



# Исследование морфологических особенностей зон выхода газа на поверхность водоема с помощью радиолокатора сантиметрового диапазона

**Смирнова М.В.<sup>1,2, а</sup>, Капустин И.А.<sup>1,3,б</sup>, Ермошкин А.В.<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup> ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, Н. Новгород, Россия

<sup>3</sup> Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

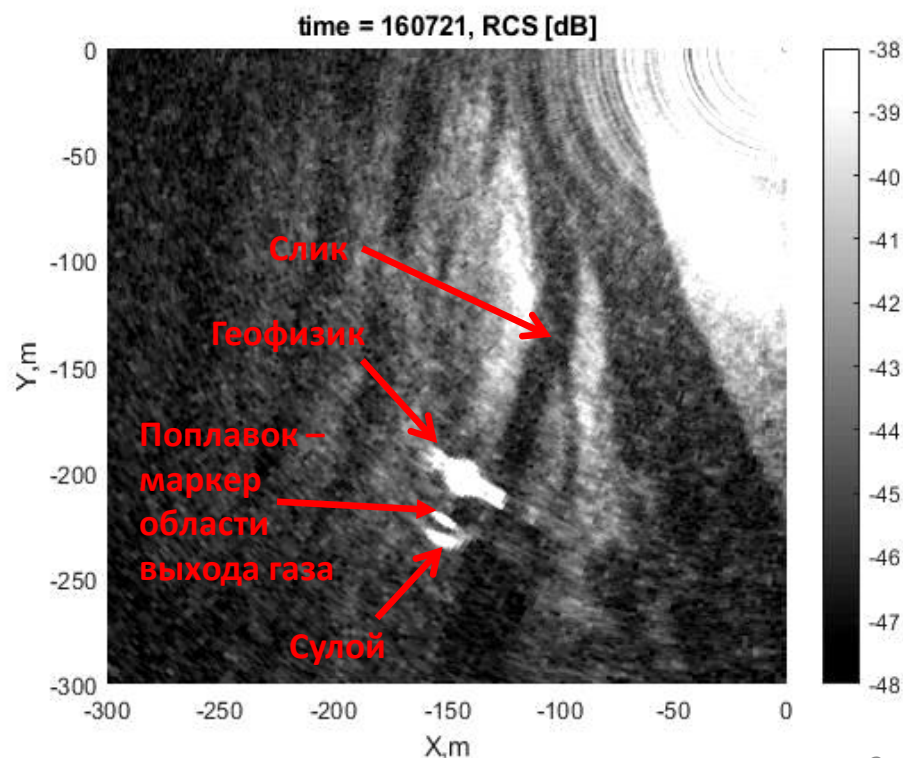
*E-mail:* [aigoninam@yandex.ru](mailto:igoninam@yandex.ru), [bkapustin-i@yandex.ru](mailto:kapustin-i@yandex.ru)

*XVIII Всероссийская Открытая конференция  
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА  
16–20 ноября 2020 года Москва, ИКИ РАН*

# Актуальность работы связана с необходимостью решения задач:

- разработка методов обнаружения подводных пузырьковых течений, возникающих вследствие биогенных и антропогенных факторов;
- подготовка общей научной основы для разработки численных моделей технических систем и природных процессов;
- изучение процесса формирования сликов - областей концентрирования пленок органических веществ, которые приводят к выглаживанию ветровой ряби и, тем самым визуализации процессов на оптических и радиолокационных, в том числе, спутниковых, изображениях поверхности океана и внутренних водоемов.

Ранее в натурных экспериментах был подтвержден факт формирования на поверхности воды сулоев в области неоднородного течения, формируемого вокруг области выхода из толщи воды пузырьков газа [1], а также факт формирования в некоторых случаях пленки поверхностно-активных веществ (ПАВ) на поверхности воды вокруг зоны выхода газа, и образования слика – области выглаживания волнения в результате гашения пленкой ПАВ коротких ветровых волн [2].



