

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЛЕНОЧНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.В. Ермошкин

*Институт прикладной физики Российской академии наук,
г. Нижний Новгород, Россия*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6528-7589>

И.А. Капустин

*Институт прикладной физики Российской академии наук,
г. Нижний Новгород, Россия*

*Волжский государственный университет водного транспорта,
г. Нижний Новгород, Россия*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6845-3119>

О.А. Даниличева

*Институт прикладной физики Российской академии наук,
г. Нижний Новгород, Россия*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9529-2517>

Е.И. Поплавский

*Институт прикладной физики Российской академии наук,
г. Нижний Новгород, Россия*

Н.С. Русаков

*Институт прикладной физики Российской академии наук,
г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. В статье рассмотрены морфологические особенности растекания пленок поверхностно-активных веществ по поверхности водоема на примере экспериментов на Горьковском водохранилище при различной гидрометеорологической обстановке. В качестве исследуемых веществ использовались: олеиновая кислота, растительное масло, дизельное топливо. Регистрация пленочных загрязнений велась с помощью цифровой когерентной радиолокационной станции MRS-1000 X-диапазона, размещенной на крыше маяка на конце мола аванпорта. Обработка полученных радиолокационных панорам, позволила установить, что физические свойства загрязняющего вещества отражаются в морфологических характеристиках пятен. В частности, свойства вещества проявляются в отношении размеров осей пятен вдоль и поперек направления ветра, а также в эффектах роста и насыщения площади пятен при прочих равных условиях. Не претендуя на способ идентификации вещества на основе полученных данных, можно заключить о наличии указанных эффектов и доступности их наблюдения радиолокационными методами.

Ключевые слова: пленочные загрязнения, слики, поверхностно-активные вещества, радиолокация, дистанционное зондирование, мониторинг

Введение

Как известно загрязнения водной среды нефтепродуктами представляют значительную угрозу ее обитателям, растениям, а также способствуют непригодности водоема для хозяйственной и рекреационной деятельности [1]. Поскольку основная часть фракций нефти легче воды, нефтепродукты при разливах с судов остаются на поверхности водоема в виде пленочных загрязнений и растекаются в соответствии с физическими свойствами самого вещества и внешними условиями среды (температура, течение, ветер) [2–5]. С использованием современных методов дистанционного зондирования водной поверхности возможно раннее обнаружение разливов нефтепродуктов, которое может существенно сократить последующие расходы на ликвидацию аварии [6–7]. Существует ряд методов, позволяющих идентифицировать вещество, дистанционно оценив его свойства [8–10]. Однако проблема идентификации нефтепродукта или поверхностно-активного вещества (ПАВ) на водной поверхности, а также его объема остается открытой. Настоящая работа посвящена совсем другому аспекту дистанционного наблюдения и идентификации вещества загрязняющей пленки, связанному с морфологическими особенностями пятен различных веществ, растекающихся по взволнованной водной поверхности.

1. Методы и подходы

Натурный эксперимент

Для исследования морфологических особенностей пленочных загрязнений на поверхности водоема были проведены натурные эксперименты в юго-восточной части Горьковского водохранилища. При этом были задействованы два маломерных судна: с первого осуществлялся разлив веществ, а со второго – контроль параметров ветра и течения с помощью акустического доплеровского измерителя течений ADCP Monitor 1200kHz и ультразвукового цифрового измерителя скорости ветра WindSonic. Регистрация пленочных загрязнений велась с помощью цифровой когерентной радиолокационной станции (РЛС) MRS-1000 производства НПО «Микран» г. Томск, работающей в X-диапазоне длин радиоволн. Подобные радиолокаторы СВЧ диапазона – это наиболее эффективное всепогодное средство дистанционного обнаружения пленочного загрязнения на поверхности водоема, как это было показано, например, в [5, 7, 11–13]. В нашем случае, как и в [7], РЛС устанавливалась на крыше маяка на конце мола аванпорта Горьковского водохранилища (рис. 1).



Рис. 1. Эксперимент на Горьковском водохранилище 24.06.2020 г.

Морфологические особенности пятен пленочных загрязнений исследовались для трех веществ: олеиновая кислота (OLE), растительное масло (VO), дизельное топливо (OIL). Во всех экспериментах на поверхность водоема выливалось по 200 мл вещества. В ходе проведения экспериментов резких изменений в направлении течения и ветра не наблюдалось, создаваемые пятна находились в относительно равных условиях с точки зрения их перемещения и деформации, что, в конечном итоге, позволило сравнить их морфологические характеристики. Вещества OLE и VO не являются загрязнителями водной среды в используемых объемах, а по окончании экспериментов с OIL, вещество собиралось с поверхности воды механическим способом.

