Оценка рисков загрязнения поверхности юго-восточной части Чёрного моря, обусловленного естественными выходами нефти с морского дна

М. И. Митягина, О. Ю. Лаврова

Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия

E-mail: mityag@iki.rssi.ru

В статье рассматриваются вопросы дальнейшего развития методов спутникового дистанционного зондирования и их использования для выявления и длительного наблюдения нефтяных загрязнений поверхности моря, обусловленных естественными выходами углеводородов с морского дна. Исследование основано на анализе долговременных рядов данных спутниковых радиолокаторов с синтезированной апертурой и спутниковых многоспектральных сенсоров оптического диапазона, полученных в ходе многолетнего мониторинга юго-восточной части Чёрного моря. Район интереса охватывает акваторию над континентальным шельфом в грузинском секторе Чёрного моря на участке вдоль береговой черты Поти – Батуми. Здесь расположен кластер естественных выходов нефтеуглеводородов с морского дна (сипов), и этот район относится к зонам наиболее сильного нефтяного загрязнения поверхности Чёрного моря. На основе информации, полученной со спутников, построены карты нефтяного загрязнения, позволяющие оценить вероятность загрязнения различных участков морской поверхности. К числу основных результатов следует отнести обнаружение значительной сезонной изменчивости направления распространения нефтяных плёнок естественного происхождения под влиянием локальных ветров и поверхностных течений, преобладающих в различные периоды. Показано, что сезонная изменчивость должна учитываться при оценке рисков нефтяного загрязнения морской поверхности и побережья.

Ключевые слова: Чёрное море, спутниковое дистанционное зондирование, морская поверхность, нефтяное загрязнение, поверхностные плёнки, естественные выходы углеводородов с морского дна

Одобрена к печати: 16.06.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-211-220

Введение

Интерес к естественным выходам углеводородов с морского дна, которые проявляются в виде нефтяных сипов (факелы углеводородов при просачивании нефти на дне), а также в виде грязевых вулканов и грифонов растёт во всём мире. Естественные выходы нефти с морского дна географически широко распространены и выделяют нефть из недр на поверхность в течение длительных промежутков геологического времени. Согласно некоторым оценкам (Kvenvolden, Cooper, 2003), в настоящее время 53 % сырой нефти, поступающей в Мировой океан, являются результатом утечек и разливов во время добычи, транспортировки, переработки, хранения и промышленного использования нефти, а также в результате аварий на нефтяных платформах и судах, тогда как 47 % обусловлено естественными выходами с морского дна. Разломы или трещины на морском дне обеспечивают естественные пути просачивания, через которые пузырьки газа, покрытые нефтью, попадают в толщу воды. Хотя большинство из этих пузырьков растворяется в толще воды, определённое их количество достигает поверхности. Там газ попадает в атмосферу, а нефть, растекаясь тонкой плёнкой на морской поверхности, формирует на ней характерный слик (MacDonald et al., 2002). Методы спутникового дистанционного зондирования предоставляют возможность наблюдать дрейф и растекание нефтяных сликов на морской поверхности под совместным воздействием ветра и поверхностных течений (Daneshgar et al., 2017; Fingas, Brown, 2018).

Регулярные наблюдения естественных нефтепроявлений на морской поверхности с помощью спутниковых сенсоров могут служить экспериментальной основой для решения

целого ряда актуальных с научной и практической точки зрения задач. Прежде всего, естественные выходы углеводородов с морского дна могут служить индикаторами присутствия экономически значимых залежей углеводородов в районе наблюдения. С другой стороны, естественные выходы углеводородов с морского дна являются источниками устойчивого загрязнения, которое следует учитывать при оценке состояния морской среды и при исследованиях происходящих в ней изменений.