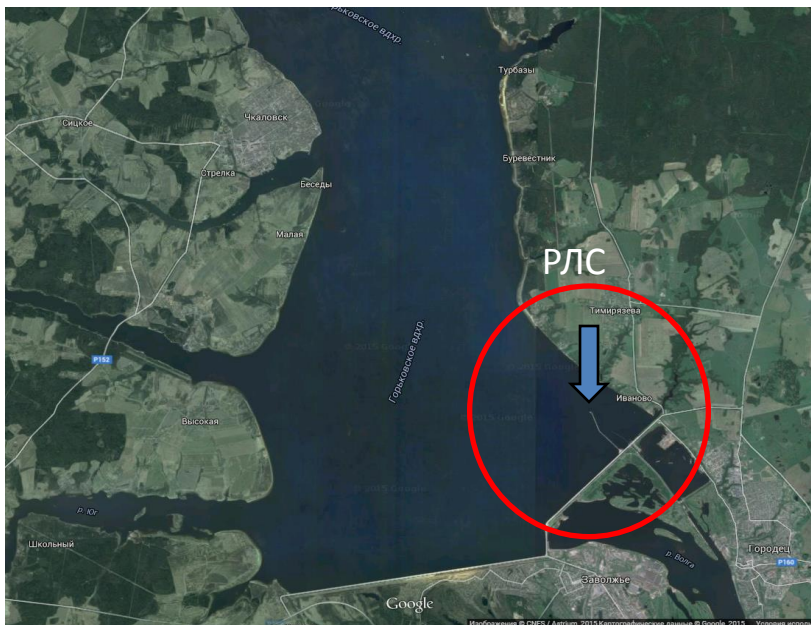
# Натурный эксперимент в акватории Горьковского водохранилища



Плавучая лаборатория ИПФ РАН «Геофизик»



РЛС MRS-1000 на маяке аванпорта



Район проведения экспериментов

На дно на глубине 10 м устанавливался диффузор, в который от компрессора по длинному шлангу подавался воздух. Эффект выноса природных ПАВ из толщи воды и образование слика регистрировался визуально и с использованием радиолокатора см-диапазона установленного на маяке аванпорта. Параметры течения (ADCP) и ветра (WindSonic) регистрировались с плавучей лаборатории «Геофизик», которая перемещалась вблизи области выхода газа галсами.



Вид на область выхода газа с маяка



### Характеристика MRS-1000:

- Мощность излучения 1 Вт
- Несущая частота (длина волны  $\lambda$ ) 9.4 ГГц (3.2 см)
- Макс. дальность (R) 3000 м
- Ширина ДНА в ГП 1°
- Ширина ДНА в ВП 30°
- Режим работы ЛЧМ (максимальная  $f_m = 191.2$  МГц)
- Вид поляризации Горизонтальная
- Длительность ( $\tau$ ) 3.5 мс
- Тип сигнала Сигнал биений
- Разрешение по пеленгу ( $\Delta\theta$ ) 0.5°
- Разрешение по дальности ( $\Delta r$ ) 0.79 м; 0.97 м; 1.91 м
- Режим обзора пространства Круговой/боковой
- Период обзора пространства 2.5–15 с
- Высота установки (H) 14 м