Обработка

Основным источником данных о форме пятна поверхностно-активного вещества в настоящей работе являлись радиолокационные изображения водной поверхности, полученные радиолокатором кругового обзора. Для лучшего определения контуров слика к временной серии радиолокационных изображений был применен алгоритм обработки, описанный в [5]. Время накопления радиолокационных изображений составило 60 секунд, что приблизительно соответствует 24 оборотам антенны РЛС.

На каждом минутном радиолокационном изображении был выделен контур слика и проведен анализ его морфологических параметров, к которым можно отнести отношение длин наибольшей L и наименьшей l осей, а также площадь слика S (см. например, [14–16]).

2. Результаты

Результаты проведенных наблюдений представлены ниже на примере двух дней измерений, когда наблюдались различные гидрометеорологические условия (таблица 1).

Таблица 1

Параметры экспериментов

Номер слика	Дата / время	Тип вещества	Скорость / направление ветра
1	24.06.2020 / 13:48	OLE	10–12 м/с / ССЗ
2	24.06.2020 / 13:49	VO	

3	24.06.2020 / 13:50	OIL		
5	24.06.2020 / 14:09	VO		
6	24.06.2020 / 14:10	OLE		
7	24.06.2020 / 14:25	VO		
8	24.06.2020 / 14:26	OLE		
9	24.06.2020 / 14:28	OLE		
10	24.06.2020 / 14:29	VO		
11	25.06.2020 / 09:05	VO		4–6 м/с / 3
12	25.06.2020 / 09:06	OLE		
13	25.06.2020 / 09:07	OLE		
14	25.06.2020 / 09:08	VO		

Пример радиолокационной панорамы водной поверхности, на которой присутствуют пленочные загрязнения, приведен на рис. 2. На изображении хорошо различимы молы аванпорта и береговая линия (светлые области). Область занятая пленочным загрязнением на изображении выглядит как локальное понижение уровня сигнала с резкими границами, что связано с гашением коротких ветровых волн в области пятна [17–18].

На каждом минутном радиолокационном изображении был выделен контур слика и проведен анализ его морфологических параметров, к которым можно отнести отношение наибольшей L и наименьшей l осей, а также площадь слика S [14–16]. Ниже на рис. 3 приведены полученные в ходе обработки радиолокационных изображений перечисленные морфологические параметры сликов в зависимости от времени растекания вещества, а на рис. 4–5 приведены визуальные примеры различия в трансформации контуров единовременно созданных пятен различных веществ на примере растительного масла (пятно №7) и олеиновой кислоты (пятно №8).

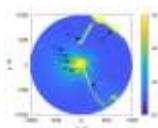
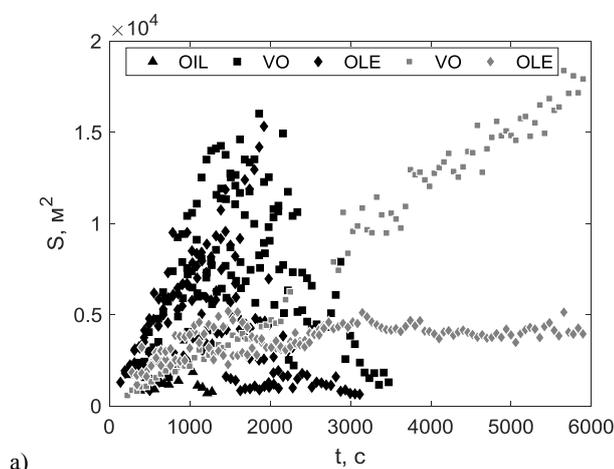
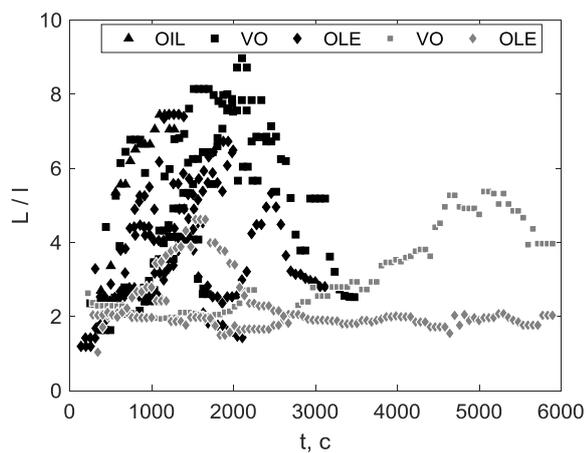


