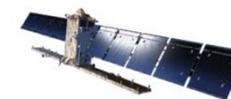


Министерство науки и высшего образования РФ
Российская академия наук

Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга
«АЭРОКОСМОС», г. Москва, Россия



ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ПОВРЕЖДЕНИЙ ГАЗОПРОВОДОВ «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК-1» И «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК-2» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Черникова В.Н., Бондур В.Г., Замшин В.В.



ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», ИКИ РАН, 13 - 17 ноября 2023 г.

ПОВРЕЖДЕНИЕ ГАЗОПРОВОДОВ «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК 1» И «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК 2»



26 сентября 2023 г. оператор газопроводов «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК-1» и «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК-2» (Nord Stream 2 AG [<https://www.nordstream.com/ru/>]) сообщил о резком падении давления в подводных трубопроводах. Позже выяснилось, что падение давления было связано с целенаправленным разрушительным воздействием, вызвавшим повреждения подводных трубопроводов.



Карта-с[tfv района

Морские газопроявления (выходы газа на морскую поверхность), являются **малоизученными аномальными явлениями**. В настоящей работе для обнаружения и исследования газопроявлений **использовались спутниковые изображения**:

- **Оптические:**

• Канопус-В, Sentinel-2В

- **Радиолокационные:**

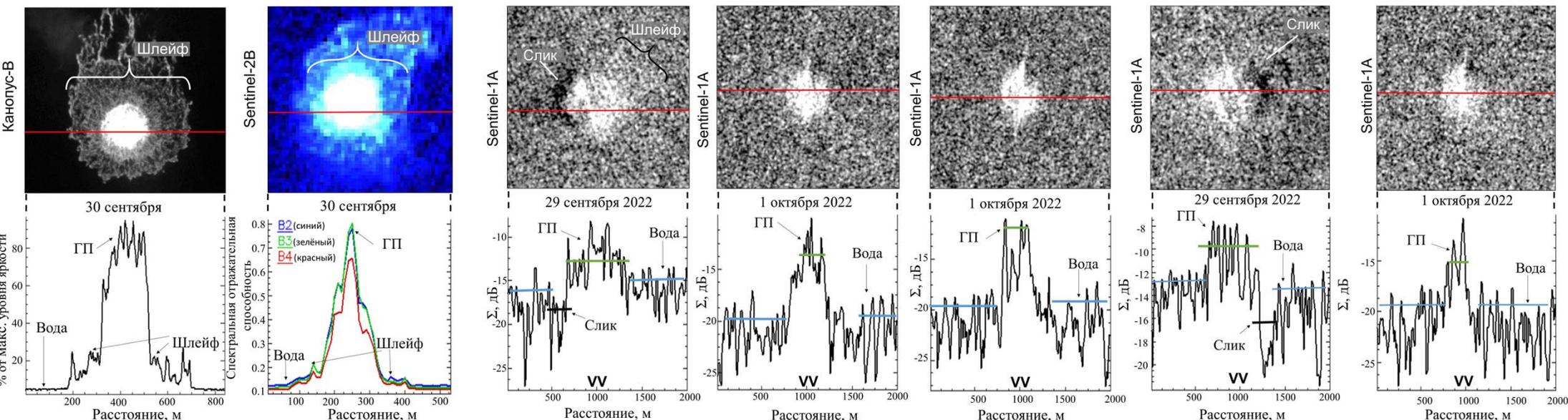
• Sentinel-1А

Для оценки температуры морской среды на глубине залегания трубопровода (~ 70 м) использовались модельные информационные продукты НУСОМ.



Авиационные изображения интенсивных антропогенных газопроявлений, вызванных повреждениями на газопроводах [<https://www.kustbevakningen.se/>; <https://dma.dk>]

ОБРАБОТКА СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МЕСТАХ ПОВРЕЖДЕНИЯ ГАЗОПРОВОДОВ «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК - 1» И «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК - 2»



В области таких газопроявлений (ГП) обнаружены положительные контрасты удельной эффективной поверхности рассеяния (до 7.5 дБ), зарегистрированные радиолокационной аппаратурой спутника Sentinel-1A, а также спектральной отражательной способности (до 0.73 ед.), зарегистрированные оптической аппаратурой спутников Канопус-В и Sentinel-2В.

