

УДК 528.85:[504.05+665.7]
DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-4-61-73

Разливы нефтепродуктов на водной поверхности: методы анализа данных дистанционного зондирования Земли при их выявлении

Е. Н. Кулик¹, Д. А. Байкин^{1*}

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: min-di@mail.ru

Аннотация. Необходимость сверхоперативного выявления нефтезагрязнений мирового океана продиктована высокой скоростью их площадного распространения и масштабами наносимого вреда природной среде. В статье рассмотрены различные методы выявления разливов нефтепродуктов на водной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли, полученными разными съемочными системами: активными (радиолокационные снимки Sentinel-1 (IW)) и пассивными (многоспектральные космические снимки среднего пространственного разрешения Landsat-8 (OLI), Sentinel-2 (MSI) и снимки высокого пространственного разрешения PlanetScope). Представлены результаты обработки космических снимков с использованием методов автоматизированного дешифрирования, таких как пороговая фильтрация значений канала оценки качества (поставка Landsat-8: уровень предобработки – Landsat Collection 1 Level-1 Quality Assessment), применение спекл-фильтрации к радиолокационному изображению, расчет индексных изображений и выполнение классификации на основе обучающих выборок.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли, Landsat-8, Sentinel-1, Sentinel-2, PlanetScope, радиолокационные изображения, оптические снимки, нефтеразливы, автоматизированное дешифрирование

Введение

Несмотря на технический прогресс и постепенный переход человечества к альтернативным источникам энергии, нефть и нефтепродукты по-прежнему играют ключевую роль и имеют стратегическое значение в экономическом и политическом плане ряда стран.

Потенциально нефтяная отрасль (добыча, переработка, транспортировка) несет существенную угрозу напрямую экологии и косвенно экономике. На данный момент более 90 % нефти и нефтепродуктов перевозят танкерами. Аварии и незаконные выбросы нефти и нефтепродуктов вредят не только морским экосистемам, но и морской промышленности, такой как рыболовство и туризм [1].

Основную опасность представляет тонкая пленка, которая образуется на водной поверхности согласно физическим свойствам нефти и нефтепродуктов, возникающая даже при небольших разливах. Пленка в результате площадного распространения по водной поверхности перекрывает прямой доступ из атмосферы в воду кислорода, наличие которого

жизненно необходимо морским животным. По данным некоторых исследований, всего за 10 минут одна тонна нефти покрывает территорию площадью более чем 7 850 га [2]. К сведению, на сегодняшний день около 20 % водной поверхности Мирового океана покрыто нефтяной пленкой [3]. Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяют оперативно детектировать аварии, связанные с разливом нефтепродуктов, поскольку спутниковая информация доставляется в режиме реального времени с высокой частотой обновления, с возможностью выбора операторами интересующей территории.

Данные дистанционного зондирования Земли применимы на всех производственных циклах нефтегазовой отрасли: разведка и освоение месторождений, строительство объектов инфраструктуры, добыча, транспортировка, переработка, хранение нефтепродуктов.

Для минимизации вредного воздействия нефтеразлива на морскую экосистему требуется оперативно реагировать на факты аварий в силу стремительной скорости распространения нефти по водной поверхности. Обеспе-

чить оперативность обнаружения, а впоследствии и мониторинг нефтяных пятен, способны методы дистанционного зондирования на основе автоматизированного анализа космических снимков. Нефтяные пятна гасят короткое поверхностное волнение, что способствует их обнаружению на радиолокационных снимках на фоне водной поверхности. Данный факт доказан множеством исследований, проведенных по схожей тематике [4].

Опыт использования многоспектральной космической съемки для решения экологических мониторинговых задач многократно подтверждает результативность и экономическую эффективность применения спутниковых данных, в сравнении с затратами на получение информации с борта летательных аппаратов [5]. Мониторинг прибрежных вод и акваторий по спутниковым данным дает возможность оценивать их экологическое состояние и исследовать динамику нефтяных пятен.

В противовес достоинствам радиолокационной съемки к недостаткам данных оптической съемки нужно отнести невозможность получения данных в ночное время суток и зависимость от влияния атмосферы, в частности, экранирующего действия облачности. Эти зависимости ограничивают получение оптического снимка в определенную дату и на конкретную местность.

Проблема визуального обнаружения нефтяных пленок по радиолокационным изображениям заключается в том, что такое пятно демонстрирует схожие прямые дешифровочные признаки с прочими поверхностями, которые образуются в результате других антропогенных и природных явлений.

К ним могут относиться наледи, поверхности, создаваемые биосферными (планктоном и рыбой) или техногенными (промышленные сбросы сточных вод, утечки с судов, перевозящих пальмовое масло или рыбий жир) факторами [4].

В данной работе рассмотрен ряд отдельных фактов нефтяных разливов на водной поверхности, имеющих различия:

- в природно-климатических условиях своего расположения;
- уровнях / объемах и типах нефтезагрязнителя;

– типах водоемов (по степени солености), на поверхности которых протекает процесс нефтезагрязнения.

Для анализа был задействован широкий спектр методов и приемов автоматизированного дешифрирования: фильтрация, индексные изображения, управляемая классификация, создание мультивременных композитов на различных типах данных ДЗЗ. В исследовании применены спутниковые данные, полученные методами активного и пассивного дистанционного зондирования Земли: радиолокационные изображения, многозональные снимки разного спектрального состава среднего и высокого пространственного разрешения.

Исходные данные

Получение оптических многоспектральных и радиолокационных снимков для проведения исследования по выявлению разливов нефтепродуктов на водной поверхности было обеспечено посредством геопорталов:

- геологической службы США (USGS EarthExplorer) [6];
- европейского космического агентства ESA (Sentinel-hub) [7];
- компании Planet Labs (Planet Explorer) [8].