Рис. 2. Радиолокационная панорама водной поверхности, полученная на Горьковском водохранилище 25.06.2020 в 09:43: А – молы аванпорта, В – берег, 11–14 – слики в соответствии с таблицей 1, радиолокатор установлен в центре координат





б)

Рис. 3. Морфологические особенности пятен поверхностно-активных веществ как функции времени: площадь пятна (а), отношение осей (б). Черные метки соответствуют сликам 1–10 при сильном ветре, серые –11–14 при слабом ветре

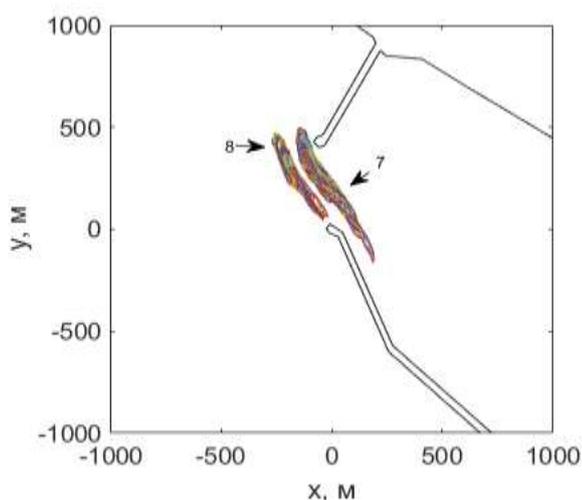


Рис. 4. Демонстрация различной морфологии двух одновременно образованных пятен различных веществ на примере пятен №7 (VO) и №8 (OLE)

3. Обсуждение

Как показывает рис. 3, имеются существенные различия в морфологических характеристиках пятен различных веществ в условиях сильного ветра. Так, пятно VO демонстрирует наиболее продолжительный и быстрый рост площади при прочих равных условиях. При этом наибольшее отношение осей достигается для пятна OIL. Для пятен всех веществ наблюдается эффект уменьшения площади на больших временах растекания (см. например [15, 19]). Наиболее резкому падению площади и сжатию в поперечном направлении подвержены пятна OLE, в то время как VO демонстрирует более пологий спад площади в условиях сильных ветров. Из рис. 3 видно, что сжатие пятна происходит на временах примерно в 2 раза меньших, чем его растекание. Однако в отдельных случаях наблюдается резкое падение площади (рис. 5), причины которого пока не установлены. В условиях умеренного и слабого ветра обнаруженные различия только усиливаются.

В работе [20] представлены морфологические характеристики разливов OLE в условиях умеренных и слабых ветров, полученные методом «оконаливания» пятна моторной лодкой с GPS-приёмником на борту. Пятна, исследуемые в [20], достигают своей максимальной площади ($\sim 5000 \text{ м}^2$) примерно через час после начала разливов, что хорошо согласуется с данными, представленными в настоящей работе. Хорошее соответствие между морфологическими характеристиками разливов, полученными разными способами, говорит о возможности совместного использования обоих методов регистрации формы пятен ПАВ в будущих исследованиях.

Нельзя не сказать несколько слов и о возможных ошибках в определении представленных морфологических характеристик. Основные трудности наблюдались в определении отношения размеров осей пятен в связи с частыми флуктуациями этого параметра. Причиной их возникновения служил автоматизированный подход к представлению пятна эллипсом и определению его главных осей. Из рис. 4–5 становится понятным, что такой подход зачастую может привести к тому, что в связи с трансформацией

пятна и поворотом соответствующего эллипса, выбранные полуоси могут не совпасть с полуосями вдоль и поперек направления ветра, в результате чего возникает ошибка. Тем не менее, для получения предварительных оценок динамики морфологических характеристик пятен такого рода ошибки могут быть устранены путем применения медианного фильтра, что и было сделано при построении рис. 3б.

