

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

УДК 504:553.982.2

DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-6-55-63

Исследование состояния окружающей среды в районе нефтеразработок по космическим снимкам

А. С. Гордиенко^{1}, А. В. Ткач¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: a.s.gordienko@sgugit.ru

Аннотация. В статье приведены исследования состояния окружающей среды в районе нефтеразработок по космическим снимкам. Описаны проблемы выявления негативного воздействия нефти на компоненты природной среды. Представлены результаты экспериментов по выявлению влияния разливов нефти на состояние почв, объектов гидрографии и растительность. Выполнен расчет индексных изображений и проанализированы значения индексов на загрязненной территории. Выявлено угнетение состояния растительности в зоне, подверженной влиянию нефтепродуктов, восстановление почв после обширного разлива нефти, загрязнение рек. Данные, полученные в результате экспериментов, подтверждены информацией из открытых источников. Сделан вывод об эффективности применения индексных изображений при оценке состояния окружающей среды в районе нефтеразработок, а также о том, что снимки, полученные в четырех основных диапазонах спектра (R, G, B, NIR), позволяют успешно решать большинство задач, рассматриваемых в данной статье.

Ключевые слова: последствия разливов нефтепродуктов, космические снимки, окружающая среда, PlanetScope, Sentinel-2, Landsat-5, Landsat-7, индексные изображения

Введение

Промышленное производство негативно влияет на состояние окружающей среды. Вредному воздействию подвергаются различные компоненты природной среды: вода, почва, растительность, воздух, животный мир и др. В труднодоступных северных районах, на заболоченной территории актуальными являются методы дистанционного зондирования Земли, которые обеспечивают бесконтактное получение информации в виде мультиспектральных снимков. Данные, получаемые в различных диапазонах электромагнитного спектра, позволяют оценить состояние объектов местности. Для этого, как правило, применяются индексные изображения, харак-

теризующие состояние объектов природной среды [1–12].

Формулы расчета индексов основаны на особенностях зависимости коэффициентов спектральной яркости от диапазона спектра. Выделяют вегетационные, почвенные, водные и другие индексы.

Цель данного исследования – выявление состояния объектов окружающей среды в районе нефтеразработок по космическим снимкам.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить состояние почв, объектов гидрографии и растительности в районе нефтеразработок по космическим снимкам;
- выполнить анализ результатов;
- сформулировать выводы и рекомендации.

Методы и материалы

В качестве исходных данных в исследованиях использовались снимки, полученные со съемочных систем Landsat-5, Landsat-7, PlanetScope и Sentinel-2 на территорию Красноярского края, Туруханского района за 19 августа 2020 г., а также территорию Республики Коми за 1 июля 1994 г., 7 июля 2021 г., 3 мая 1999 г. и 8 мая 2021 г.

Республика Коми была выбрана в связи с тем, что в 1994 г. там произошел крупнейший разлив нефти. Так как катастрофа случилась давно, а разливы продолжались вплоть до 2004 г., и после на этой территории была проведена рекультивация почв, то данные за 2021 г. позволят оценить степень восстановления почв [13].

Состояние почв оценивалось на основе почвенного индекса Soil-Adjusted Vegetation Index (*SAVI*), который вычисляется по формуле

$$SAVI = ((NIR - RED) / (NIR + RED + L)) \cdot (1 + L),$$

где *RED* – значение яркости в красном диапазоне спектра;

NIR – значение яркости в ближнем инфракрасном диапазоне спектра;

L – коэффициент.

Значение коэффициента *L* зависит от соотношения открытых грунтов и территорий, покрытых сплошной растительностью [3].

Также использовался индекс оксидов железа Iron Oxide (*IO*), вычисляемый по формуле

$$IO = RED / BLUE,$$

где *BLUE* – значение яркости в синем спектральном канале [14].

Для выявления примесей в реках был использован индекс Acid Mine Water Index (*AMWI*), который рассчитывается по формуле [5, 15]

$$AMWI = (RED - BLUE) / (RED + BLUE).$$

Большие значения индекса *AMWI* соответствуют высокой концентрации железа в реках.