Для выбора областей интереса и их пространственно-временной привязки из открытых источников были получены сведения о расположении и датах аварий, произошедших:

- в г. Норильске, где около 15 т дизельного топлива попало в р. Далдыкан (29 мая 2020 г.);
- в г. Находке, когда произошел взрыв в котельной, в результате которого в воду попал мазут (10 марта 2020 г.);
- на территории Химкинского водохранилища, когда произошла утечка нефтепродуктов (25 июня 2020 г.);
- в Каспийском море, где произошла утечка нефтепродуктов из танкера, близ поселка Жилой (5 июня 2017 г.).

Использование глобальных цифровых моделей рельефа (ЦМР) в данном исследовании не предполагалось, так как в них любые площадные водные объекты представлены единым высотным значением (гладкие поверхности).

Пространственное разрешение космических снимков зачастую является определяющим в выявлении факта нефтеразлива [9]. Его стоит выбирать таким образом, чтобы однозначно прослеживались границы нефтяного пятна на водной поверхности с учетом его площадных характеристик.

На рис. 1 представлен набор данных ДЗЗ, полученных на территорию г. Норильска, р. Далдыкан: снимок Sentinel-2A (комбинация каналов В4-В3-В2, пространственное разрешение 10 м, 31 мая 2020 г.), снимок PlanetScore (комбинация каналов В4-В3-В2, пространственное разрешение 3 м, 1 июня 2020 г.).

Это крупнейшая экологическая катастрофа, связанная с утечкой нефтепродуктов, которая когда-либо происходила в арктической зоне. В результате аварии около 21 тыс. т дизельного топлива разлилось за пределы промышленной зоны теплоэлектростанции. Из них

6 тыс. т нефтепродуктов попали в почвы и 15 тыс. т в р. Далдыкан, воды которой впадают в оз. Пясино, из которого вытекает р. Пясины, впадающая в Карское море.

Техногенное нарушение экосистем по причине загрязнения нефтепродуктами территорий вечной мерзлоты влечет непоправимые трансформации природы из-за специфики процессов самовосстановления северных ландшафтов. Мониторинг природных компонентов территории требует учета особенностей сурового климата с большой амплитудой температур, типов почв, процессов миграции загрязнителей и скудного состава лесов с низкой продуктивностью растительности [10].

На рис. 2 представлены оптические снимки PlanetScore территории двух разливов нефтепродуктов на поверхности пресных водоемов (комбинация каналов В4-В3-В2, пространственное разрешение 3 м).

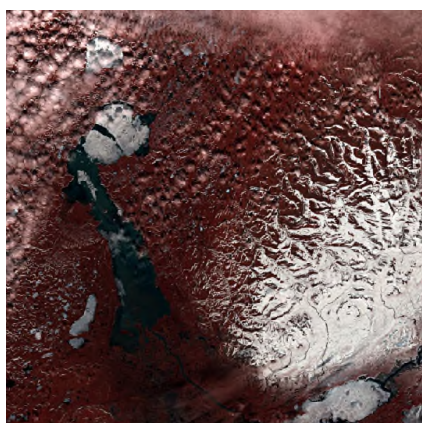


Рис. 1. Космические снимки на территорию г. Норильска



а)



б)

Рис. 2. Космические снимки PlanetScore:

а) на территорию г. Находки (10 марта 2020 г.); б) на территорию залива Химкинского водохранилища (25 июня 2020 г.)

На рис. 3 представлен набор данных ДЗЗ, полученных на территорию Каспийского моря 5 июня 2017 г. Данный объект выбран в рамках совместного исследования в поддержку научных контактов с группой специалистов Государственной нефтяной компании Азербайджанской Республики (SOCAR), занимающейся разработкой программного модуля для выявления нефтяных пятен в шельфовой зоне

Каспийского моря. Математическая основа разрабатываемого ими приложения не раскрывается по причине коммерческой тайны. Для верификации результатов и оценки достоверности применяемых ими методов была принята договоренность о проведении параллельного эксперимента с набором космических данных на территории и даты выявленных ими нефтезагрязнений.

