



УДК 53.06

Смирнова Мария Валерьевна, к.т.н., доцент кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов ВГУВТ¹; научный сотрудник лаборатории интегрированных систем диагностики атмосферы и гидросферы радиофизического факультета ННГУ²

Капустин Иван Александрович, к.ф.-м.н., заведующий лабораторией интегрированных систем диагностики атмосферы и гидросферы радиофизического факультета ННГУ², старший научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике ИПФ РАН³

Ермошкин Алексей Валерьевич, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории интегрированных систем диагностики атмосферы и гидросферы радиофизического факультета ННГУ², научный сотрудник отдела нелинейных геофизических процессов ИПФ РАН³

¹ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»
603951, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

²ФГАОУ ВО Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

³ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН»
603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ВЫХОДА ГАЗА НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДОЕМОВ

Аннотация. В настоящей работе описаны результаты полномасштабного эксперимента по исследованию эффекта формирования пленочного слика в результате выхода газа из толщи воды и показана возможность его детектирования радиолокационными (РЛ) средствами дистанционного зондирования. Эксперимент проводился летом 2019 года в акватории Горьковского водохранилища с использованием радиолокатора сантиметрового диапазона (Микран MRS-1000), установленного на маяке аванпорта. Получены оценки размеров и морфологии сликового пятна, отмечены особенности, позволяющие отличить подобный слик от фоновых сликов природного происхождения.

Ключевые слова: пузырьковый выброс, пленки ПАВ, слик, РЛ-изображения, дистанционное зондирование

В природных водоемах часто происходят естественные выходы газа в результате деятельности донных организмов. Однако встречаются и искусственные источники, связанные, например, с повреждениями подводных трубопроводов различного назначения, в частности, газопроводов. И те, и другие виды газовых выбросов требуют идентификации, оценки и, при необходимости, устранения повреждений подводных технических систем.

Ранее было показано, что на поверхности воды вокруг области выхода пузырькового потока формируется пленка из поверхностно-активных веществ (ПАВ), микроколичества которых всегда присутствуют в природных водах, и которые выносятся из толщи воды всплывающими пузырьками [1, 2]. В природных водоемах присутствие на поверхности воды пленки ПАВ приводит к гашению коротких ветровых волн и формированию так называемых «сликов» - областей «выглаживания» поверхности воды [3]. Возможность регистрации таких сликовых пятен на поверхности водоемов имеет важное практическое значение: идентификация разливов нефти [4], областей цветения воды, несанкционированных сбросов любых поверхностно-активных веществ [5], наблюдения за океаническими и морскими течениями [6] и пр.

В настоящей работе были экспериментально подтверждены эффект формирования пленочного слика в результате выхода газа из толщи воды и возможность его детектирования радиолокационными (РЛ) средствами дистанционного зондирования. Полномасштабный эксперимент проводился летом 2019 года в акватории Горьковского водохранилища. С помощью компрессора, установленного на плавучей лаборатории «Геофизик» (рис. 1, а) воздух подавался на глубину около 10 метров. Эффекты выноса природных ПАВ из толщи воды и образования слика регистрировались визуально, фотокамерой и с использованием радиолокатора сантиметрового диапазона (Микран MRS-1000), установленного на маяке аванпорта (рис. 1, б).