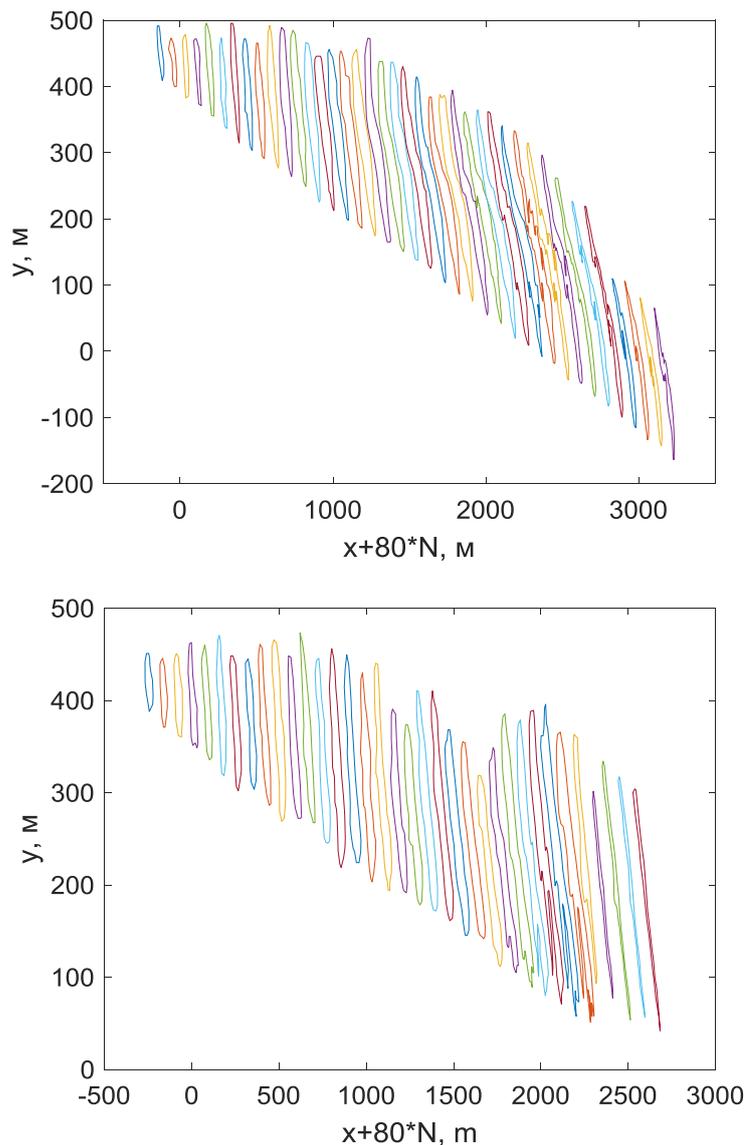


Рис. 5. Динамика трансформации контуров сликов №7 (сверху) и №8 (снизу) с временным шагом в 1 минуту. Горизонтальная координата смещена на эквидистантное расстояние 80м для каждого последующего контура с целью избегания перекрытия

Заключение

Проведенные натурные эксперименты по радиолокационному зондированию пятен загрязняющих веществ на водной поверхности показали, что физические свойства загрязняющего вещества отражаются на морфологических характеристиках пятен. В частности, свойства вещества проявляются в отношении осей пятен вдоль и поперек направления ветра, а также в эффектах роста и насыщения площади пятен при прочих равных условиях. Не претендуя на способ идентификации вещества на основе полученных данных, можно заключить о наличии указанных эффектов и доступности их наблюдения радиолокационными методами. Более детальный анализ полученных данных планируется провести в ходе дальнейшей работы.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-35-20054 мол_a_вед.

Список литературы:

1. Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. Сборник научных трудов. Москва: Студия Ф1, 2019. – 572 с.
2. Моделирование процесса растекания нефти при выполнении судами в счалах погрузо-разгрузочных операций (ПРО)/ Е.Ю. Чебан, И.А. Капустин, А.А. Мольков, М.В. Игонина// Речной транспорт (XXI век)-2015. – № 5 (76) – с. 42–47.