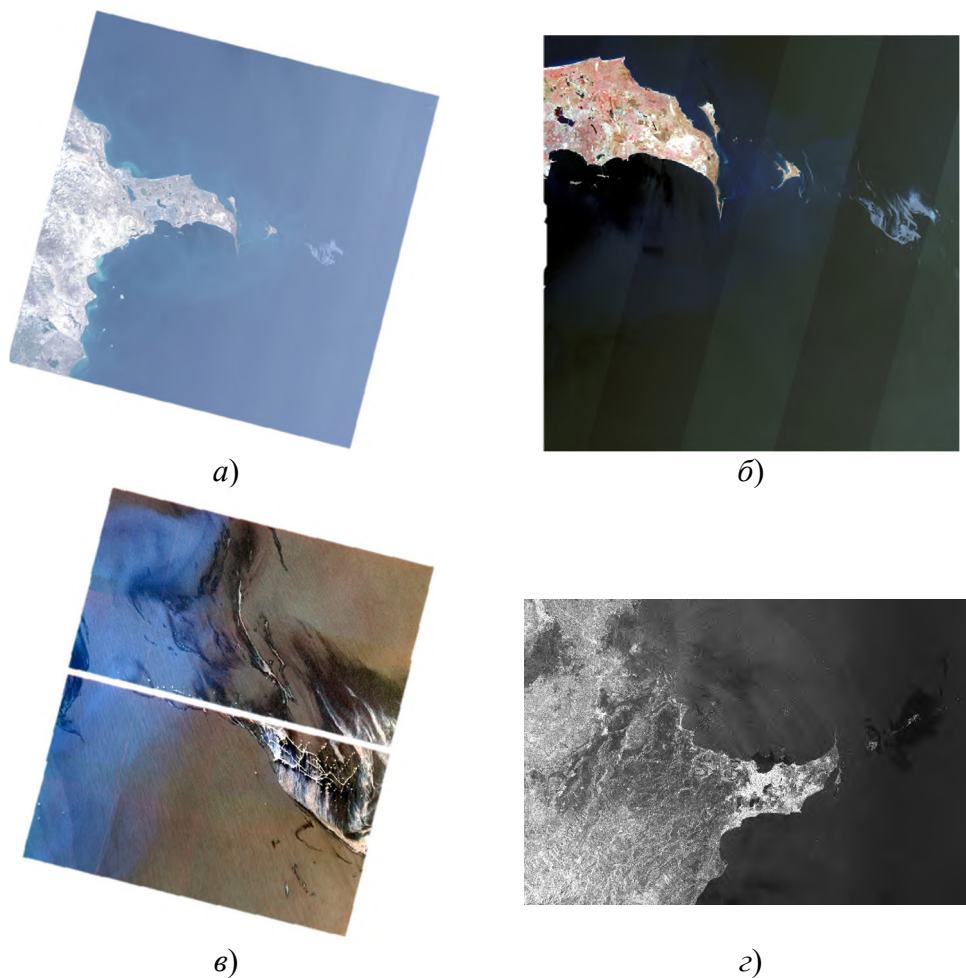


Рис. 3. Космические снимки на территорию Каспийского моря:

а) Landsat-8 (комбинация каналов В4-В3-В2, пространственное разрешение 30 м); б) PlanetScope (комбинация каналов В4-В3-В2, пространственное разрешение 3 м); в) Sentinel-2A (комбинация каналов В4-В3-В2, пространственное разрешение 10 м); г) Sentinel-1A (уровень обработки GRD, поляризация VV+VH)

Методы

Мировой опыт выявления нефтяных пятен по космическим изображениям представлен рядом исследований с применением следующих методов автоматизированной обработки: расчет и анализ индексных изображений по

многоспектральным снимкам, управляемая классификация спутниковых изображений, яркостная – частотная – пороговая фильтрации.

Индексы рассчитываются по принципу алгебраического преобразования первичных спектральных каналов снимка для создания

вторичного изображения, проявляющего максимальный контраст показателей отражающей способности у дешифрируемого и смежных объектов в разных зонах электромагнитного спектра [11]. В рамках данного исследования рассчитывались два типа индексных изображений: нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (отношение разности интенсивности отраженного света в ближней инфракрасной и красной областях спектра к их сумме), нормализованный разностный водный индекс NDWI (отношение разности интенсивности отраженного света в ближней инфракрасной и зеленой областях спектра к их сумме).

Управляемая классификация спутниковых изображений, как и расчет индексных изображений, использует сведения спектрального домена данных ДЗЗ без учета пространственного компонента. Однако в отличие от индексных изображений, где каждый элемент раstra получает индивидуальное вторичное значение яркости индекса, классификация распределяет все объекты изображения строго на то число классов, количество которых определяется набором эталонных обучающих выборок. В отдельный класс объединяются пиксели, относящиеся к тем объектам, которые имеют схожие отражательные характеристики с эталоном. Классификация с обучением предполагает формирование спектральных обучающих выборок при непосредственном участии оператора [12].

Радиолокационная съемка позволяет производить мониторинг объектов гидрографии, обнаруживать и картографировать нефтезагрязнения. Первичная информация, формируемая на спутнике, представляет из себя предварительную запись о фазе и амплитуде излучения от рассеивающего объекта. Далее на наземной станции происходит ее первоначальная обработка, а затем формирование радиолокационного изображения. Радиолокационное излучение особенно чувствительно к состоянию водной поверхности. Это связано с тем, что на ней имеется мелкое ветровое волнение. Начальные волны, которые образуются на морской поверхности при воздействии ветра, называют капиллярными (их длина волны всего несколько миллиметров);

именно они являются причиной шероховатости морской поверхности. По ходу своего развития они передают энергию средневолновым и длинноволновым компонентам волнения, пока не наступит равновесие между всеми звеньями поля волн. А нефтяная пленка создает некий барьер, препятствующий наступлению равновесия между волнами, благодаря чему ее и удастся распознать на радиолокационном изображении [13].

Результаты

В шельфовой зоне Каспийского моря расположено большое количество объектов нефтяной промышленности, что напрямую является причиной загрязнения акватории. Группа специалистов (SOCAR), разрабатывающая и совершенствующая методики выявления нефтяных пятен, регулярно проводя мониторинг водной поверхности, выявила нефтеразлив, произошедший в акватории близ поселка Нефтяные Камни. Для подтверждения полученных ими результатов дешифрирования в нашем исследовании был использован снимок Landsat-8 съемочной системы OLI, где первым был проанализирован канал BQA (Quality Assessment Band). Согласно классификатору оценки качества, каждому значению данного канала соответствует определенный класс земного покрытия [14]. На рис. 4 представлено псевдоцветное изображение этого канала с присвоением цветов каждому из классов. По результатам, представленным в [15], участок, отображенный фиолетовым и голубым цветом, соответствует нефтезагрязнению.

По сведениям таблицы классов BQA, интересные участки относятся к облачности (Cloud) и теням от нее (Cloud Shadow). Для разрешения спора об определении типа объекта нами была предложена следующая гипотеза. При наличии материалов съемки, полученных в пределах одной даты разными съемочными системами и методами, можно проследить временную изменчивость формы и положения дешифрируемой области, а значительная разница динамики облачности и пятна позволит подтвердить природу возникновения объекта: сохранение геометрии

пятна сыграет в пользу нефтезагрязнения; изменчивость этих дешифровочных характеристик может быть признаком объекта облачности. Для проведения анализа нам удалось получить снимки на заданную территорию и дату от разных съемочных систем, включая радиолокационный снимок Sentinel-1A. Набор снимков, полученных в пределах одной даты, но в разное время, позволил проследить

идентичность формы, размеров и положения объекта дешифрирования. Факт того, что пятно надежно прослеживается визуально на радиолокационном изображении, получение которого свободно от влияния облачности, дополнительно доказывает и дает право утверждать, что дешифрируемый объект, с высокой вероятностью, является нефтяным загрязнением.

