

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИВА НЕФТЕПРОДУКТОВ НА СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ SENTINEL-2 В УСЛОВИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

*Дмитрий Андреевич Байкин*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (913)757-31-49, e-mail: min-di@mail.ru

*Екатерина Николаевна Кулик*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: e.n.kulik@snga.ru

В статье анализируется влияние разлива нефтепродуктов на состояние природных объектов по данным съемочной системы Sentinel-2 в условиях Восточной Сибири. Применяются методы анализа данных дистанционного зондирования для обнаружения следов нефтепродуктов на территории аварии. Сделаны выводы об использовании данных Sentinel-2 для обнаружения следов нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, Sentinel-2, индексные изображения, разливы нефти, Восточная Сибирь, космические снимки

## **ANALYSIS OF THE IMPACT OF OIL PRODUCT SPILLS ON NATURAL OBJECTS BASED ON SENTINEL-2 REMOTE SENSING DATA IN EASTERN SIBERIA**

*Dmitry A. Baikin*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (913)757-31-49, e-mail: min-di@mail.ru

*Ekaterina N. Kulik*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph.D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-08-66, e-mail: e.n.kulik@snga.ru

The article analyzes the impact of oil spills on natural objects according to the remote sensing system Sentinel-2 in Eastern Siberia. Remote sensing data analysis is used to detect traces of oil products in the accident area. Conclusions about the usage of Sentinel-2 data for detecting traces of oil products were made.

**Keywords:** remote sensing, Sentinel-2, index images, oil spills, Eastern Siberia, satellite images

### *Введение*

В настоящее время информация, полученная аэрокосмическими методами, широко применяется во многих областях: прогнозирование и анализ влияния природных катаклизмов, геоинформационное картографирование, геодезия,

сельское хозяйство, охрана лесов и заповедников, экология и т. д. Также эта информация широко используется в нефтегазовой отрасли [1].

Основные месторождения углеводородов России сосредоточены в ее северной части. В результате освоения нефтегазовых месторождений, установлено, что любые антропогенные вмешательства неблагоприятно влияют на состояние природных сообществ страны. Различные исследования показывают, что загрязнения нефтепродуктами территорий вечной мерзлоты наносят непоправимый вред природе из-за специфики процессов самовосстановления северных ландшафтов [2].

При использовании методов и технологий дистанционного зондирования можно решать различные задачи для обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования на территориях добычи и переработки нефти. К этим задачам можно отнести: оценку состояния нефтепроводов и газопроводов (их положение, выявление нуждающихся в ремонте участков), мониторинг состояния окружающей среды близ этих объектов (степень ее загрязнения, уровень антропогенного воздействия), исследование геологического строения территории, оценка изменений ландшафта, выполнение тематического дешифрирования и картографирования. Проблемы загрязнения также актуальны для водных объектов, в том числе и подземных вод в местах строительства и эксплуатации нефтепромышленных объектов. К примеру, по оценкам экспертов, в целом по миру, ежегодно, от 12 до 16 млн. тонн углеводородов и продуктов их переработки попадает в мировой океан [1, 3, 4].

Целью данной работы является проведение анализа влияния разлива нефтепродуктов на состояние природных объектов (в частности, водных и растительных систем) на примере конкретной катастрофической ситуации. Исследование проводилось по космическим снимкам на территорию Восточной Сибири. 29 мая 2020 года произошла разгерметизация бака, в котором находилось дизельное топливо в районе Кайеркан в городе Норильск. Это крупнейшая экологическая катастрофа, связанная с утечкой нефтепродуктов, которая когда-либо происходила в арктической зоне. В результате аварии около 21 тысячи тонн дизельного топлива разлились за пределы промышленной зоны ТЭЦ. Из них 6 тысяч тонн нефтепродуктов попали в почвы, и 15 тысяч тонн в реку Далдыкан, воды которой впадают в озеро Пясино, из которого вытекает река Пясино, впадающая в Карское море.