Для выявления состояния растительности применялись Normalized Difference Vegetation Index (*NDVI*) и Shortwave Vegetation Index (*SWVI*), которые вычисляются по формулам

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

и

$$SWVI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR),$$

где *SWIR* – значение яркости в среднем инфракрасном канале.

Индекс *SWVI* позволяет выявлять большинство видов нарушений растительного покрова: вырубки, угнетение растительности, гари, заболачивания и др. [5, 15].

Результаты

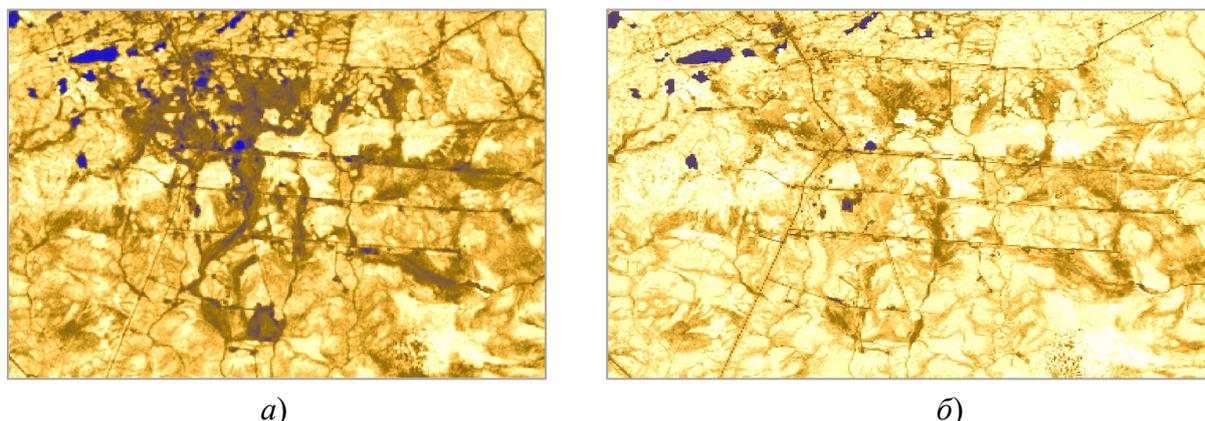
Для анализа состояния почв, а также выявления деградаций используется индекс *SAVI*. Этот индекс используется для снимков с разреженной вегетационной массой, где грунт виден сквозь растительность.

Значение коэффициента корректировки подстилающей поверхности было принято за 0,5, так как соотношение открытых грунтов и растительности примерно равны. Полученные индексные изображения в псевдоцветах представлены на рис. 1.

Таким образом, из рис. 1 видно, что состояние почв значительно улучшилось, но остались участки почв, которые не полностью восстановились.

Также был рассчитан индекс оксида железа, так как при попадании нефти в подзолы глеевые почвы начинается процесс выделения на поверхность оксидов железа. В научной статье [14] предложены диапазоны зависимости степени эрозии почв от индекса оксида железа. Результат создания картосхемы эрозии почв по значениям индекса оксида железа представлен на рис. 2.

На рис. 2, б эродированные почвы выделились только вдоль объектов гидрографии. Это означает, что водоемы все еще подвержены загрязнению. Таким образом, можно сделать выводы, что процесс извлечения нефти из почв в данном районе на сегодняшний день проведен успешно.