# Внешний вид области выхода газа



12:03 слабый ветер



12:36 слабый ветер

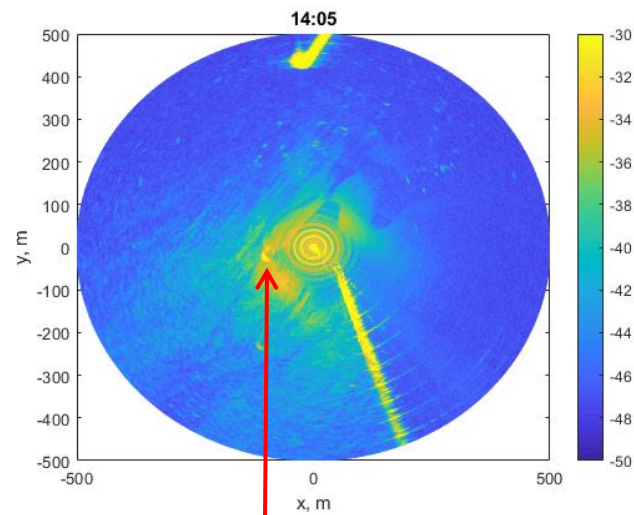
При слабом ветре на фоне слабо возмущенной поверхности воды отчетливо заметна область выхода пузырьков газа (повышенная шероховатость) и формируемый ею с наветренной стороны сулой.

# Радиолокационные портреты области интенсивного выхода пузырьков воздуха

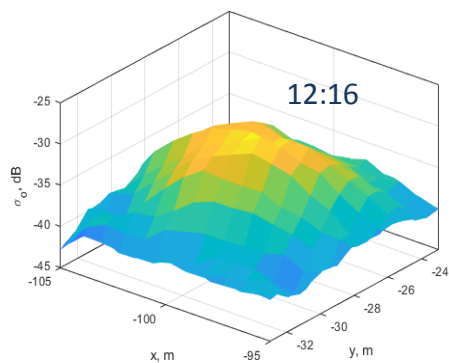
При слабом ветре область выхода пузырьков газа идентифицируется по повышенной шероховатости морской поверхности, что выражается в росте удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР).

С ростом скорости ветра растет и шероховатость фоновой поверхности воды за счет усиления волнения, однако, УЭПР области выхода газа и фона различаются.

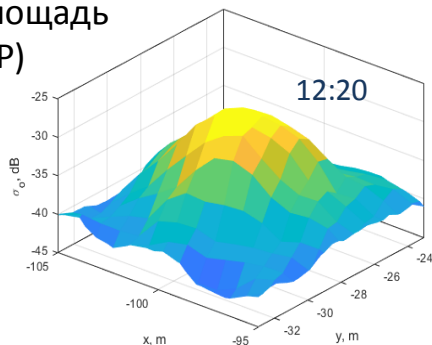
При сильном ветре и соответствующем усилении волнения шероховатость области выхода газа слабо различима с фоновой, однако, за областью выхода газа отчетливо наблюдается слик.



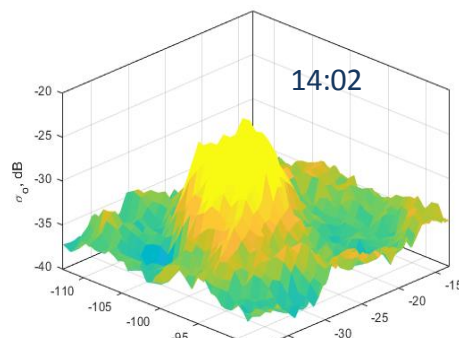
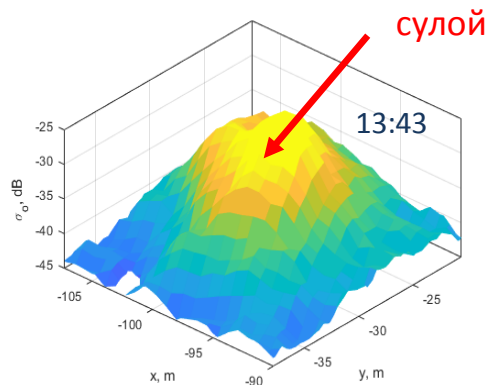
Место выхода пузырьков воздуха