### *Методы и материалы*

Для выполнения тематической обработки космического изображения необходимо выполнить дешифрирование объектов снимка. Полезными источниками данных при такого рода исследованиях могут служить: ландшафтная карта, карта растительности, карта состояния почвенного покрова, карта водных объектов и т. д. Основными методами дешифрирования является визуальный и автоматизированный. В визуальном методе дешифрирования применяется ручной анализ снимков, т. е. обнаружение сходств и различий между об-

разами на изображении и образами, которые были получены ранее, опытным путем. Автоматизированный метод дешифрирования широко применяется с тех пор, как снимки стали представляться в цифровом виде. Раздел информатики, который занимается разработкой методов и принципов классификации объектов, явлений и процессов называется распознаванием образов. При классификации мультиспектральных изображений используются принципы анализа спектральной яркости. К каждому классу относятся те объекты, которые обладают общими свойствами (или отражательными характеристиками). Например, в понятиях дешифрирования снимков при классификации отдельные группы пикселей изображения будут представлять лес, водные объекты, почвы, сельскохозяйственные угодья и т. д. [5].

Существует два основных вида классификации: контролируемый и неконтролируемый. Контролируемая классификация является более точной, но также достаточно трудозатратной. Контролируемую классификацию чаще всего используют, когда необходимо выделить небольшое количество классов. Для контролируемой классификации необходимо предоставить эталоны объектов или обучающую выборку. Алгоритм неконтролируемой классификации представляет собой объединение схожих пикселей в группы, которые называются кластерами.

Данные спутниковых снимков могут предложить более экономичную альтернативу дорогостоящим аэрофотоснимкам или трудоемким полевым работам в местах разливов нефтепродуктов. Однако спутниковые данные могут быть ограничены в способности обнаруживать и отображать этапы восстановления экосистемы после разлива с учетом спектральных характеристик и временных интервалов [6].

Поиск следов компонентов нефти и газа по данным дистанционного зондирования Земли основан на анализе потока электромагнитного излучения – физических отражательных свойств объектов, характеристики которых изменяются. Космическая аппаратура регистрирует эти изменения. Основной эффект: контрастирование яркости между областями разливов нефтепродуктов с основным фоном, которое воспринимается гиперспектральной и многоспектральной аппаратурой.

Для обработки синтезированного изображения, которое было получено с помощью спектральной аппаратуры, возможно применение метода так называемой алгебры изображений, когда формируются вторичные (индексные) изображения путем алгебраических преобразований первичных изображений отдельных спектральных каналов данных космической съемки. В рамках данного исследования перспективными служат расчеты таких вегетационных индексов, как NDVI и NDWI [7–9].

## *Результаты*

В данном исследовании в качестве исходной информации были использованы космические многоспектральные снимки, полученные съемочной системой MSI с борта Sentinel-2. Sentinel-2 – это представитель семейства спутни-

ков Европейского космического агентства в рамках проекта «Коперник». Для создания синтезированных изображений были использованы следующие спектральные каналы: Blue (от 0,458 до 0,522 мкм), Green (от 0,543 до 0,577 мкм), Red (от 0,650 до 0,680 мкм) и NIR (от 0,784 до 0,899 мкм). Для обработки изображений был использован программный продукт ERDAS IMAGINE. Снимки были получены на три разные даты: до разлива нефтепродуктов (на 21.05.2020 г.), через два дня после аварии (на 31.05.2020 г.) и через два месяца после аварии (10.07.2020 г.) (рис. 1).