Возможности традиционных контактных методов исследования естественных выходов углеводородов с морского дна достаточно ограничены, а данные, полученные в результате таких исследований, зачастую фрагментарны. В то же время использование радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) и многоспектральных сенсоров оптического диапазона спутникового базирования позволяет проводить регулярные наблюдения на больших акваториях с высоким пространственным разрешением и предоставляет отличные возможности для изучения и картирования естественных нефтепроявлений как в шельфовых, так и в глубоководных зонах морей и океанов.

К настоящему моменту опубликовано большое количество работ, базирующихся на данных спутниковых наблюдений естественных нефтепроявлений в различных районах Мирового океана (Митягина, Лаврова, 2020; De Beukelaer et al., 2003; DiGiacomo et al., 2004; Ivanov et al., 2019; Mityagina, Lavrova, 2016).

В настоящей статье мы представляем результаты исследования естественных нефтепроявлений в юго-восточной части Чёрного моря, проведённого на основе данных спутникового дистанционного зондирования. Основное внимание уделялось участку акватории над континентальным шельфом в грузинском секторе Чёрного моря в районе Поти – Батуми. Здесь расположен кластер естественных выходов нефтеуглеводородов с морского дна (сипов), и этот район относится к зонам наиболее сильного нефтяного загрязнения поверхности Чёрного моря. Существование глубоководных метановых сипов в грузинских водах и присутствие капель нефти в газовых факелах, поднимающихся на поверхность с морского дна, подтверждено в ходе многочисленных международных экспедиций, которые включали акустические исследования, сопровождаемые детальными геохимическими анализами, заборами проб грунта, определением состава газогидратов и выделяющихся газов (Klaucke et al., 2006; Kruglyakova et al., 2004).

К настоящему моменту опубликован целый ряд работ, посвящённых спутниковым наблюдениям естественных газо- и нефтепроявлений в Чёрном море. До сих пор в центре внимания исследований, проводимых в этом районе, было выявление характерных признаков радиолокационных сигнатур естественных нефтепроявлений на морской поверхности и рассмотрение механизмов их формирования, установление однозначной связи поверхностных нефтяных slicks с очагами разгрузки углеводородов на морском дне, уточнение географического положения этих очагов и проведение предварительных оценок возможных объёмов выбросов и площадей загрязнений морской поверхности (Затягалова, 2012; Лаврова, Митягина, 2012; Evtushenko, Ivanov, 2013; Körber et al., 2014).

В настоящей статье по результатам анализа и обобщения многолетних рядов спутниковых данных проводятся оценки риска нефтяного загрязнения акватории и побережья района интереса с учётом выявленной сезонной и пространственной изменчивостей естественных нефтепроявлений на морской поверхности.

Используемые данные

Экспериментальную основу настоящей статьи составляет большой массив многолетних спутниковых данных, накопленный за десятилетний период с 2010 по 2019 г. и включающий в себя данные РСА спутников Envisat (до 2012 г.) и Sentinel-1A/B (начиная с октября 2014 г. и сентября 2016 г. соответственно). Кроме того, использовались данные многоспектральных сенсоров оптического диапазона: MSI (Multispectral Instrument) спутника Sentinel-2A, сканирующих радиометров ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) Landsat-7 и OLI/TIRS (Operational Land Imager/Thermal Infrared Sensor) Landsat-8 (Лаврова и др., 2016).

Для анализа спутниковых данных и построения карт нефтяного загрязнения морской поверхности применялся инструментальный и картографический интерфейс информационного спутникового сервиса See the Sea (STS), разработанного в Институте космических исследований Российской академии наук (Лаврова и др., 2019; Лупян и др., 2012; Mityagina et al., 2014).

Пространственная изменчивость распространения естественных нефтепроявлений, выявленная по спутниковым данным

Примеры отображения естественных нефтепроявлений на морской поверхности, типичных для континентального шельфа у побережья Грузии, на изображениях спутниковых РСА и сенсоров оптического диапазона приведены на *рис. 1*. Наличие на морской поверхности нефтяной плёнки вызывает затухание резонансной гравитационно-капиллярной составляющей поверхностных волн. В этом случае на поверхности моря появляются гладкие участки (слики), которые образуют тёмные области уменьшенного обратного рассеяния сигнала на радиолокационном изображении. Естественные нефтепроявления отчётливо выделяются и на изображениях, цветосинтезированных по данным сенсоров оптического диапазона (Лаврова и др., 2011).