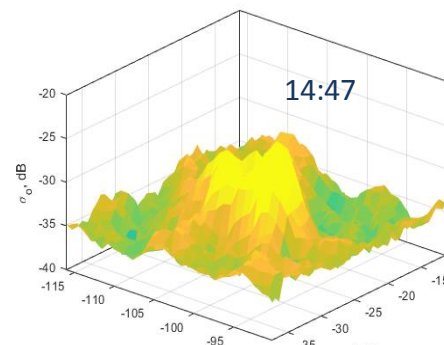
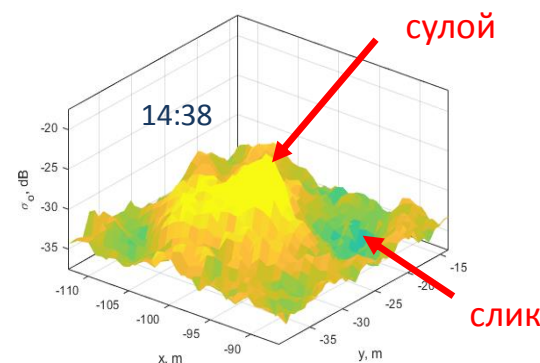
$\sigma_0$  – удельная эффективная площадь рассеяния (УЭПР)



Слабый ветер

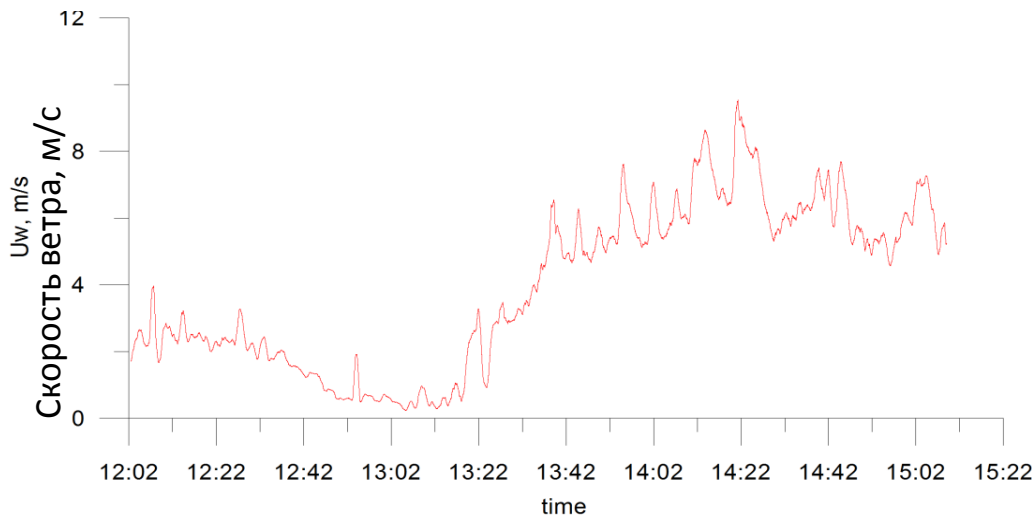
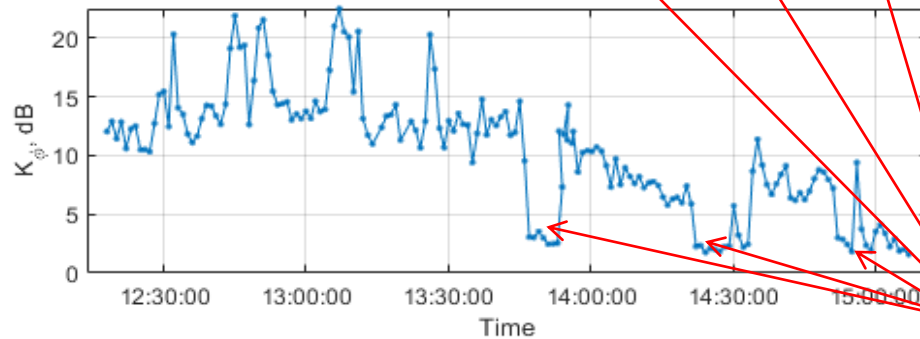
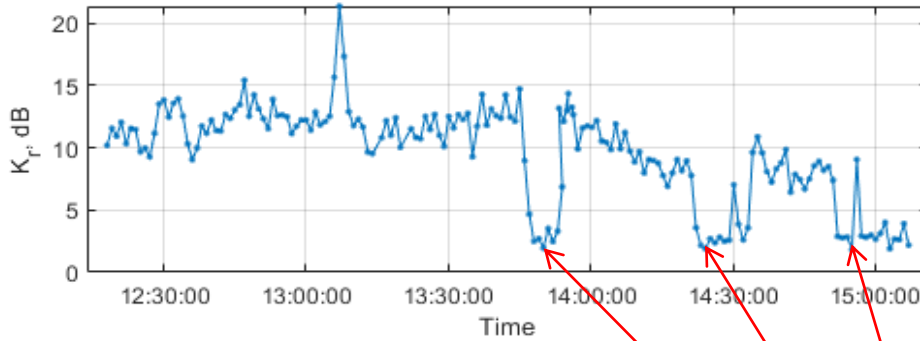