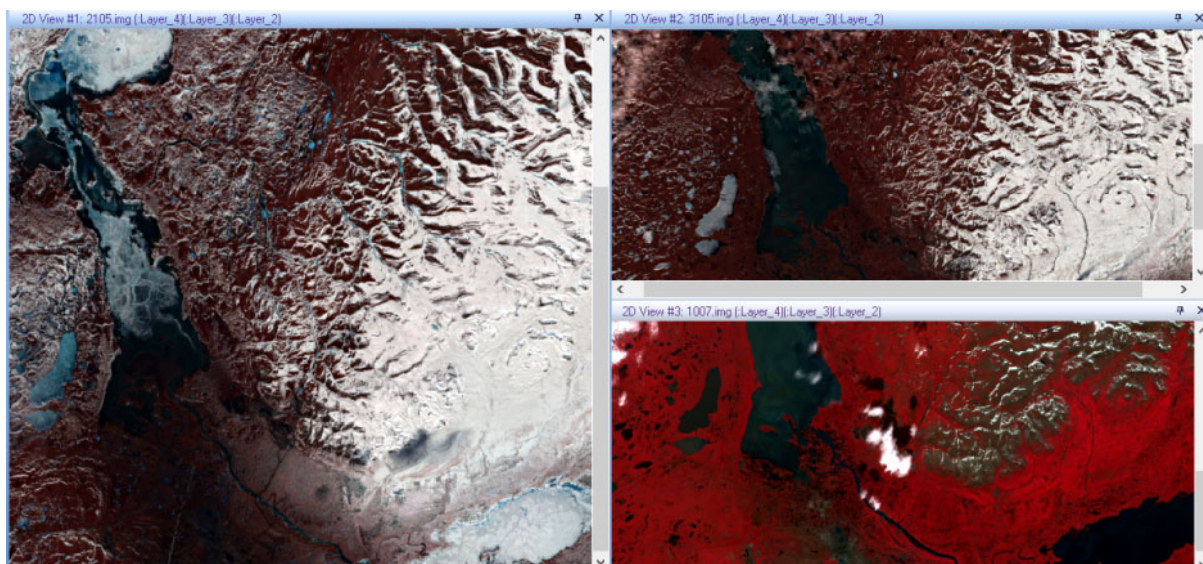


Рис. 1. Полученные космические снимки

Далее к космическим снимкам был применен нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI. Этот индекс использует отношение показателей красной и ближней инфракрасной областей спектра. Результат применения индекса NDVI представлен на рис. 2.

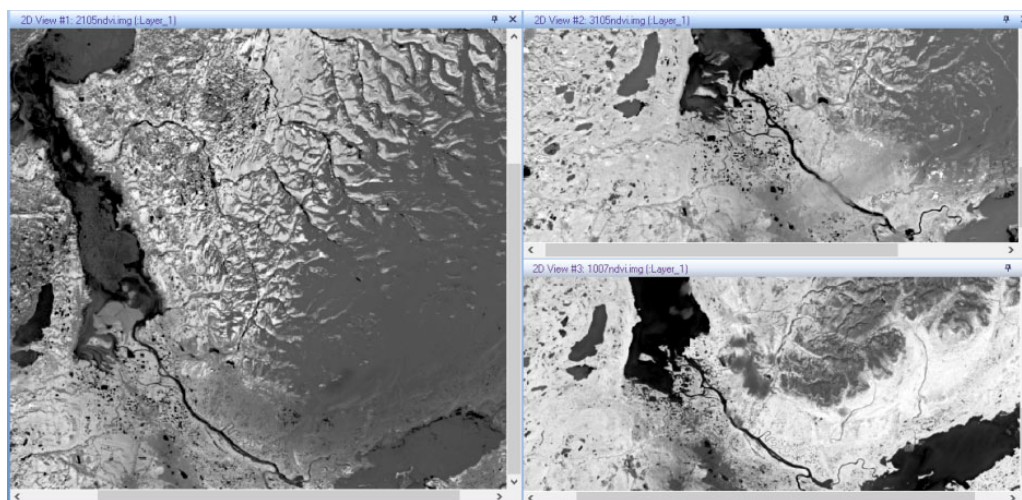


Рис. 2. Индексные изображения NDVI

Затем, с помощью модели, была проведена классификация по пороговым значениям индекса. Значения индекса были разделены на диапазоны [10]. Результат классификации представлен на рис. 3.