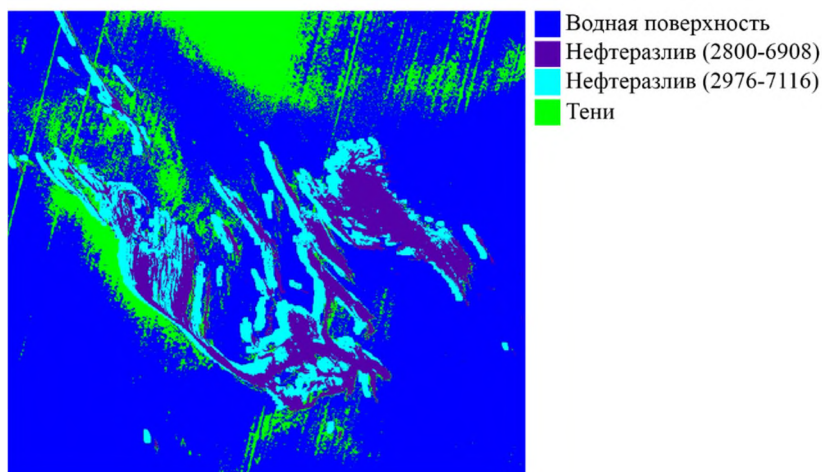


Рис. 4. Псевдоцветное представление значений канала BQA

Индекс NDVI был рассчитан на основе космических снимков съемочной системы PlanetScope. С целью псевдоцветного представления значения индекса были разделены на диапазоны согласно дискретной шкале [16]. Их границы задаются по пороговым значениям, что удобно реализуется с помощью инструментов построения графической модели алгоритма обработки (ModelMaker). На рис. 5 представлены псевдоцветные индексные изображения NDVI.

Для прослеживания миграции загрязнения полезным является формирование мультитременного композита. Для его создания в исследовании, проведенном ранее [17], подтвердившем преимущества результатов расчета индекса NDWI над NDVI, использовались разновременные снимки за три даты (25.05.2020, 31.05.2020 и 10.07.2020).

Далее, к мультиспектральным изображениям на территорию Каспийского моря (дата 05.06.2020) была применена управляемая классификация с разными решающими правилами. На рис. 6, а представлено классифи-

цированное изображение на основе снимка Sentinel-2A (пространственное разрешение 10 м, обучающая выборка: 18 эталонов, решающее правило максимального правдоподобия). На рис. 6, б представлено классифицированное изображение, полученное по данным Landsat-8 (пространственное разрешение 30 м, обучающая выборка: 15 эталонов, решающее правило максимального правдоподобия). На рис. 6, в представлено классифицированное изображение, рассчитанное по снимкам PlanetScope (пространственное разрешение 3 м, обучающая выборка: 18 эталонов, решающее правило максимального правдоподобия).

Для обработки радиолокационного изображения Sentinel-1A (дата 05.06.2020, уровень обработки GRD, поляризация VV+VH), свободного от влияния облачности, выполнена предварительная обработка (фильтрация, уточнение траектории движения космического аппарата по орбитальным данным, нормирование) с последующей тематической обработкой (расчет индексного изображения, автоматизированный поиск нефтезагрязнений).