3. Журбас В.М. Основные особенности распространения нефти в море/ В. М. Журбас // Итоги науки и техники. Механика жидкости и газа, М.: ВИНТИ – 1978. -т. 12.– с. 144–159.
4. Fingas M., A review of oil spill remote sensing/ M. Fingas, С.Е. Brown // Sensors. -2018. Vol. 18. – №. 1. – P. 91.
5. Об оценке вклада приводного ветра в кинематику slickов на морской поверхности в условиях ограниченных разгонов волнения/ И.А. Капустин, А.В. Ермошкин, Н.А. Богатов, А.А. Мольков //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса -2019. -Т. 16. -№ 2. – С. 163–172.
6. Чебан Е.Ю. Техничко-экономическая оценка реализации положения о функциональной подсистеме организации работ по предупреждению и ликвидации разливов нефти на внутренних водных путях России/ Е.Ю. Чебан, В.М. Иванов, А.И. Кузьмичев // В сборнике: Проблемы использования и инновационного развития внутренних водных путей в бассейнах великих рек. Труды международного научно-промышленного форума. Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, специалистов и студентов. ВГБОУ ВО ННГАСУ, ФГБОУ ВО "ВГУВТ". -2017. -С. 17.
7. Макет системы экологического мониторинга пленочных загрязнений в акватории Горьковского водохранилища/ А.В. Ермошкин, И.А. Капустин, А.А. Мольков, Е.И. Поплавский, Н.С. Русаков //Научные проблемы водного транспорта - 2020. – № 62– с. 11–19. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi62.35>
8. Дистанционные методы определения толщин пленок нефти и нефтепродуктов на морской поверхности / А.А. Мольков, И.А. Капустин, А.В. Ермошкин, С.А. Ермаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. -2020. -Т. 17.– №3.– С. 9–27. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-9-27
9. Interpreting sea surface slicks on the basis of the normalized radar cross-section model using RADARSAT-2 copolarization dual-channel SAR images / D. V. Ivonin, S. Skrunes, C. Brekke, A. Y. Ivanov //Geophysical Research Letters. -2016. -Vol. 43.– №. 6.– P.2748–2757.
10. Skrunes S., Oil spill characterization with multi-polarization C-and X-band SAR/ S. Skrunes, C. Brekke, T. Eltoft //2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE. -2012. -P. 5117-5120. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6352459>
11. Measuring the Ocean Surface, Available at: <https://www.miros-group.com>
12. Sigma S6 Oil Spill Detection (OSD) System, Available at: <http://rutter.ca/sigma-s6>
13. The SeaDarQ radar system, Available at: <http://www.seadarq.com>
14. Fay J.A. The spread of oil slicks on a calm sea / J.A. Fay // Oil on the Sea. Plenum New York. – 1969. -P. 53–63.
15. Ермошкин А.В., Исследование особенностей растекания пленок поверхностно-активных веществ на поверхности внутренних водоемов морским навигационным радиолокатором / А.В. Ермошкин, И.А. Капустин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. -2015. -Т. 12. -№ 6. – С. 113–119.
16. Исследование особенностей геометрии пленочных slickов на морской поверхности по данным спутниковых радиолокационных наблюдений/ С.А. Ермаков, О.Ю. Лаврова, И.А. Капустин, Е.В. Макаров, И.А. Сергиевская // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. -2016. -Т. 13.– № 3. -С. 97–105
17. Ермаков С.А. Влияние пленок на динамику гравитационно-капиллярных волн. / С.А. Ермаков -Н.Новгород: ИПФ РАН, 2010. -164 с.
18. Damping of surface waves due to crude oil/oil emulsion films on water/ I. Sergievskaya, S. Ermakov, T. Lazareva, J. Guo //Marine Pollution Bulletin. -2019. -Vol. 146.– P. 206–214.
19. Ермаков С.А., Об эффекте сжатия пленочного slickа/ С.А. Ермаков, А.В. Ермошкин, Капустин И.А. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14 – № 3 – С. 288–294 <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-288-294>
20. Remote sensing of evolution of oil spills on the water surface / S. Ermakov, I. Kapustin, A. Molkov, G. Leshev, O. Danilicheva, I.Sergievskaya // Proc. SPIE 10784, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters,and Large Water Regions -2018– 107840L (10 October 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2325745>

INVESTIGATION OF MORPHOLOGICAL FEATURES OF FILM POLLUTION ON WATER SURFACE BASED ON RADAR SENSING DATA

Alexey V. Ermoshkin

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

Ivan A. Kapustin

*Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia
Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

Olga A. Danilicheva

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

Eugene I. Poplavsky

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

Nikita S. Rusakov

Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article deals with the morphological features of spreading films of surfactants on the surface of the reservoir on the basis of experiments on the Gorky reservoir under various meteorological conditions. The test substances were: oleic acid, vegetable oil, diesel. The registration of film contamination was carried out using X-band digital coherent radar MRS-1000, located on the roof of the lighthouse at the end of the outside harbor. The processing of the obtained radar panoramas made it possible to establish that the physical properties of the pollutant are reflected

in the morphological characteristics of the film slicks. In particular, the substance properties are manifested in relation of the slick axes along and across the wind direction, as well as in the effects of growth and saturation of the slick area, all other things being equal. Without claiming to be a method for identifying a substance based on the data obtained, we can conclude that these effects are present and that they can be observed using radar methods.