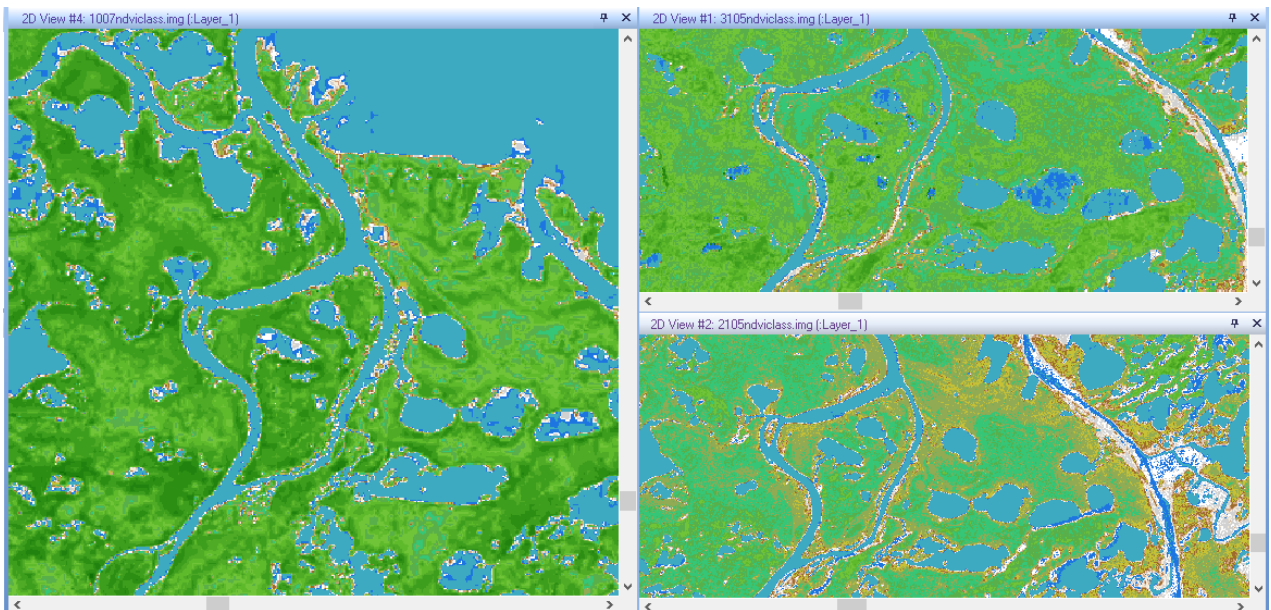


Рис. 3. Результат классификации

Далее был применен индекс NDWI. Это нормализованный разностный водный индекс. Его вычисление схоже с индексом NDVI, только вместо красного канала используется зеленый. Результаты расчетов представлены на рис. 4.

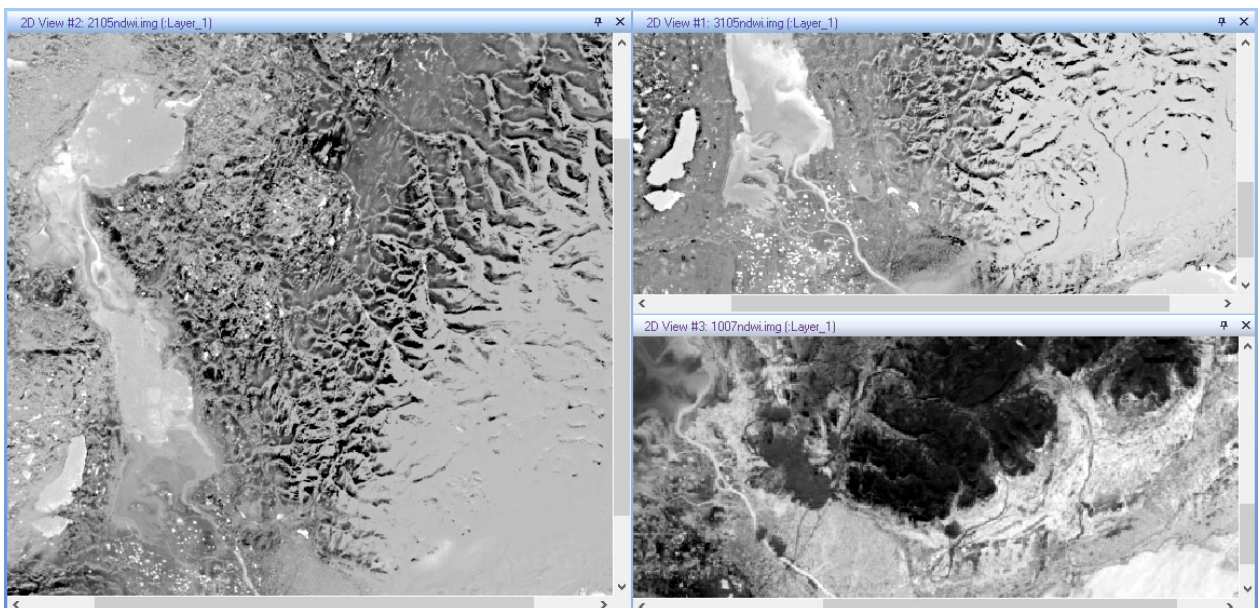


Рис. 4. Индексные изображения NDWI

Также было создано мультिवременное композитное изображение, в котором были синтезированы результаты расчета индекса NDVI за три даты (25.05.2020 г., 31.05.2020 г. и 10.07.2020 г.). Результат представлен на рис. 5.