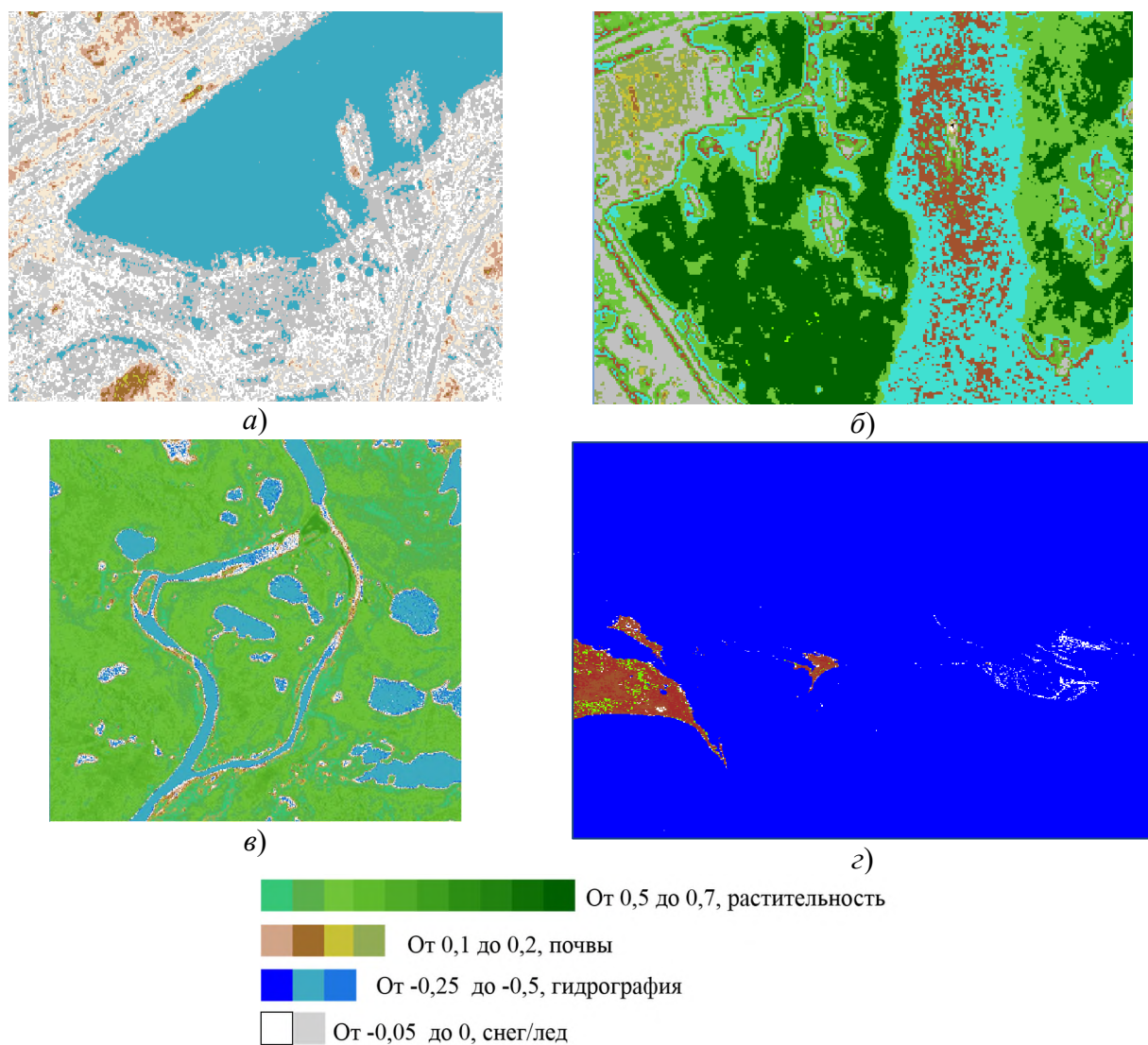


Рис. 5. Индексные изображения NDVI на территорию:
 а) г. Находки; б) Химкинского водохранилища; в) р. Амбарной; г) Каспийского моря

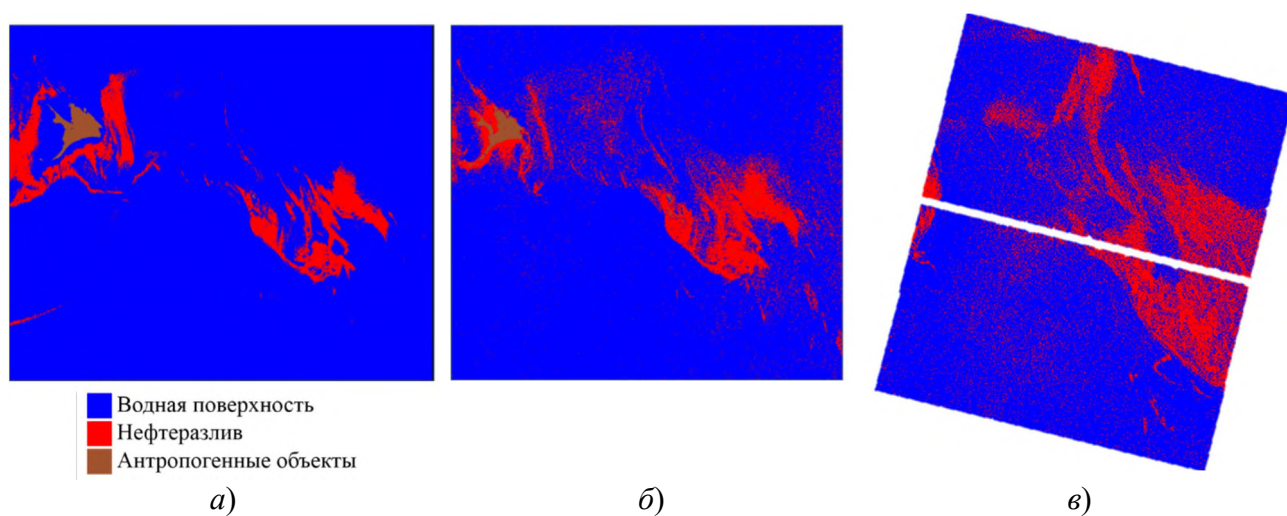


Рис. 6. Классифицированные изображения по данным:
 а) Sentinel-2A; б) Landsat-8; в) PlanetScope

Для обеспечения возможности сравнения значений обратного рассеяния от разных участков поверхности или их временных изменений необходимо проведение радиометрической калибровки данных, позволяющей перейти от «сырых» значений пикселей к значениям удельной эффективной площади рассеяния (УЭПР).

На этапе базовой коррекции был применен спекл-фильтр для «выравнивания» поверхности снимка и минимизации шумов: обрабатывались высокочастотные отражения, образующиеся из-за интерференции обратных волн, которые рассеивались от нескольких поверхностей. Результат применения фильтрации представлен на рис. 7.

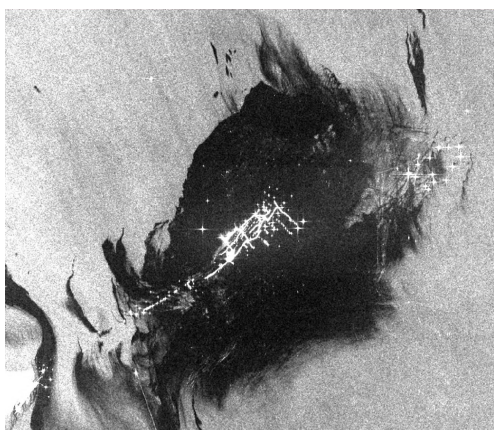


Рис. 7. Результат спекл-фильтрации

Спекл-шум ухудшает радиометрическое разрешение радиолокаторами с синтезированной апертурой и образуется из-за когерентного наложения откликов от нескольких объектов в элементе изображения. Хотя использование спекл-фильтра способствует подавлению зернистости, алгоритм фильтрации может дать погрешность и исказить значения УЭПР пикселя в рамках скользящего окна. Поэтому для устранения спекл-шума был выбран способ некогерентного накопления, который подразумевает усреднение изображения в окне с размером, задаваемым оператором.

