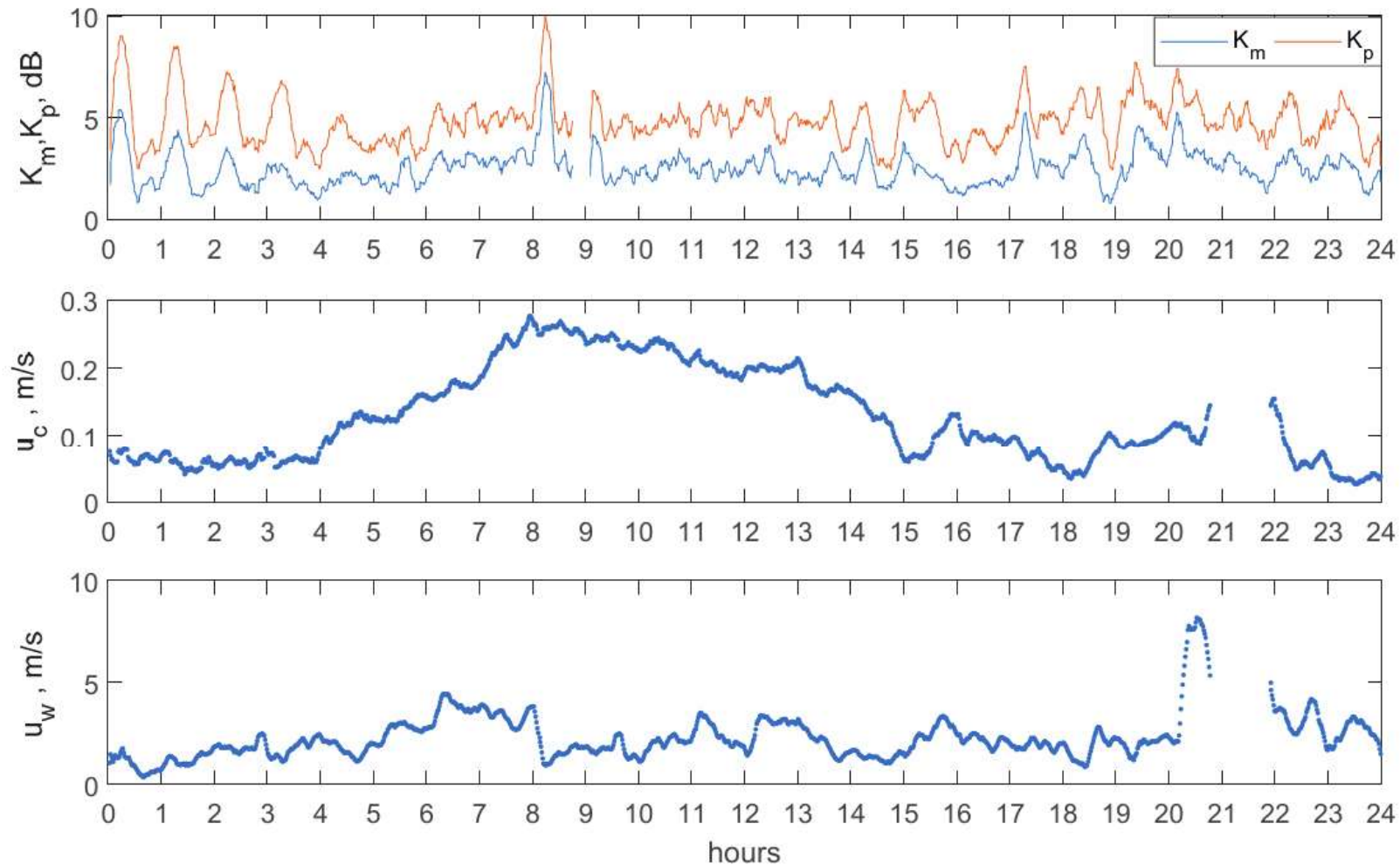
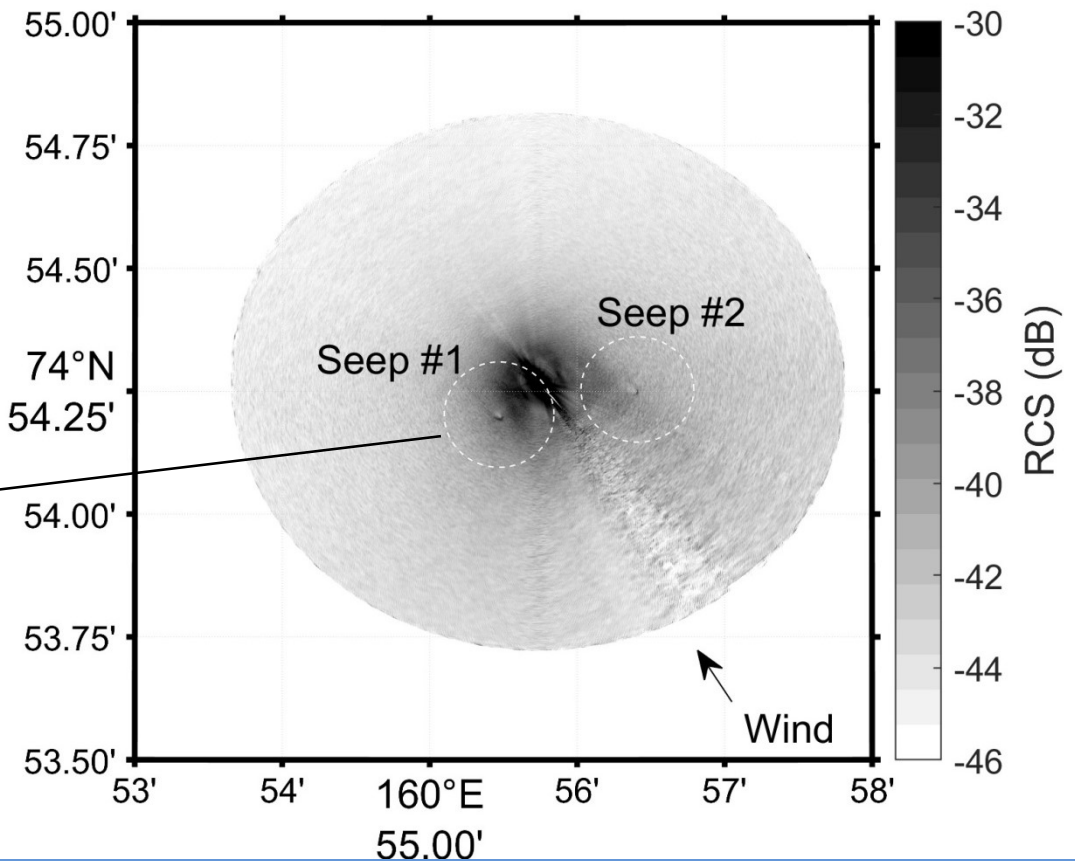