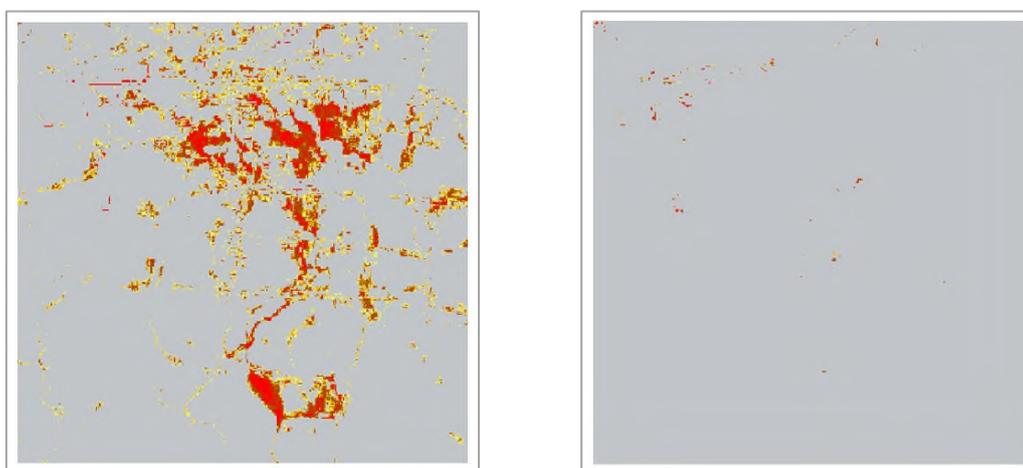
а)

б)

Рис. 1. Индексное изображение SAVI:

а) 3 мая 1999 г.; б) 8 мая 2021 г.;

■ – гидрография (от -1 до $-0,1$); ■ – почвы с деградацией (от $-0,1$ до $0,1$); ■ – почвы со слабой деградацией (от $0,1$ до $0,15$); ■ – здоровые почвы (более $0,2$)



а)

б)

Рис. 2. Картограмма эрозии почв:

а) 3 мая 1999 г.; б) 8 мая 2021 г.;

■ – незеродированные (менее $1,300$); ■ – низкоэродированные (от $1,301$ до $1,350$); ■ – среднеэродированные (от $1,351$ до $1,430$); ■ – высокоэродированные (от $1,431$ до $1,500$); ■ – очень высокоэродированные (от $1,501$ и более)

Как показывают данные [16], в реках, протекающих в исследуемых районах, присутствуют различные примеси – железо, взвешенные вещества, азот аммонийный и нитратный, хлориды, сульфаты, а также нефтепродукты.

Из статьи [5] известно, что значение индекса *AMWI* в пределах от $0,42$ и до $0,70$ соответствуют существенным загрязнениям объекта гидрографии примесями железа.

При анализе значений индекса *AMWI* соответствующих рекам, протекающим в исследуе-

мых районах, было выявлено, что они находятся в интервале от $0,427$ до $0,568$. Таким образом, полученные значения индекса *AMWI* свидетельствуют о высокой концентрации железа в реках – чем больше значение, тем больше количество взвешенных частиц в воде.

Для анализа состояния растительного покрова были получены вегетационные индексы *NDVI* (рис. 3).

Известно, что в 2000–2020 гг. на данном участке территории проводились рекультива-

ционные работы [13]. По индексным изображениям (*NDVI*) заметно, что там, где был разлив, теперь в большей степени густая растительность. Но есть участки с территориями, где растительность до сих пор угнетенная, это связано с тем, что такие места затапливали

для вывода нефти на поверхность, в результате чего в этих местах образовались болота.

Индекс *SWVI* позволил выявить участки с вырубкой леса, деградацией растительности вследствие нефтеразлива и пожара. Примеры представлены на рис. 4 и 5.