При выполнении функции Apply Orbit File производится уточнение информации о траектории движения космического аппарата с помощью орбитального файла: он получается по данным измерений или моделирования.

Процедура Terrain Flattening позволяет перейти от значений бета-ноль к значениям гамма-ноль, при этом нормировка произво-

дится с использованием ЦМР, что важно при изучении объектов суши. Данная корректировка касается только яркостей пикселей, геометрических преобразований при этом не выполняется [18].

На рис. 8 представлен результат предварительной обработки радиолокационного снимка.



Рис. 8. Результат предварительной обработки

На основе откорректированного радиолокационного изображения был рассчитан индекс RVI (Radar Vegetation Index), полагая, что данный индекс будет показательным, как и NDVI/NDWI, по формуле

$$RVI = \frac{4 \cdot \sigma_{VH}^0}{\sigma_{HH}^0 + \sigma_{VV}^0}, \quad (1)$$

где σ^0 – значения УЭПР с учетом поляризации VH , HH , VV [18].

Индексное изображение RVI представлено на рис. 9.



Рис. 9. Индексное изображение RVI

Затем был выполнен поиск участков нефтезагрязнений с помощью процедуры Oil Spill Detection, которая представлена в программном пакете SNAP ESA.

Для выбора параметров функции Oil Spill Detection использовался график значений амплитуд в пределах границ двух сред (нефтеразлив / водная поверхность), который представ-

лен на рис. 10, а также с помощью базовых инструментов программной среды определялись минимальные размеры кластера и линейные величины потенциального нефтяного пятна на основе визуального анализа предварительно обработанного снимка. Размер участка нефтеразлива должен примерно соответствовать параметру Background Window Size.

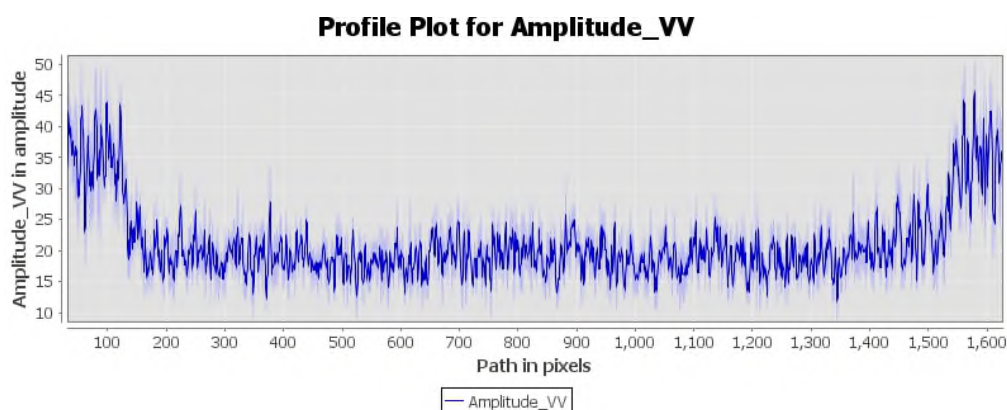


Рис. 10. График значений амплитуд

Результат применения функции Oil Spill Detection представлен на рис. 11.

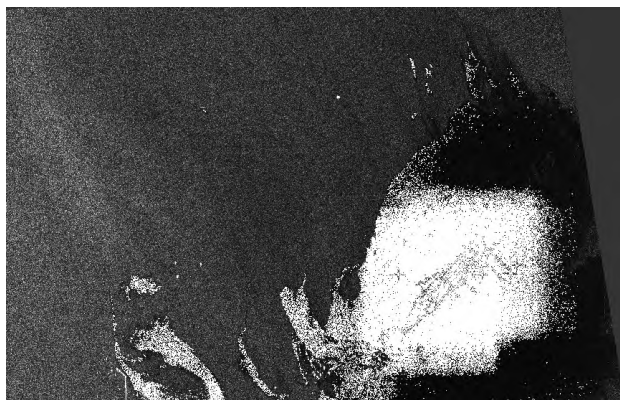


Рис. 11. Oil Spill Detection

Обсуждение

Для выявления разливов нефтепродуктов на водной поверхности по данным ДЗЗ (активные и пассивные) были использованы следующие методы цифровой обработки: расчет индексных изображений, процедура управляемой классификации, фильтрация радиолокационных изображений. Исходя из изложенных результатов, наиболее показательными на

предмет наличия нефтяных пятен оказались классифицированные изображения Sentinel-2 и PlanetScope (возможно, по причине того, что они имеют высокое пространственное разрешение – 10 и 3 м соответственно, в отличие от снимка Landsat-8, разрешение которого 30 м). Анализ индексных изображений не дал однозначных результатов, так как по ним не удалось обнаружить нефтяные пятна при разливе в акватории г. Находки. Это может быть связано с видом загрязнителя, так как только в этом случае из рассмотренных нами на водную поверхность попал мазут. При обработке радиолокационного изображения, в частности, при «ручном» режиме фильтрации удалось оперативно обнаружить нефтяное пятно, однако при применении автоматизированного поиска нефтезагрязнений Oil Spill Detection оператор несет значительные временные затраты на тщательный подбор параметров: значения амплитуд, размеров кластера и фонового окна, а также на выполнение предварительной обработки. Стоит отметить и использование канала VQA снимка Landsat-8, проанализировав который, можно провести первичную оценку наличия нефтезагрязнений на этапе предварительной обработки данных.

Заключение

Для выявления нефтеразливов на водной поверхности, используя данные ДЗЗ, важно учитывать следующие решающие факторы: ресурс и вид источника данных, с помощью которого будут получены космические снимки (с учетом пространственного и спектрального разрешения, от которых напрямую зависят

результаты дешифрирования), наличие разновременных снимков на одну и ту же территорию (для создания мультитременных композитных изображений).