Средний ветер



Сильный ветер

# Сопоставление скорости ветра и РЛ контраста в области выхода газа



Контраст определялся как отношение УЭПР в области выхода газа (сулое / слике) и в фоне.

$$K_r = \max \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10 \log_{10} \sigma_0(r, \varphi, t_i) \right\}^{dt} - \text{std} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10 \log_{10} \sigma_0(r, \varphi_{max}, t_i) \right\}^{dt}$$

$$K_\varphi = \max \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10 \log_{10} \sigma_0(r, \varphi, t_i) \right\}^{dt} - \text{std} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10 \log_{10} \sigma_0(r_{max}, \varphi, t_i) \right\}^{dt}$$

$K_r$  – контраст РЛ сигнала по радиусу обзора

$K_\varphi$  – контраст РЛ сигнала по углу обзора

**Моменты отключения  
подачи воздуха**

При слабом ветре (до 3 м/с) отличие контраста в области выхода газа составляет 10-15 дБ.

С усилением ветра до 6 м/с и более контраст составляет 5-7 дБ (падает с ростом скорости ветра).

Видно, что в моменты отключения подачи газа – контраст близок к 0.

## Выводы

- Проведены новые натурные эксперименты по РЛ зондированию областей выхода газа на взволнованную водную поверхность судовым навигационным локатором сантиметрового диапазона. Зафиксировано отличие удельной эффективной площади рассеяния области интенсивного выхода пузырьков газа и фоновой поверхности воды при различных скоростях приводного ветра; предложены алгоритмы определения и определены РЛ контрасты области и их зависимости от скорости ветра.
- Показано, что при слабом ветре (до 3 м/с) отличительной особенностью области выхода газа является повышенная по сравнению с фоном шероховатость поверхности воды в этой области. При этом, отличие контраста в области выхода газа составляет 10-15 дБ по сравнению с фоном. С ростом скорости ветра РЛ контраст уменьшается до 5-7 дБ, а граница области выхода газа становится более резкой; при этом, за областью выхода газа возникает слик, и контраст вдоль радиуса обзора становится «знакопеременным».

## Литература:

1. Смирнова, М.В. Дистанционная диагностика повреждений подводных газопроводов / М.В. Смирнова, И.А. Капустин, А.В. Ермошкин // В книге: Материалы 17-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». - Институт космических исследований Российской академии наук. - 2019. - с. 337.
2. Smirnova M. V., Kapustin I. A. On possibility of remote detection of gas leaks from underwater pipelines using specific slick signatures // Proc. SPIE 11150, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2019, 111501U (14 October 2019); DOI: 10.1117/12.2536901

Исследование выполнено за счет средств темы госзадания 0729-2020-0037.

***Спасибо за внимание!***