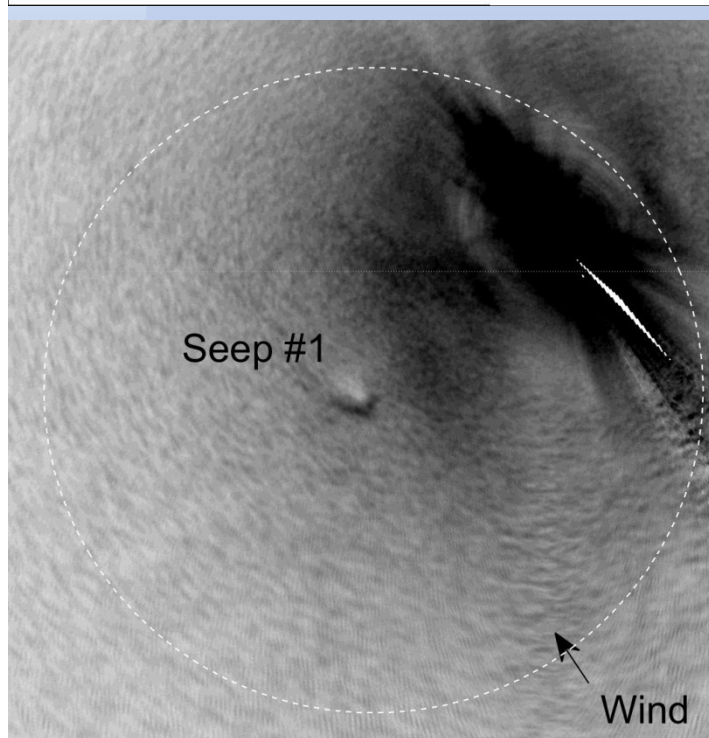