При анализе аварийной ситуации стоит оценивать объем утечки и тип нефтепродуктов, для учета потенциальной площади загрязнения и разных отражательных характеристик.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Galiericova A., Materna M. World Seaborne Trade with Oil: One of Main Cause for Oil Spills? // Transportation Research Procedia. – 2020. – Vol. 44. – P. 297–304.
2. Авагимян А. В. Оперативный мониторинг утечек и разливов нефти в морских акваториях // Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных геоинформационных технологий : материалы III Междунар. науч. конф. (Майкоп, 11–14 мая 2015 г.). – Майкоп : Майкопский государственный технический университет, 2015. – С. 16–22.
3. Alpers W., Holt B. Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls // Remote Sensing of Environment. – 2017. – Vol. 201. – P. 133–147.
4. Лаврова О. Ю., Костяной А. Г. Комплексный спутниковый мониторинг морей : монография. – М. : ИКИ РАН, 2011. – 480 с.
5. Гулиев А. Ш. Использование методов автоматизированного дешифрирования космических снимков для выявления зон нефтеразливов // Науки о Земле. – 2020. – № 55. – С. 8–11.
6. Геологическая служба США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
7. Сайт Европейского космического агентства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
8. Сайт Planet Labs [Электронный ресурс]. – Режим доступа: planet.com/explorer/.
9. Khanna S., Ustin S. L. Comparing the Potential of Multispectral and Hyperspectral Data for Monitoring Oil Spill Impact // Sensors. – 2018. – Vol. 18 (2). – P. 1–20.
10. Байкин Д. А., Кулик Е. Н. Анализ влияния разлива нефтепродуктов на состояние природных объектов по данным дистанционного зондирования Sentinel-2 в условиях восточной Сибири // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр. : Магистерская науч. сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 8 т. (Новосибирск, 19–21 мая 2021 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. Т. 6. – С. 24–31.
11. Гук А. П., Хлебникова Е. П. Методы и технологии распознавания объектов по их изображению : учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – 138 с.
12. Комиссаров А. В., Кулик Е. Н. Автоматизированные технологии сбора и обработки пространственных данных : учебник. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 307 с.
13. Иванов А. Ю. Стики и пленочные образования на космических радиолокационных изображениях // Исследование Земли из космоса. – 2007. – № 3. – С. 73–96.
14. Канал VQA Landsat-8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sentinel-hub.com/faq/>.
15. Гулиев А. Ш., Хлебникова Т. А. Выявление мест нефтезагрязнений шельфовой зоны по материалам космических съемок (на примере акватории Нефтяных Камней (Каспий)) // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 52–64.
16. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gislab.info/qa/ndvi.html>.
17. Кулик Е. Н., Байкин Д. А. Анализ влияния разлива нефтепродуктов на состояние природных комплексов в условиях восточной Сибири // Региональные проблемы дистанционного зондирования

Земли : материалы VIII Междунар. науч. конф. (Красноярск, 14–17 сентября 2021 г.). – Красноярск : СФУ, 2021. – С. 191–194.

18. Сидоренков В. М., Косицын В. Н. Методические рекомендации по подготовительным работам к лесотаксационному дешифрированию данных радиолокационной съемки : метод. рекомендации. – М. : ВНИИЛМ, 2020. – 88 с.

19. Гордиенко А. С. Исследование возможности выявления негативного воздействия разливов нефти на окружающую растительность по данным дистанционного зондирования Земли // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 6. – С. 48–55.

20. Tikhonova S. A. Safety assessment of oil and gas pipelines using satellite information // Remote sensing. – 2013. – Vol. 5. – P. 297–304.

21. Bubbico Roberto, Lee Shenae. Dynamic assessment of safety barriers preventing escalation in offshore Oil&Gas // Safety Science. – 2020. – Vol. 121. – P. 319–330.

22. Иванов А. Ю., Затыгалова В. В. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием космической радиолокации и географических информационных систем // Исследование Земли из космоса. – 2007. – № 6. – С. 46–63.

23. Lu Liangliang, Goerlandt Floris. A Bayesian Network risk model for assessing oil spill recovery effectiveness in the ice-covered Northern Baltic Sea // Marine Pollution Bulletin. – 2019. – Vol. 139. – P. 440–458.

24. Miles V., Esau I. Spatial heterogeneity of greening and browning between and within bioclimatic zones in northern West Siberia // Environmental Research Letters. – 2016. – Vol. 11. – P. 1–12.

25. Наздрачев П. И., Чермошенцев А. Ю. Применение методов активного дистанционного зондирования для обнаружения разливов нефти // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр. : Магистерская науч. сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 8 т. (Новосибирск, 19–21 мая 2021 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. Т. 6. – С. 213–218.

Об авторах

Екатерина Николаевна Кулик – кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования.

Дмитрий Андреевич Байкин – магистрант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования.

Получено 17.05.2022

© *Е. Н. Кулик, Д. А. Байкин, 2022*

Oil spills on the water surface: methods of remote sensing data analysis for their identification

E. N. Kulik¹, D. A. Baikin^{1}*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: min-di@mail.ru

Abstract. High rate of scale & space distribution of the damage done to the natural environment dictate the need for ultra-fast detection of World Ocean's oil pollution. The article discusses various methods for oil spills detection on the water surface by processing remote sensing data obtained by different satellite systems: active (Sentinel-1 [IW]) and passive (multispectral images: medium resolution Landsat-8 [OLI], Sentinel-2 [MSI] and high-resolution PlanetScope). The results of enhancement and thematic image processing by automated interpretation methods, such as threshold filtering of the quality assessment channel (Landsat-8: Collection 1 Level-1), radar image' speckle filtering, estimation of indexes and supervised classification based on spectral signatures are presented.