Рис. 1. Примеры проявлений сликовых структур в спутниковых данных, полученных над выходами нефтеуглеводородов с морского дна в районе грузинского шельфа: *а* — ASAR Envisat от 19 сентября 2011 г., 19:01 GMT; *б* — SAR-C Sentinel-1B от 26 июня 2018 г., 15:10 GMT; *в* — SAR-C Sentinel-1A от 4 мая 2019 г., 03:16 GMT; *г* — MSI Sentinel-2A от 18 мая 2019 г., 08:17 GMT; *д* — MSI Sentinel-2A от 7 июля 2019 г., 08:17 GMT; *е* — SAR-C Sentinel-1B от 27 июля 2019 г., 15:10 GMT

На всех изображениях, представленных на *рис. 1*, отчётливо выделяются крупные слики в форме длинных искривлённых полос. Им присущи все характерные признаки естественных нефтепроявлений, а именно строгая приуроченность точки всплытия к определённым географическим координатам и повторяемость их проявления в спутниковых данных. Толщина нефтяной плёнки максимальна вблизи точки всплытия. Ещё один характерный признак, общий для естественных нефтепроявлений на морской поверхности в рассматриваемом районе, — их «полосчатая» структура, обусловленная тем, что нефть доставляется на морскую поверхность газовыми пузырьками в результате одновременной активности нескольких газовых факелов (MacDonald et al., 2002; Mityagina, Lavrova 2017; Reitz et al., 2011). В процессе эволюции и распространения слика полосы могут слиться в одну или, продолжая эволюционировать под воздействием ветра и течений, оставаться обособленными (Лаврова и др., 2016; Mityagina, Lavrova, 2017).

На рис. 2а представлена сводная карта-схема нефтяного загрязнения морской поверхности юго-восточного сектора Чёрного моря, выявленного по спутниковым данным. Карта построена с помощью картографического интерфейса, интегрированного в систему STS. Для её построения было проанализировано 764 РСА-изображения и 94 «безоблачных» изображения сенсоров оптического диапазона, на которых были идентифицированы в общей сложности 470 снимков, обусловленных естественными выходами нефти с морского дна. Диаграмма, показывающая распределение проанализированных снимков и выявленных на них снимков по годам, приведена на рис. 2в. Частота уверенного детектирования снимков естественных нефтепроявлений на спутниковых изображениях района интереса составляет в среднем 40–60 % и зависит главным образом от гидрометеорологических условий на момент съёмки.

Рис. 2. Обобщённая схема нефтяного загрязнения морской поверхности над районом естественных выходов углеводородов со дна в юго-восточной части Чёрного моря, построенная по спутниковым данным (а); пространственная плотность (%) нефтяного загрязнения морской поверхности, выявленного на спутниковых изображениях (б); распределение проанализированных спутниковых снимков и выявленных на них сликов по годам (в)

Пробел в данных за 2012–2014 гг. связан с тем, что спутник Envisat перестал функционировать, а Sentinel ещё не был выведен на орбиту, поэтому радиолокационные данные в количестве, обеспечивающем получение статистически достоверных результатов, в этот период времени были недоступны.

На основе анализа многолетних рядов спутниковых данных рассчитана плотность пространственного распределения нефтяного загрязнения различных участков поверхности (количество снимков, выявленных для данного участка поверхности, отнесённое к общему чис-

лу сликов, выявленных в районе интереса). Это распределение, представленное на *рис. 2б*, позволяет качественно оценить вероятность загрязнения различных участков морской поверхности вблизи естественных выходов нефти со дна в юго-восточной части Чёрного моря. Площадь морской поверхности, подверженная нефтяному загрязнению с вероятностью более 50 %, составляет почти 1000 км², а участок акватории площадью примерно 180 км² в непосредственной близости от точки всплытия имеет очень высокий риск загрязнения. В условиях, когда преобладающее направление ветра и течений сохраняется в течение длительного времени, нефтяная плёнка может распространяться на большие расстояния — вплоть до 45–50 км от точки всплытия, что существенно увеличивает общую площадь акватории, потенциально подверженную загрязнению плёнками естественных нефтепроявлений, которая составляет около 4500 км².