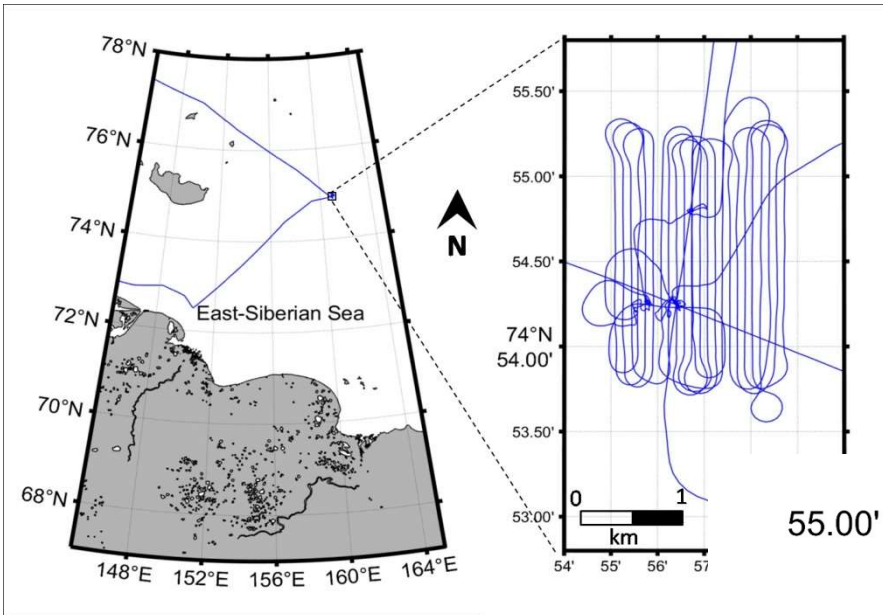
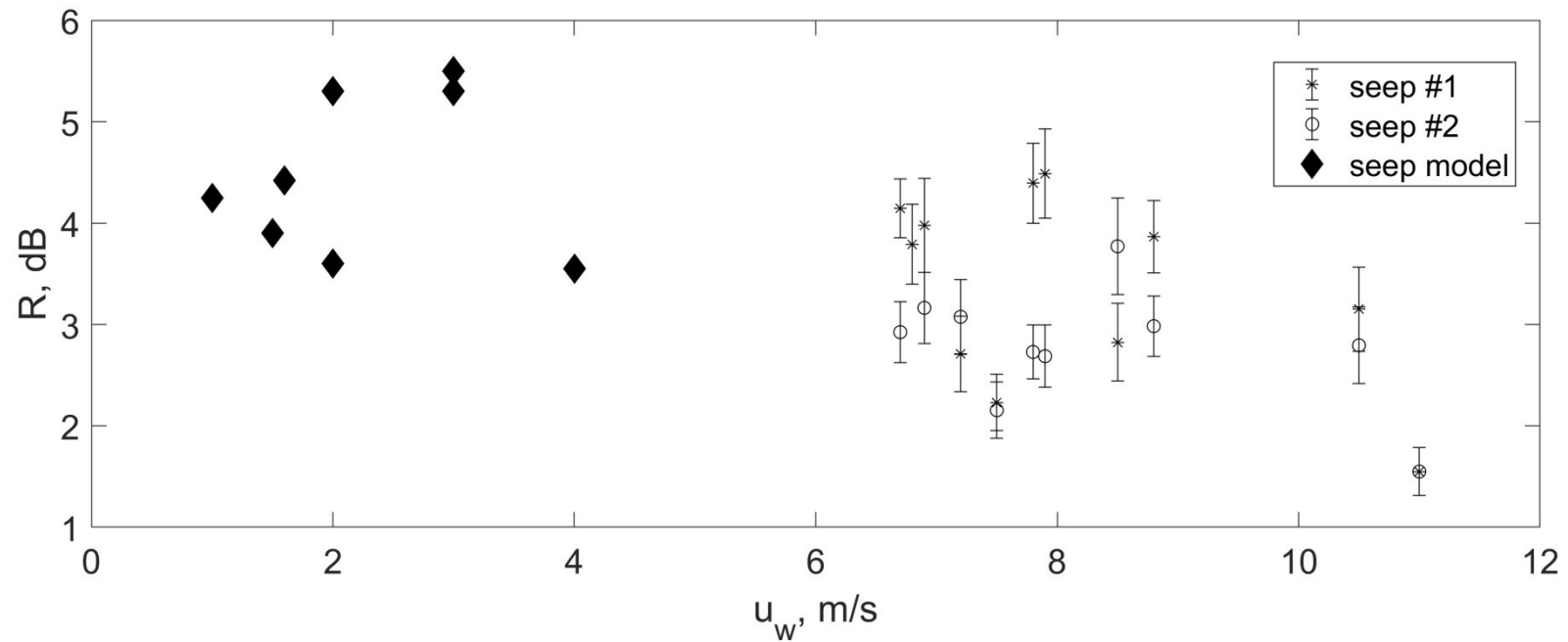