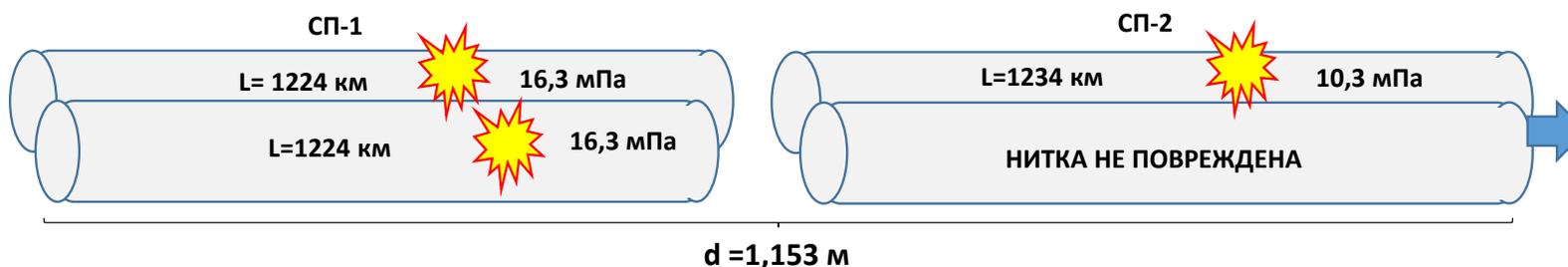
Выявлены характерные особенности интенсивных ГП на морской поверхности: куполообразные возвышения, фонтаны, сулой, пена, обрушения волн и искажения структуры поверхностного волнения, эффект возникновения ветровой тени [1].

1. Бондур В.Г., Замшин В.В., Черникова В.Н. ДАН, 2023 (в печати)

ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», ИКИ РАН, 13 - 17 ноября 2023 г.



ОЦЕНКА ЭМИССИЙ МЕТАНА ИЗ ГАЗОПРОВОДОВ «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК-1» И «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК-2»



Внутренний объём V каждой нитки трубопроводов :

$$V = \pi \cdot \frac{d^2}{4} \cdot L$$

Масса выброшенного газа: $m = V \cdot \rho$

Плотность газа ρ вычисляется с использованием значения его средней температуры (5,3 °С) и давления (16,3 МПа для «Северный поток - 1»; 10,3 МПа – «Северный поток - 2»), исходя из состава природного газа (преимущественно метан), на основании алгоритма [2] и стандарта ISO 12213-2 NATURAL GAS.

ВЫЧИСЛЕННАЯ ОБЩАЯ МАССА ВЫБРОШЕННОГО ГАЗА СОСТАВИЛА:

$$m = \underbrace{(2 \cdot 1\,277\,959 \text{ м}^3)}_{\text{СП-1}} \cdot 153 \text{ кг/м}^3 + \underbrace{1\,288\,400 \text{ м}^3}_{\text{СП-2}} \cdot 92 \text{ кг/м}^3 = 0,510 \text{ Тг}$$

Зарегистрированный выброс газа сопоставим с [3]:

- 1/1186 долей глобального годового суммарного антропогенного и естественного выброса метана (~31% в среднеежедневном выражении);
- 1/700 долей глобального годового антропогенного выброса (~52% в среднеежедневном выражении).

2. Starling K. E., Savidge J. L. // American Gas Association/ Transmission Measurement Committee Report. 1992. No. 8. 205 p

3. Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты. М.: РАН. 2022. 388 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ



С использованием оптических (спутники Канопус-В, Sentinel-2B) и радиолокационных (спутник Sentinel-1A) космических изображений проанализированы аномально интенсивные газопроявления на морской поверхности, обусловленные повреждениями подводных газопроводов Северный поток - 1 и Северный поток - 2 в Балтийском море. В области таких газопроявлений обнаружены положительные контрасты удельной эффективной поверхности рассеяния (до 7.5 дБ), зарегистрированные радиолокационной аппаратурой спутника Sentinel-1A, а также спектральной отражательной способности (до 0.73 ед.), зарегистрированные оптической аппаратурой спутников Канопус-В и Sentinel-2B. Выявлены их характерные особенности на морской поверхности: куполообразные возвышения, фонтаны, сулой, пена, обрушения волн и искажения структуры поверхностного волнения, эффект возникновения ветровой тени. На основании учета объема и плотности газа, находившегося в поврежденных трубопроводах, показано, что общий объем выброса метана составил не более ~ 0.51 Тг, т.е. менее 0.1 % от годового глобального выброса метана в атмосферу планеты.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