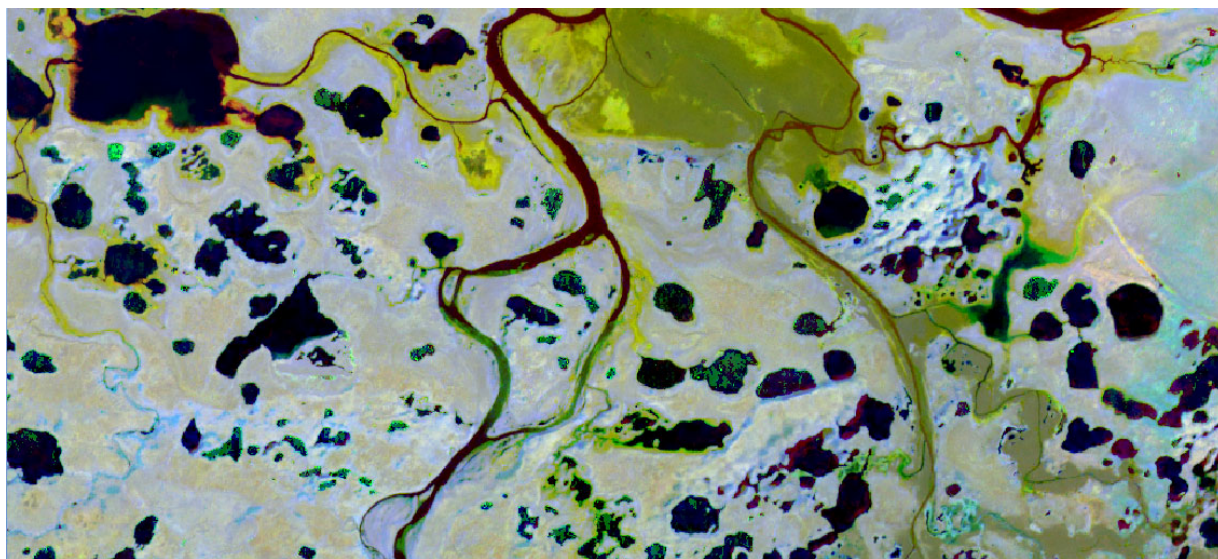


Рис. 5. Созданное мультिवременное композитное изображение по результатам расчета индекса NDVI (красный канал – 25.05.2020 г., зеленый канал – 31.05.2020 г., синий канал – 10.07.2020 г.)

Аналогично было создано мультिवременное композитное изображение, в котором были синтезированы результаты расчета индекса NDWI за три даты (25.05.2020 г., 31.05.2020 г. и 10.07.2020 г.). Результат представлен на рис. 6.