Keywords: remote sensing data, Landsat-8, Sentinel-1, Sentinel-2, PlanetScope, radar images, optical images, oil spills, auto-interpretation

REFERENCES

1. Galiericova A., & Materna M. (2020). World Seaborne Trade with Oil: One of Main Cause for Oil Spills? *Transportation Research Procedia*, 44, 297–304.
2. Avagimyan, A. V. (2015) Operational monitoring of oil leaks and spills in marine areas. In *Sbornik materialov III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Prikladnyye aspekty geologii, geofiziki i geoekologii s ispol'zovaniyem sovremennykh geoinformatsionnykh tekhnologiy [Proceedings of the III International Scientific Conference: Applied Aspects of Geology, Geophysics and Geoecology Using Modern Geoinformation Technologies]* (pp. 16–22). Maykop: Maykop State Technic University Publ. [in Russian].
3. Alpers, W., & Holt, B. (2017). Oil spill detection by imaging radars: Challenges and pitfalls. *Remote Sensing of Environment*, 201, 133–147.
4. Lavrova, O. Yu., & Kostyanoy, A. G. (2011). *Kompleksnyy sputnikovyy monitoring morey [Complex Satellite Monitoring of the Russian Seas]*. Moscow: IKI RAS Publ., 480 p. [in Russian].
5. Guliyev, A. Sh. (2020). Using methods of automated interpretation of space images to identify oil spill areas. *Nauki o Zemle [Earth Sciences]*, 55, 8–11 [in Russian].
6. USGS. (n. d.). Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
7. European Space Agency. (n. d.). Retrieved from <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
8. Planet Labs. (n. d.). Retrieved from planet.com/explorer/.
9. Khanna, S., & Ustin, S. L. (2018). Comparing the Potential of Multispectral and Hyperspectral Data for Monitoring Oil Spill Impac. *Sensors*, 18(2), 1–20.
10. Baykin, D. A., & Kulik, E. N. (2021). Analysis of the impact of oil product spills on the condition of natural objects based on Sentinel-2 remote sensing data in eastern Siberia. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2021: T. 6. Magisterskaya nauchnaya sessiya "Pervye shagi v nauke" [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2021: Vol. 6. Master's Scientific Session "First Steps in Science"]* (pp. 24–31). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
11. Guk, A. P., & Khlebnikova, E. P. (2019). Methods and technologies for recognizing objects by their image. Novosibirsk, 138 p. [in Russian].
12. Komissarov, A. V., & Kulik, E. N. (2016). *Avtomatizirovannye tekhnologii sbora i obrabotki prostanstvennykh dannykh [Automated technologies for collecting and processing spatial data]*. Novosibirsk: SSUGT Publ., 307 p. [in Russian].
13. Ivanov, A. Yu. (2007). Slicks and film formations on space radar images. *Issledovaniye Zemli iz kosmosa [Earth Exploration from Space]*, 3, 73–96 [in Russian].
14. BQA Landsat-8. (n. d.). Retrieved from <https://www.sentinel-hub.com/faq/>.
15. Guliyev, A. Sh., Khlebnikova, T. A. (2019). Revealing oil pollution spots on shelf zone with help of space survey (on the example of oil stones water area, Caspian Sea). *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(3), 52–64 [in Russian].
16. NDVI – theory and practice. (n. d.). Retrieved from <https://gislab.info/qa/ndvi.html>.
17. Kulik, E. N., & Baikin, D. A. (2020). Monitoring of vegetation in areas of oil production and transportation by methods of automated decoding of remote sensing data. In *Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Regional'nye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Proceedings of the VII International Scientific Conference: Regional Problems of Remote Sensing of the Earth]* (pp. 244–247). Krasnoyarsk: Siberian Federal University Publ. [in Russian].
18. Sidorenkov, V. M., & Kositsyn, V. N. (2020). *Metodicheskie rekomendatsii po podgotovitel'nyim rabotam k lesotaksatsionnomu deshifirovaniyu dannykh radiolokatsionnoy s"emki [Guidelines for preparatory work for forest taxation interpretation of radar survey data]*. Moscow: VNIILM Publ., 88 p. [in Russian].
19. Gordienko, A. S. (2021). Study of the possibility of identifying the negative impact of oil spills on the surrounding vegetation according to the data of remote sensing of the Earth. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(6), 48–55 [in Russian].
20. Tikhonova, S. A. (2013). Safety assessment of oil and gas pipelines using satellite information. *Remote sensing*, 5, 297–304.
21. Bubbico, Roberto, & Lee, Shenae. (2020). Dynamic assessment of safety barriers preventing escalation in offshore Oil&Gas. *Safety Science*, 121, 319–330.
22. Ivanov, A. Yu., & Zatyagalova, V. V. (2007). Mapping sea film pollution using space radar and geographic information systems. *Issledovaniye Zemli iz kosmosa [Earth Exploration from Space]*, 6, 46–63 [in Russian].

23. Lu, Liangliang, & Goerlandt, Floris. (2019). A Bayesian Network risk model for assessing oil spill recovery effectiveness in the ice-covered Northern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 139, 440–458.
24. Miles V., & Esau, I. (2016) Spatial heterogeneity of greening and browning between and within bioclimatic zones in northern West Siberia. *Environmental Research Letters*, 11, 1–12.
25. Nazdrachev, P. I., & Chermoshentsev, A. Yu. (2021). Application of active remote sensing techniques for oil spill detection. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2021: T. 6. Masterskaya nauchnaya sessiya "Pervye shagi v nauke" [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2021: Vol. 6. Master's Scientific Session "First Steps in Science"]* (pp. 213–218). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

Author details

Ekaterina N. Kulik – Ph.D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing.
Dmitry A. Baikin – Graduate, Department of Photogrammetry and Remote Sensing.

Received 17.05.2022

© E. N. Kulik, D. A. Baikin, 2022