Сезонная изменчивость распространения естественных нефтепроявлений, выявленная по спутниковым данным

Примеры нефтяных сликов, приведённые на *рис. 1*, и обобщённая схема нефтяного загрязнения морской поверхности, показанная на *рис. 2а*, наглядно демонстрируют, что направления дрейфа и растекания плёнок естественных нефтепроявлений в районе грузинского шельфа отличаются высокой вариабельностью. Анализ многолетних рядов спутниковых данных позволил нам выявить существование выраженной сезонной изменчивости распространения естественных нефтяных загрязнений морской поверхности в районе грузинского шельфа, которая, в свою очередь, обусловлена изменчивостью системы поверхностных течений и приводного ветра.

Направления и траектории распространения нефтяного загрязнения определяются главным образом полем поверхностных течений, которое в этом районе формируется под влиянием трёх основных факторов, каждый из которых может оказывать доминирующее влияние в различные периоды времени:

1. Первым фактором является Основное черноморское течение, которое способствует переносу загрязнений в северном направлении по циклонической схеме.
2. В качестве второго фактора выступают вихревые структуры разных знаков завихренности, которые способствуют кросс-шельфовому переносу загрязнений.
3. Третьим фактором, оказывающим влияние на распространение плёнок естественных нефтепроявлений, является квазистационарный батумский антициклонический вихрь, под влиянием которого нефтяные плёнки распространяются в южном направлении.

Сезонную изменчивость распространения плёнок естественных нефтепроявлений на морской поверхности юго-восточного сектора Чёрного моря наглядно отражают схемы траекторий нефтяных сликов, выявленных по спутниковым данным в 2019 г., приведённые на *рис. 3* (см. с. 216). Диаграммы, отображающие направление распространения нефтяных плёнок в соответствующие периоды 2019 г., представлены на том же рисунке. При построении этих диаграмм за направление распространения принималось направление луча, соединяющего точку всплытия нефти на поверхность моря и конечную точку слика, выявленного на спутниковом изображении.

Легко заметить, что на каждом временном промежутке выделяется доминирующее направление распространения нефтяных плёнок после их выхода на поверхность, и это направление медленно изменяется, совершая в течение года поворот по часовой стрелке, от северного до северо-западного.

На основе спутниковых данных нами установлено, что сезонная изменчивость распространения нефтяных плёнок присутствует во все годы наблюдения, однако характер её проявления варьируется год от года. В частности, варьируются длительности интервалов, на которых сохраняется то или иное доминирующее направление распространения плёнок естественных нефтепроявлений.

Рис. 3. Распространение плёнок естественных нефтепроявлений на морской поверхности по результатам спутниковых наблюдений в различные месяцы 2019 г.: а — январь–март; б — апрель–май; в — июнь–октябрь; г — ноябрь–декабрь. Диаграммы распределения направления дрейфа плёнок естественных нефтепроявлений на морской поверхности по результатам спутниковых наблюдений в различные месяцы 2019 г.: д — январь–март; е — апрель–май; ж — июнь–октябрь; з — ноябрь–декабрь

Рис. 4. Диаграммы распределения направлений дрейфа плёнок естественных нефтепроявлений на морской поверхности по результатам спутниковых наблюдений в различные месяцы 2017 г.: а — январь–февраль; б — март–апрель; в — май–июнь; г — июль–август; д — сентябрь–октябрь; е — ноябрь 2017 г. — январь 2018 г.