Figure 5. Radar contrasts K_m and K_p of the gas seep area on the sea surface on 3 October 2021 and hydrometeorological conditions; u_c is the current velocity, and u_w is the wind velocity.

Натурный эксперимент Восточно-Сибирское море АМК-82, октябрь 2020 г.



Результаты



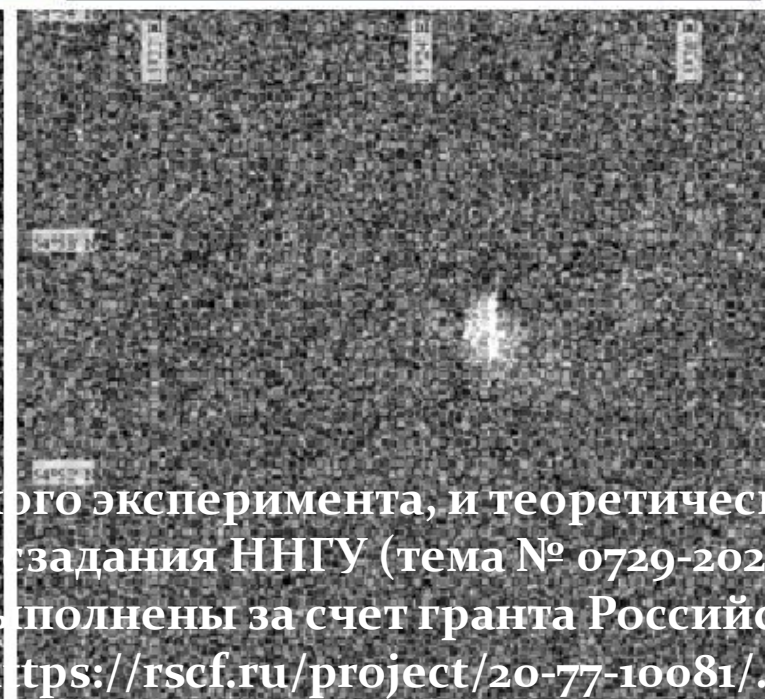
Радиолокационные контрасты модельных и природных газовых выходов

Заключение

Кратко обозначим основные особенности проявления подводных выходов газа на морской поверхности при наличии ветрового волнения.

1. На наветренной границе области выхода газа на поверхность воды формируется полукруглая полоса повышенной шероховатости – сулой, что приводит к увеличению УЭПР. Над областью выхода газа на поверхность формируется округлая область пониженной шероховатости – слик. Форма радиолокационных сигнатур симметричная круглая или подковообразная.
2. Размер области поверхностного проявления газового выхода в несколько раз больше диаметра газовой струи и зависит от параметров ветрового волнения, скорости фонового течения и мощности газового факела. При слабом или умеренном волнении моря и сильном течении наблюдается вытягивание радиолокационных сигнатур в направлении течения. При сильном волнении моря снижается контраст сигнатуры и становится сложно отличить от обрушающейся длинной ветровой волны знакопеременный контраст, возникающий на мелкомасштабном газовом выходе.
3. Для дистанционного обнаружения поверхностного проявления области выхода газа на поверхность воды оптимально использовать радиолокационную аппаратуру сантиметрового диапазона длин волн, способную формировать пространственное изображение.

Спасибо за внимание!



Постановка и проведение модельного эксперимента, и теоретическое моделирование выполнено в рамках госзадания ННГУ (тема № 0729-2020-0037). Радиолокационные исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 20-77-10081, <https://rscf.ru/project/20-77-10081/>.