Keywords: *film pollution, slicks, surfactants, radar, remote sensing, monitoring*

References:

1. «Nauchnye problemy ozdorovleniya rossijskih rek i puti ih resheniya» Sbornik nauchnyh trudov. Moskva: Studiya F1, 2019. 572 p
2. CHEBAN E.YU., Kapustin I.A., Molkov A.A., Igonina M.V. «Modelirovanie processa rastekaniya nefti pri vypolnenii sudami v schalah pogruzo-razgruzochnyh operacij (PRO)» Rechnoj transport (XXI vek). – 5.76 (2015):42-47.
3. ZHURBAS V. M. «Osnovnye osobennosti rasprostraneniya nefti v more.» Itogi nauki i tekhniki. Mekhanika zhidkosti i gaza, M.: VINITI.12(1978): 144-159.
4. Fingas M., Brown C.E. «A review of oil spill remote sensing» Sensors. 18.1(2018): 91.
5. Kapustin I.A., Ermoshkin A.V., Bogatov N.A., Molkov A.A. «Ob ocenke vklada privodnogo vetra v kinematiku slikov na morskoy poverhnosti v usloviyah ogranichennyh razgonov volneniya» (On the estimation of the contribution of near-surface wind to the kinematics of slicks on the sea surface under conditions of finite wave fetch) Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 16.2 (2019): 163-172
6. CHEBAN E.Y., Ivanov V.M., Kuzmichev A.I. «Tekhniko-ekonomicheskaya ocenka realizacii polozheniya o funkcionalnoj podsysteme organizacii rabot po preduprezhdeniyu i likvidacii razlivov nefti na vnutrennih vodnyh putyah Rossii» V sbornike: Problemy ispolzovaniya i innovacionnogo razvitiya vnutrennih vodnyh putej v bassejnah velikih rek. Trudy mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma. Materialy nauchno-metodicheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, specialistov i studentov. VGOBU VO NNGASU, FGOBU VO «VGUVT». (2017):17.
7. Ermoshkin A.V., Kapustin I.A., Molkov A.A., Ермошкин, А.В., Капустин, И.А., Молюков, Поплавский Е.И., Русаков, N.S. «Maket sistemy ekologicheskogo monitoringa plenochnyh zagryaznenij v akvatorii Gor'kovskogo vodohranilishcha» (Model of system of ecological monitoring of film pollutions in the Gorkovsky reservoir) Nauchnye problemy vodnogo transporta 62 (2020): 11-19. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi62.35>
8. Molkov A.A., Kapustin I.A., Ermoshkin A.V., Ermakov S.A. «Distancionnye metody opredeleniya tolshchin plenok nefti i nefteproduktov na morskoy poverhnosti» Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa 17.3 (2020): 9-27 <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-3-9-27>
9. Ivonin D.V., Skrunes S., Brekke C., Ivanov A.Y. «Interpreting sea surface slicks on the basis of the normalized radar cross-section model using RADARSAT-2 copolarization dual-channel SAR images» Geophysical Research Letters. 43.6 (2016): 2748-2757.
10. Skrunes S., Brekke C., Eltoft T. «Oil spill characterization with multi-polarization C-and X-band SAR» International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE. (2012): 5117-5120. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2012.6352459>
11. Measuring the Ocean Surface, Web. <<https://www.miros-group.com> >
12. Sigma S6 Oil Spill Detection (OSD) System, Web. <<http://rutter.ca/sigma-s6> >
13. The SeaDarQ radar system, Web. <<http://www.seadarg.com> >
14. Fay J.A. The spread of oil slicks on a calm sea. Oil on the Sea. Plenum New York. (1969): 53–63.
15. Ermoshkin A.V., Kapustin I.A. «Issledovanie osobennostej rastekaniya plenok poverhnostno-aktivnyh veshchestv na poverhnosti vnutrennih vodoemov morskim navigacionnym radiolokatorom» Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa 12.6 (2015): 113-119
16. Ermakov S.A., Lavrova O.Y., Kapustin I.A., Makarov E.V., Sergievskaya I.A. «Issledovanie osobennostej geometrii plenochnyh slikov na morskoy poverhnosti po dannym sputnikovyh radiolokacionnyh nablyudenij» Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 13.3 (2016): 97–105.
17. Ermakov S.A. Vliyanie plenok na dinamiku gravitacionno-kapillyarnykh voln. N.Novgorod: IPF RAN. 2010. 164 p.
18. Sergievskaya I. Ermakov S., Lazareva T., Guo J. «Damping of surface waves due to crude oil/oil emulsion films on water» Marine Pollution Bulletin. 146 (2019): 206–214.
19. Ermakov S.A., Ermoshkin A.V., Kapustin I.A. «Ob effekte szhatiya plenochnogo slika» Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 14.3(2017): 288–294 <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-288-294>
20. Ermakov S., Kapustin I., Molkov A., Leshev G., Danilicheva O., Sergievskaya I., "Remote sensing of evolution of oil spills on the water surface," Proc. SPIE 10784, Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions 2018, 107840L (10 October 2018); <https://doi.org/10.1117/12.2325745>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ермошкин Алексей Валерьевич, к.ф.-м.н.,
Заместитель заведующего лабораторией
дистанционных методов обнаружения
геофизических возмущений, Институт
прикладной физики Российской академии наук
(ФГБНУ «ИПФ РАН»),
603950, г. Нижний Новгород, БОКС–120,
ул. Ульянова, 46,
e-mail: al-ermoshkin@yandex.ru