Например, в первой половине 2017 г. доминирующее направление распространения загрязнений медленно менялось с северного на юго-восточное, разворачиваясь по часовой стрелке, в течение следующих четырёх месяцев выявлялись колебания и поворот против часовой стрелки к востоку, а затем наблюдался поворот по часовой стрелке к югу (рис. 4).

Выводы и обсуждение результатов

На основе анализа долговременных рядов спутниковых изображений морской поверхности, содержащих естественные нефтепроявления, составлены карты, которые позволяют оценить риски нефтяного загрязнения поверхности моря в районе естественных выходов углеводородов с морского дна в юго-восточной части Чёрного моря. Определены области морской поверхности, потенциально подверженные риску нефтяного загрязнения, а также выделены области, подверженные риску загрязнения с высокой степенью вероятности.

На основе анализа спутниковых данных выявлено наличие сезонной изменчивости распространения нефтяных плёнок и наличие доминирующего направления распространения нефтяного загрязнения в различные сезоны. Наличие сезонной изменчивости необходимо учитывать при оценке рисков нефтяного загрязнения морской поверхности и побережья. Можно считать установленным, что над континентальным шельфом в грузинском секторе Чёрного моря на участке вдоль береговой черты Поты – Батуми с высокой степенью вероятности может происходить кросс-шельфовый перенос нефтяного загрязнения. При этом вероятность переноса в сторону береговой черты высока, если доминируют северо-восточные, восточные или юго-восточные направления распространения нефтяных плёнок, что наблюдается достаточно часто. Перенос в западном направлении, в сторону глубоководной части моря, наблюдается существенно реже.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164). Обработка и анализ спутниковых данных проводились с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг» (Лупян и др., 2015, 2019) с помощью инструментария информационной системы See the Sea, развитие которой осуществляется в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

Литература

1. Затыгалова В. В. О некоторых особенностях естественных выходов углеводорода в восточной части Азово-Черноморского бассейна // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 4. С. 194–201.
2. Лаврова О. Ю., Митягина М. И. Спутниковый мониторинг пленочных загрязнений поверхности Черного моря // Исслед. Земли из космоса. 2012. № 3. С. 48–65.
3. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г., Лебедев С. А., Митягина М. И., Гинзбург А. И., Шеремет Н. А. Комплексный спутниковый мониторинг морей России. М.: ИКИ РАН, 2011. 480 с.
4. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Костяной А. Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН, 2016. 334 с.
5. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Уваров И. А., Лупян Е. А. Текущие возможности и опыт использования информационной системы See the Sea для изучения и мониторинга явлений и процессов на морской поверхности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 266–287. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
6. Лупян Е. А., Матвеев А. А., Уваров И. А., Бочарова Т. Ю., Лаврова О. Ю., Митягина М. И. Спутниковый сервис See the Sea — инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 251–261.
7. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Ефремов В. Ю., Кашицкий А. В., Мазуров А. А., Матвеев А. М., Суднева О. А., Сычугов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
8. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А., Кашицкий А. В., Балашов И. В., Барталев С. А., Константинова А. М., Кобец Д. А., Мазуров А. А., Марченков В. В., Матвеев А. М., Радченко М. В., Сычугов И. Г., Толпин В. А., Уваров И. А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.