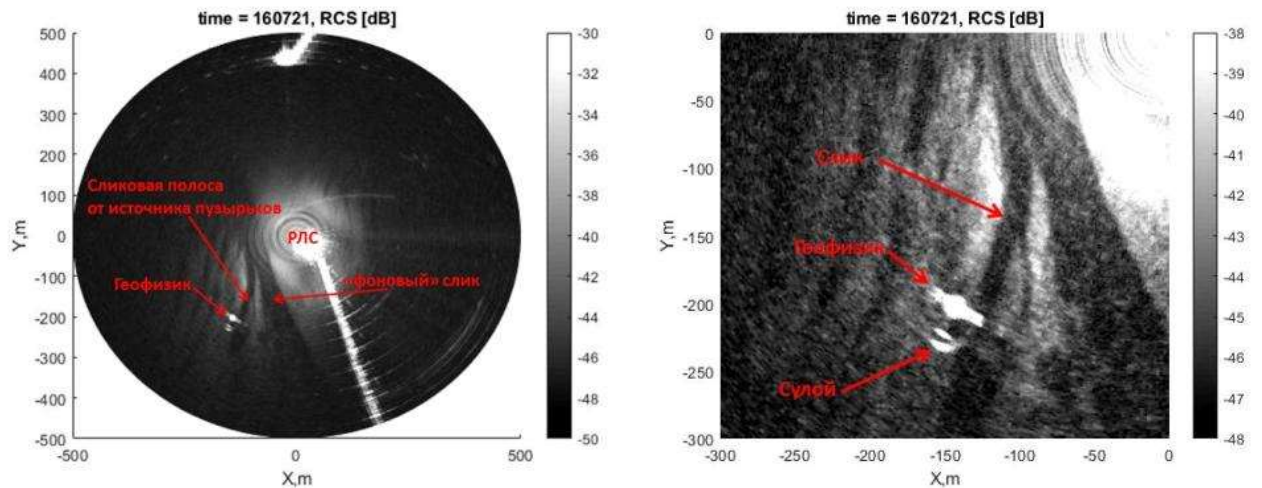


а) б)
Рисунок 1. Натурный эксперимент по формированию пленочного слика от пузырькового потока: а) плавучая лаборатория «Геофизик», оснащенная оборудованием для подачи воздуха, акустическим доплеровским измерителем течений (ADCP) и ультразвуковым датчиком скорости и направления ветра WindSonic; б) маяк аванпорта, на котором располагался локатор кругового обзора сантиметрового диапазона Микран MRS-1000.

На полученных радиолокационных изображениях (рис. 2, а, б) была зарегистрирована полосовая сликовая структура, сформированная пузырьковым потоком. Темные вертикальные полосы на рис. 2, а, б - это вытянутые по ветру сликовые пятна. Они имеют разную ширину и контрастность: наличие в зоне эксперимента природных, или т.н. «фоновых» сликов позволило сравнить их с искусственным сликом и выделить некоторые особенности последнего. Во-первых, это отличие контраста (отношения интенсивностей РЛ-сигнала в сликах и на чистой поверхности) в фоновом слике и в искусственном, что позволяет детектировать его радиолокационными методами. Во-вторых, морфологические отличия: искусственный слик имеет четко выраженную «головку» в месте своего образования, т.е. в области выхода из воды пузырькового потока, и более четкие границы в целом.

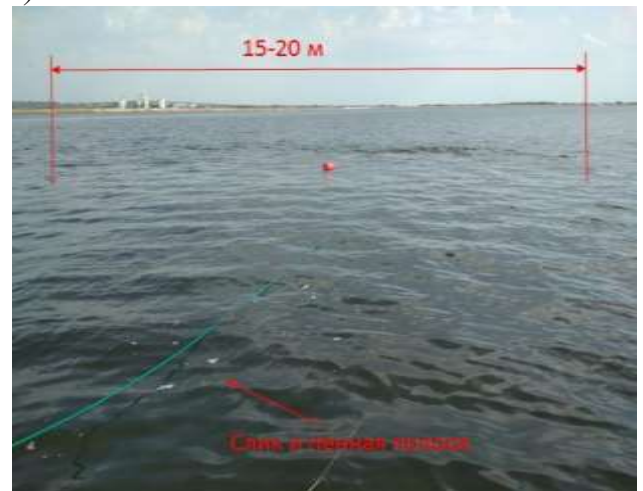
Размеры слика по визуальным оценкам (рис. 2, в, г) составили 15 – 20 м в направлении, поперечном ветру, и более 100 м в направлении вдоль ветра. Кроме того, с

наветренной стороны области выхода пузырьков, в результате столкновения пузырькового приповерхностного течения с ветровым течением, формировался сулой, который хорошо виден как на фотографии, выполненной в начальный момент включения пузырькового потока (рис. 2, в), так и на РЛ-изображениях (рис. 2, а, б).