Alexey V. Ermoshkin, Ph.D, Laboratory
Manager Deputy of Laboratory of Remote
Methods of Geophysical Perturbations
Detection, Institute of Applied Physics of the
Russian Academy of Sciences,
46, Ulyanov st, Nizhny Novgorod, 603950,

Капустин Иван Александрович, к.ф.-м.н.,
старший научный сотрудник отдела

Ivan A. Kapustin, Ph.D., Senior researcher of
the Department of Radiophysical Methods in
Hydrophysics, Institute of Applied Physics of

радиофизических методов в гидрофизике, Институт прикладной физики Российской академии наук (ФГБНУ «ИПФ РАН»), 603950, г. Нижний Новгород, БОКС – 120, ул. Ульянова, 46, старший научный сотрудник кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kapustin-i@yandex.ru

Даниличева Ольга Аркадьевна, младший научный сотрудник отдела радиофизических методов в гидрофизике, Институт прикладной физики Российской академии наук (ФГБНУ «ИПФ РАН»), 603950, г. Нижний Новгород, БОКС–120, ул. Ульянова, 46, e-mail: temary-good@yandex.ru

Поплавский Евгений Иванович, лаборант-исследователь лаборатории дистанционных методов обнаружения геофизических возмущений, Институт прикладной физики Российской академии наук (ФГБНУ «ИПФ РАН»), 603950, г. Нижний Новгород, БОКС–120, ул. Ульянова, 46, e-mail: keepcalmandhavefun@mail.ru

Русаков Никита Сергеевич, лаборант-исследователь лаборатории дистанционных методов обнаружения геофизических возмущений, Институт прикладной физики Российской академии наук (ФГБНУ «ИПФ РАН»), 603950, г. Нижний Новгород, БОКС–120, ул. Ульянова, 46, e-mail: nikitarusakov228@yandex.ru

the Russian Academy of Sciences, 46, Ulyanova st, Nizhny Novgorod, 603950, Senior researcher of the Department of Hydrodynamics, Vessel Theory and Ecological Safety, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603950,

Olga A. Danilicheva, Junior researcher of the Department of Radiophysical Methods in Hydrophysics, Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, 46, Ulyanov st, Nizhny Novgorod, 603950,

Eugene I. Poplavsky, Research laboratory assistant of Laboratory of Remote Methods of Geophysical Perturbations Detection, Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, 46, Ulyanov st, Nizhny Novgorod, 603950,

Nikita S. Rusakov, Research laboratory assistant of Laboratory of Remote Methods of Geophysical Perturbations Detection, Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, 46, Ulyanov st, Nizhny Novgorod, 603950,