9. Митягина М. И., Лаврова О. Ю. Выход естественных углеводородов со дна Каспийского моря в районе туркменского шельфа, выявленный по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 2. С. 292–298. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-292-298.
10. Daneshgar A. S., Dukhovskoy D. S., Bourassa M., MacDonald I. R. Hindcast modeling of oil slick persistence from natural seeps // Remote Sensing of Environment. 2017. V. 189. P. 96–107. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.11.003>.
11. De Beukelaer S. M., MacDonald I. R., Guinasso N. L., Murray J. A. Distinct side-scan sonar, RADARSAT SAR, and acoustic profiler signatures of gas and oil seeps on the Gulf of Mexico slope // Geo-Marine Letters. 2003. V. 23. No. 3. P. 177–186.
12. DiGiacomo P. M., Washburn L., Holt B., Jones B. H. Coastal pollution hazards in southern California observed by SAR imagery: stormwater plumes, wastewater plumes, and natural hydrocarbon seeps // Marine Pollution Bull. 2004. V. 49. P. 1013–1024.
13. Evtushenko N. V., Ivanov A. Yu. Oil seeps in the southeastern Black Sea studied using satellite synthetic aperture radar images // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2013. V. 49. P. 913–918. URL: <https://doi.org/10.1134/S0001433813090065>.
14. Fingas M., Brown C. A review of oil spill remote sensing // Sensors. 2018. V. 18. No. 1. P. 91. URL: <https://doi.org/10.3390/s18010091>.
15. Ivanov A. Yu., Gerivani H., Evtushenko N. Characterization of natural hydrocarbon seepage in the South Caspian Sea off Iran using satellite SAR and geological data // Marine Georesources and Geotechnology. 2019. V. 38. Iss. 5. P. 527–538. DOI: 10.1080/1064119X.2019.1600175.
16. Klaucke I., Sahling H., Weinrebe W., Blinova V., Boerk D., Lursmanashvili N., Bohrmann G. Acoustic investigation of cold seeps offshore Georgia, eastern Black Sea // Marine Geology. 2006. V. 231. No. 1. P. 51–67.
17. Körber J. H., Sahling H., Pape T., Ferreira C. S., MacDonald I., Bohrmann G. Natural oil seepage at Kobuleti Ridge, eastern Black Sea // Marine and Petroleum Geology. 2014. V. 50. P. 68–82. URL: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.11.007>.
18. Kruglyakova R. P., Byakov Y. A., Kruglyakova M. V., Chalenko L. A., Shevtsova N. T. Natural oil and gas seeps on the Black Sea floor // Geo-Marine Letters. 2004. V. 24. P. 150–162.
19. Kvenvolden K. A., Cooper C. K. Natural seepage of crude oil into the marine environment // Geo-Marine Letters. 2003. V. 23. P. 140–146.
20. MacDonald I. R., Leifer I., Sassen R., Stine P., Mitchell R., Guinasso Jr. N. L. Transfer of hydrocarbons from natural seeps to the water column and atmosphere // Geofluids. 2002. V. 2. P. 95–107.
21. Mityagina M., Lavrova O. Satellite survey of inner seas: oil pollution in the Black and Caspian Seas // Remote Sensing. 2016. V. 8. P. 875–899. URL: <https://doi.org/10.3390/rs8100875>.
22. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu. Multi-sensor satellite survey of natural oil slicks in the southeastern Black Sea // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions: Proc. SPIE 10422. 2017. P. 1042215. DOI: 10.1117/12.2278025.
23. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Uvarov I. A. See the Sea: multi-user information system for investigating processes and phenomena in coastal zones via satellite remotely sensed data, particularly hyperspectral data // Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions: Proc. SPIE 9240. 2014. P. 92401C. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2067300>.
24. Reitz A., Pape T., Haeckel M., Schmidt M., Berner U., Scholz F., Liebetrau V., Aloisi G., Weise S., Wallmann K. Sources of fluids and gases expelled at cold seeps offshore Georgia, eastern Black Sea // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2011. V. 75. No. 11. P. 3250–3268. DOI: 10.1016/j.gca.2011.03.018.

Assessment of contamination risks of the southeastern Black Sea surface due to natural hydrocarbon showings from the seabed

M. I. Mityagina, O. Yu. Lavrova

Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia
E-mail: mityag@iki.rssi.ru