а)

б)



в)

г)

Рисунок 2. Изображения области выхода пузырькового потока: а) радиолокационное (РЛ) изображение поверхности воды в районе исследования; б) фрагмент РЛ-изображения слика, сформированного пузырьковым потоком; в) изображение области выхода пузырьков в начальный момент включения пузырькового потока; г) изображение области выхода пузырьков в установившемся режиме работы пузырькового потока.

Таким образом, экспериментально подтвержден факт формирования слика на поверхности воды в районе выхода газовых пузырьков из воды. Выносимые на поверхность воды ПАВ формируют сликовое пятно, которое может быть зарегистрировано радиолокационными методами. Для распознавания искусственных сликов, в том числе, сформированных подводными газовыми выбросами, в поле фоновых сликовых полос может быть использован алгоритм, разработанный Ивоным Д.В. и Ивановым А.Ю., позволяющий различать на РЛ-изображениях различные виды пленочных загрязнений морской поверхности с использованием специального поляризационного параметра RND (англ. relative Resonant to Nonresonant signal Damping) [7].

Одним из важных практических результатов выполненной работы является подтверждение возможности дистанционной диагностики пузырьковых выбросов, например, повреждений подводных газопроводов по изображениям сликов над ними.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-38-00861) и за счет средств темы госзадания 0729-2020-0037.

Список литературы:

1. 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
2. Смирнова М.В. Формирование пленки поверхностно-активного вещества вблизи области выхода из воды пузырькового потока / Смирнова М.В., Капустин И.А., Глухова В.С., Носова А.Д., Лазарева Т.Н. // Материалы 4-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии волжского бассейна». – Н. Новгород: ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2019. - с. 27.
3. Ермаков С.А. Влияние пленок на динамику гравитационно-капиллярных волн. – Н. Новгород: ИПФ РАН, 2010. - 164 с.
4. Alpers W., Huehnerfuss H. Radar signatures of oil films floating on the sea surface and the Marangoni effect // J. Geophys. Res. 1988. V.93, No. C4. p. 3642 – 3648.
5. Ивонин Д. В., Иванов А. Ю. О классификации пленочных загрязнений моря на основе обработки поляризационных радиолокационных данных спутника TERRASAR-X // Океанология. - 2017, том 57, № 5, с. 815–829. DOI: 10.7868/S003015741705015X
6. Lyzenga D.R., Marmorino G.O. Measurements of surface currents using sequential synthetic aperture radar images of slick patterns near the edge of the Gulf Stream // J. Geophys. Res. 1998. V. 103, No. C9. p. 18769 – 18777.
7. Ivonin D.V. Interpreting sea surface slicks on the basis of the normalized radar cross-section model using Radarsat-2 copolarization dual-channel SAR images / Ivonin D.V., Skrunes S., Brekke C., Ivanov A. Y. // Geophys. Res. Lett. 2016. V. 43. № 6. P. 2748–2757. DOI: 10.1002/2016GL068282

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF RADAR DETECTION OF GAS OUTLET AREAS ON THE SURFACE OF RESERVOIRS

Maria V. Smirnova, Ivan A. Kapustin, Alexey V. Ermoshkin

This paper describes the results of a full-scale experiment to study the effect of formation of a film slick as a result of gas escaping from the water column and shows the possibility of its detection by radar means of remote sensing. The experiment was conducted in the summer of 2019 in the water area of the Gorky reservoir using a centimeter-range radar Micran MRS-1000 installed on the avantport lighthouse. Estimates of the size and morphology of the slick spot are obtained. Features that allow distinguishing such a slick from background slicks of natural origin are noted.

Keywords: bubble outlet, surfactant films, slick, radar signatures, remote sensing