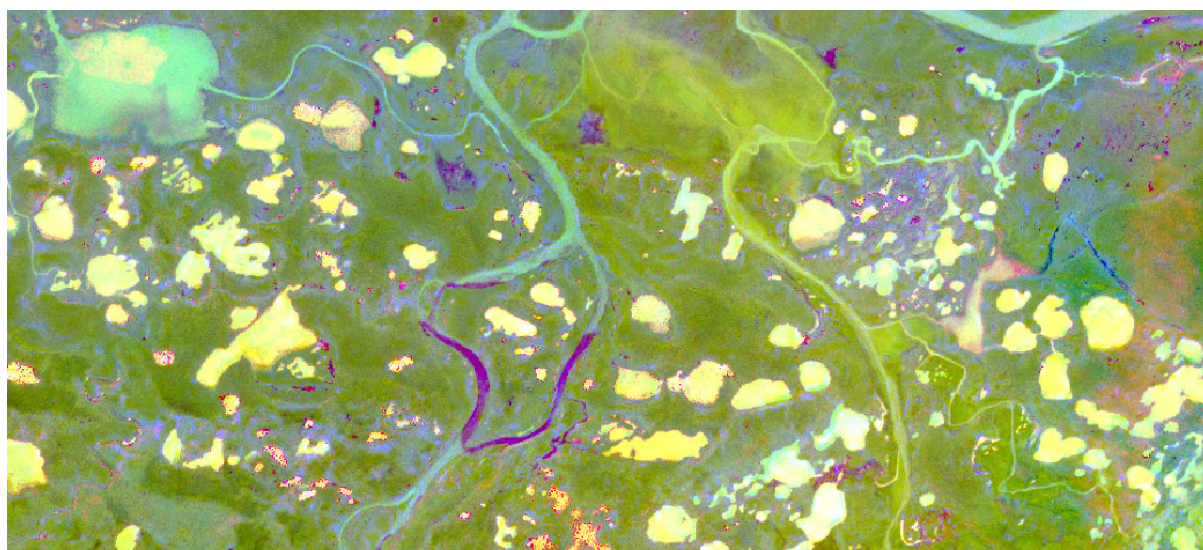


Рис. 6. Созданное мультिवременное композитное изображение по результатам расчета индекса NDWI (красный канал – 25.05.2020 г., зеленый канал – 31.05.2020 г., синий канал – 10.07.2020 г.)

## *Обсуждение*

При выполнении анализа влияния разлива нефтепродуктов на состояние природных объектов были применены различные методы и средства дистанционного зондирования Земли. Среди них: создание индексных изображений, выполнение классификации и использование мультивременных композитов по результатам расчета индексов. Благодаря примененным методам удалось обнаружить участки водной и растительной поверхности, которые были подвержены воздействию разлива. Индекс NDVI оказался более чувствительным к обнаружению загрязненной нефтепродуктами поверхности, тогда как индекс NDWI годится лишь для измерения уровня влаги в растительности, что для тематики данного исследования является второстепенным.

Полученные мультивременные композитные изображения наглядно демонстрируют изменения состояний растительности, почв и водной поверхности, спровоцированных разливами нефтепродуктов.

## *Заключение*

При выполнении анализа воздействия разлива нефтепродуктов на природные объекты ключевую роль играют следующие факторы: тип выбранной съемочной системы и выбранные методы обработки данных дистанционного зондирования Земли. Также значимую роль играет учет региональных особенностей (климат, типы почв и т.д.) территории исследования. Изучение состояния приполярных геосистем, расположенных в Восточной Сибири, осложняется очевидной нехваткой данных космических съемок, поскольку широтный охват ряда съемочных систем не обеспечивает покрытие территорий севернее 60-ой параллели. Эта проблема также свойственна и глобальным цифровым моделям рельефа, привлечение которых могло бы положительно сказаться на результатах анализа миграции вредных веществ от очага загрязнения.

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. Бондур, В. Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов комплекса // Исследование Земли из космоса. – 2010. – № 6. – С. 3–17.
2. Recent trends and remaining challenges for optical remote sensing of Arctic tundra vegetation: A review and outlook / Alison Beamisha, Martha K. Reynolds, Howard Epsteine, et al. // Remote Sensing of Environment. – 2020. – № 246, С. 1–12.
3. Remote sensing and petroleum seepage: a review and case study / Van Der Meer, F., Van Dijk, P., Van Der Werff, H., Yang, H. // Terra Nova 2002. – 2006. – № 14, С. 1–17.
4. Soil temperature estimation at different depths, using remotely-sensed data / HUANG Ran, HUANG Jian-xi, ZHANG Chao et al. // Journal of Integrative Agriculture. – 2020. – № 19 (1), С. 277–290.

5. Комиссаров А. В., Кулик Е. Н. Автоматизированные технологии сбора и обработки пространственных данных: учебник. – Новосибирск: СГУГиТ, – 2016. – 306 с.
6. Гук А. П., Шляхова М. М. Особенности современного этапа развития средств дистанционного зондирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Т. 1, № 4. – С. 7–13.
7. Кулик Е. Н., Байкин Д. А. Мониторинг растительности в районах добычи и транспортировки нефти методами автоматизированного дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы междунар. науч. конф. – Красноярск : СФУ, 2020. – С. 244–247.
8. Жужгов, Ю. В. Совершенствование методов мониторинга объектов нефтегазового комплекса // Всероссийская научно-практическая конференция «Пожарная безопасность: Проблемы и перспективы». – 2018, – № 9. – Т. 1. – С. 1022–1025.
9. Галкин, Ю. С. Современное состояние и тенденции развития техники и технологий дистанционного зондирования Земли // Лесной вестник. – 2008. – № 1, – С. 106–112.
10. NDVI – теория и практика [Электронный ресурс]. URL: <https://gislab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 10.04.2021).

© Д. А. Байкин, Е. Н. Кулик, 2021