In this paper, we present some issues of further development of satellite remote sensing techniques. We discuss the advanced use of satellite remote sensing for detection and observing of oil films on the sea surface due to natural hydrocarbon showings at the seabed. The study is based on satellite SAR data

and data of multispectral satellite sensors in the optical range obtained in the course of the long-term satellite survey of the southeastern part of the Black Sea. The region of interest covers a water area over the continental shelf off the Georgian coast in the Poti — Batumi region. A cluster of natural hydrocarbon seepages at the seabed is located here, and this region is one of the zones of the most severe oil pollution of the Black Sea surface. Based on the analysis of satellite data, we put together probability maps that allow assessing the risks of oil pollution of the sea surface in the vicinity of natural oil seepages in the southeastern Black Sea. High-risk areas of the sea surface oil pollution, as well as areas exposed to potential risks, are outlined. One of our further results is the discovery of significant seasonal variability in the spatial distribution of natural oil films under the influence of the dominant direction of surface currents in the area of interest at the various periods. It is shown that the seasonal variability should be taken into account when assessing the risks of oil pollution of the sea surface and the seashore.

Keywords: the Black Sea, satellite remote sensing, sea surface, oil pollution, natural hydrocarbon showings from the seabed

Accepted: 16.06.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-3-211-220

References

1. Zatyagalova V. V., O nekotorykh osobennostyakh estestvennykh vykhodov uglevodoroda v vostochnoi chasti Azovo-Chernomorskogo basseina (On some specifics natural hydrocarbon seeps in the eastern part of the Azov and Black Sea basins), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 4, pp. 194–201.
2. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Sputnikovyi monitoring plenochnykh zagryaznenii poverkhnosti Chernogo morya (Satellite Monitoring of Surface Film Pollution of the Black Sea), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2012, No. 3, pp. 48–65.
3. Lavrova O. Yu., Kostianoy A. G., Lebedev S. A., Mityagina M. I., Ginzburg A. I., Sheremet N. A., *Kompleksnyi sputnikovyi monitoring morei Rossii* (Complex Satellite Monitoring of the Russian Seas), Moscow: IKI RAN, 2011, 480 p.
4. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Kostianoy A. G., *Sputnikovye metody vyyavleniya i monitoringa zon ekologicheskogo riska morskikh akvatorii* (Satellite methods for detecting and monitoring marine zones of ecological risk), Moscow: IKI RAN, 2016, 334 p.
5. Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Uvarov I. A., Loupian E. A., Tekushchie vozmozhnosti i opyt ispol'zovaniya informatsionnoi sistemy See the Sea dlya izucheniya i monitoringa yavlenii i protsessov na morskoj poverkhnosti (Current capabilities and experience of using the See the Sea information system for studying and monitoring phenomena and processes on the sea surface), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 266–287, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-266-287.
6. Loupian E. A., Matveev A. A., Uvarov I. A., Bocharova T. Yu., Lavrova O. Yu., Mityagina M. I., Sputnikovyi servis See the Sea — instrument dlya izucheniya protsessov i yavlenii na poverkhnosti okeana (The Satellite Service See the Sea — a tool for the study of oceanic phenomena and processes), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 251–261.
7. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Balashov I. V., Bartalev S. A., Efremov V. Yu., Kashnitskii A. V., Mazurov A. A., Matveev A. M., Sudneva O. A., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Tsentri kolektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy (IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environmental study and monitoring), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284.
8. Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Bartalev S. A., Konstantinova A. M., Kobets D. A., Mazurov A. A., Marchenkov V. V., Matveev A. M., Radchenko M. V., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Opyt ekspluatatsii i razvitiya tsentra kolektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovykh dannykh (TsKP IKI-Monitoring) (Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–170, DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
9. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Vychod estestvennykh uglevodorodov so dna Kaspiiskogo morya v raione turkmenskogo shel'fa, vyyavlennyy po sputnikovym dannym (A point of petroleum hydrocarbons emission from the seabed in the Turkmenian shelf area of the Caspian Sea discovered via satellite data), *Sovremennye*

- problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 2, pp. 292–298, DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-2-292-298.
10. Daneshgar A. S., Dukhovskoy D. S., Bourassa M., MacDonald I. R., Hindcast modeling of oil slick persistence from natural seeps, *Remote Sensing of Environment*, 2017, Vol. 189, pp. 96–107, available at: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.11.003>.
 11. De Beukelaer S. M., MacDonald I. R., Guinnasso N. L., Murray J. A., Distinct side-scan sonar, RADARSAT SAR, and acoustic profiler signatures of gas and oil seeps on the Gulf of Mexico slope, *Geo-Marine Letters*, 2003, Vol. 23, No. 3, pp. 177–186.
 12. DiGiacomo P. M., Washburn L., Holt B., Jones B. H., Coastal pollution hazards in southern California observed by SAR imagery: stormwater plumes, wastewater plumes, and natural hydrocarbon seeps, *Marine Pollution Bull.*, 2004, Vol. 49, pp. 1013–1024.
 13. Evtushenko N. V., Ivanov A. Y., Oil seeps in the southeastern Black Sea studied using satellite synthetic aperture radar images, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2013, Vol. 49, pp. 913–918, available at: <https://doi.org/10.1134/S0001433813090065>.
 14. Fingas M., Brown C., A review of oil spill remote sensing, *Sensors*, 2018, Vol. 18, No. 1, p. 91, available at: <https://doi.org/10.3390/s18010091>.
 15. Ivanov A. Yu., Gerivani H., Evtushenko N., Characterization of natural hydrocarbon seepage in the South Caspian Sea off Iran using satellite SAR and geological data, *Marine Georesources and Geotechnology*, 2019, Vol. 38, Issue 5, pp. 527–538, DOI: 10.1080/1064119X.2019.1600175.
 16. Klauke I., Sahling H., Weinrebe W., Blinova V., Boerk D., Lursmanashvili N., Bohrman G., Acoustic investigation of cold seeps offshore Georgia, eastern Black Sea, *Marine Geology*, 2006, Vol. 231, No. 1, pp. 51–67.
 17. Körber J. H., Sahling H., Pape T., Ferreira C. S., MacDonald I., Bohrmann G., Natural oil seepage at Kobuleti Ridge, eastern Black Sea, *Marine and Petroleum Geology*, 2014, Vol. 50, pp. 68–82, available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.11.007>.
 18. Kruglyakova R. P., Byakov Y. A., Kruglyakova M. V., Chalenko L. A., Shevtsova N. T., Natural oil and gas seeps on the Black Sea floor, *Geo-Marine Letters*, 2004, Vol. 24, pp. 150–162.
 19. Kvenvolden K. A., Cooper C. K., Natural seepage of crude oil into the marine environment, *Geo-Marine Letters*, 2003, Vol. 23, pp. 140–146.
 20. MacDonald I. R., Leifer I., Sassen R., Stine P., Mitchell R., Guinnasso Jr. N. L., Transfer of hydrocarbons from natural seeps to the water column and atmosphere, *Geofluids*, 2002, Vol. 2, pp. 95–107.
 21. Mityagina M., Lavrova O., Satellite survey of inner seas: oil pollution in the Black and Caspian Seas, *Remote Sensing*, 2016, Vol. 8, pp. 875–899, available at: <https://doi.org/10.3390/rs8100875>.
 22. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Multi-sensor satellite survey of natural oil slicks in the southeastern Black Sea, *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions, Proc. SPIE 10422*, 2017, p. 1042215, DOI: 10.1117/12.2278025.
 23. Mityagina M. I., Lavrova O. Yu., Uvarov I. A., See the Sea: multi-user information system for investigating processes and phenomena in coastal zones via satellite remotely sensed data, particularly hyperspectral data, *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions, Proc. SPIE 9240*, 2014, p. 92401C, available at: <https://doi.org/10.1117/12.2067300>.
 24. Reitz A., Pape T., Haeckel M., Schmidt M., Berner U., Scholz F., Liebetrau V., Aloisi G., Weise S., Wallmann K., Sources of fluids and gases expelled at cold seeps offshore Georgia, eastern Black Sea, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2011, Vol. 75, No. 11, pp. 3250–3268, DOI: 10.1016/j.gca.2011.03.018.