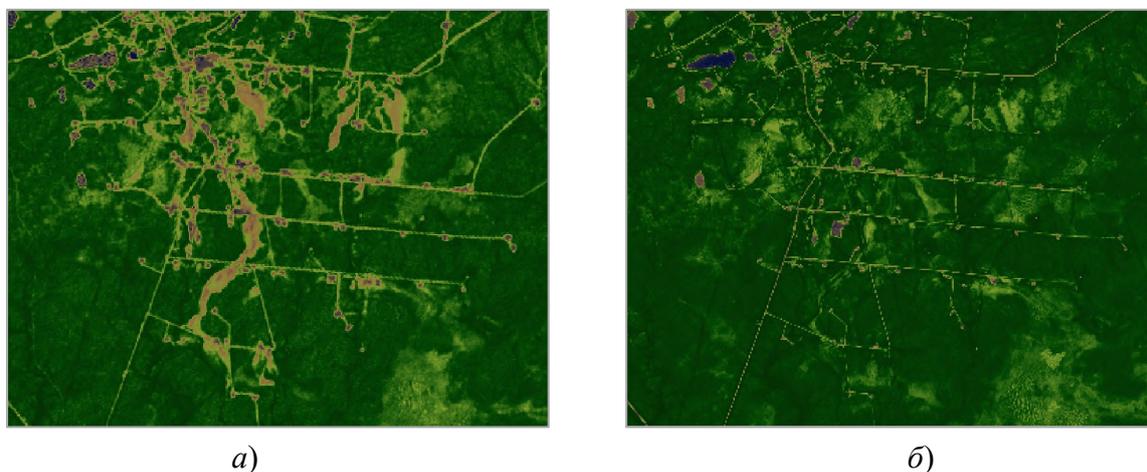


Рис. 3. Индексное изображение *NDVI*:

а) 1 июля 1994 г.; б) 7 июля 2021 г.;

■ – гидрография (от -1 до 0); ■ – отсутствие растительности (от 0,133 до 0,166); ■ – угнетенная растительность (от 0,166 до 0,2); ■ – здоровая растительность (от 0,2 до 0,8)

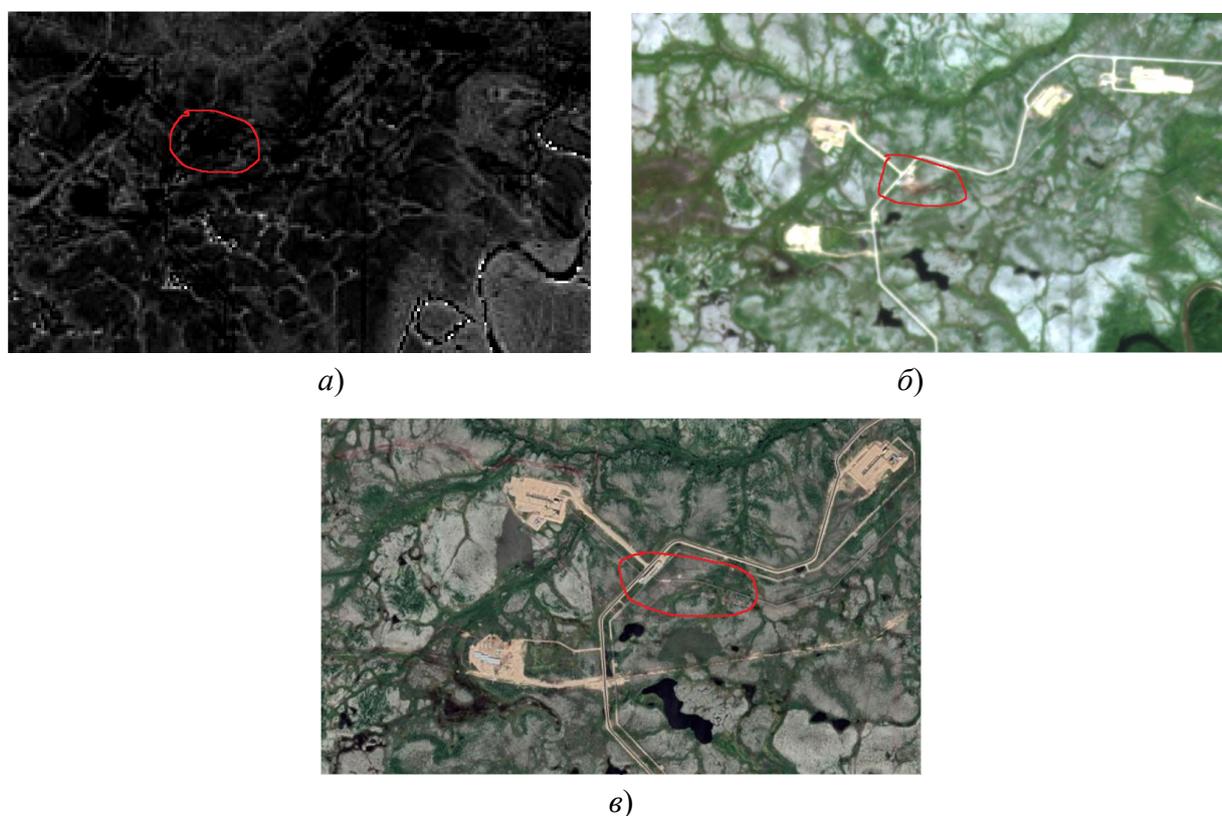


Рис. 4. Выявленная деградация растительности на месте нефтеразлива:

а) на индексном изображении *SWVI*; б) на исходном изображении в естественных цветах; в) на Google maps

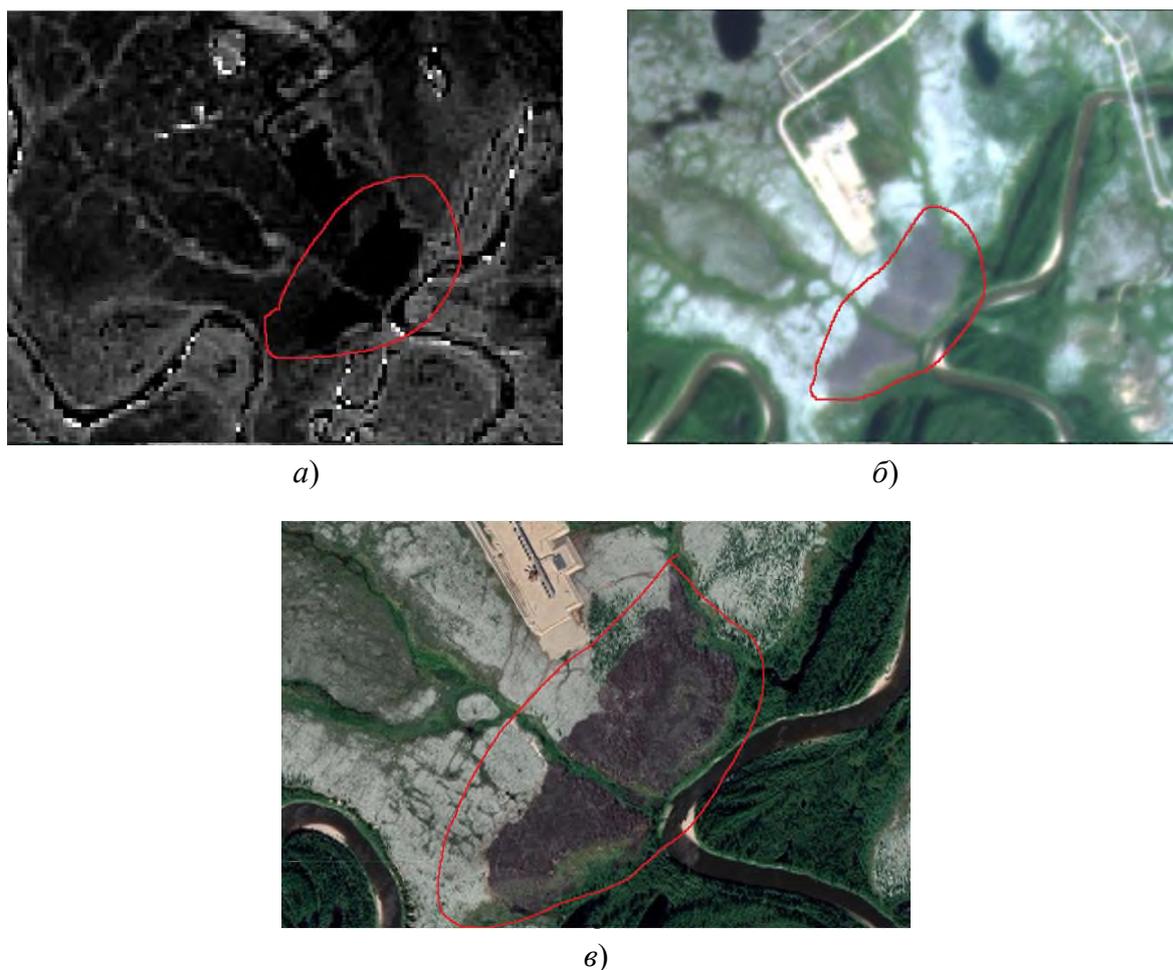


Рис. 5. Выявленная деградация растительности вследствие пожара:

а) на индексном изображении *SWVI*; б) на исходном изображении в естественных цветах; в) на Google maps

Обсуждение

Задача оценки воздействия нефтепродуктов на состояние почв по космическим снимкам является одной из самых сложных, так как визуально это не всегда заметно, в том числе и из-за растительности. В данной работе исследовалась обширная территория, подверженная влиянию одного из крупнейших разливов нефти в истории, так как снимки были получены с промежутком более двадцати лет, то использование индексов почвы и оксида железа позволило выявить существенные изменения в состоянии почв в районе катастрофы. При менее масштабных загрязнениях следует использовать снимки высокого пространственного разрешения.

Воздействие нефтепродуктов на объекты гидрографии не ограничивается наличием

пленок на водной поверхности, изменяется химический состав, происходит гибель обитателей водоемов, а также растительности по берегам и др. Применяемый в данной работе индекс *AMWI* позволил выявить высокую концентрацию железа в реках. Полученные значения подтверждаются полевыми исследованиями химического состава воды из исследуемых рек (доступными в открытой печати) [16].

Негативное влияние на растительность в районах нефтеразработок в виде вырубок, деградации растительности, гарей, заболачиваний и др. выявляется с помощью индексов *NDVI* и *SWVI*. Как показали исследования, индекс *SWVI* позволяет распознавать даже незначительное угнетение растительности. Вместе с тем, используя только индексные изображения не удалось полностью выделить участки с измененной растительностью.

Заключение

Исследования состояния окружающей среды в районе нефтеразработок по космическим снимкам на основе создания индексных изображений показали, что для решения большинства задач достаточно использовать снимки, полученные в четырех диапазонах спектра

(R, G, B, NIR). Это является важным моментом, так как чаще всего съемочные системы имеют возможность работать только в этих диапазонах.

Соответственно, можно использовать снимки различного пространственного разрешения, в зависимости от необходимой точности.

Авторы выражают признательность А. А. Матюхиной и Р. А. Ковтунову за оказанную помощь при проведении данного исследования.

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. Khanna S., Santos M. J., Ustin D. S. L., Koltunov A., Kokaly R. F., Roberts D. A. Detection of salt marsh vegetation stress after the Deepwater Horizon BP oil spill along the shoreline of gulf of Mexico using AVIRIS data // PLoS ONE. – 2013. – Vol. 8. – P. e78989.
2. Noomen M., Smith K. L., Colls J. J., Stevens M. D., Skidmore A. K., van der Meer F. D. Hyperspectral indices for detecting changes in canopy reflectance as a result of underground natural gas leakage // International journal of remote sensing. – 2008. – Vol. 29 (20). – P. 5987–6008.
3. Гордиенко А. С., Кулик Е. Н. Данные дистанционного зондирования Земли при оценке эколого-экономического ущерба от загрязнений окружающей среды нефтью // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 37–46.
4. Кожанов К. А., Кулик Е. Н. Оценка информационной емкости данных дистанционного зондирования Sentinel-2 для мониторинга загрязнения почв нефтепродуктами в заполярной Арктике // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 8 т. (Новосибирск, 19–21 мая 2021 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. Т. 6. – С. 149–154.
5. Березина О. А., Шихов А. Н., Абдуллин Р. К. Применение многолетних рядов данных космической съемки для оценки экологической ситуации в угледобывающих районах (на примере ликвидированного Кизеловского угольного бассейна) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15, № 2. – С. 144–158.
6. Разакова М. Г. Выявление и картирование нефтяных загрязнений почв по данным дистанционного зондирования // Проблемы информатики. – 2017. – № 4 (37). – С. 7–15.
7. 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.
8. Долгополов Д. В., Никонов Д. В., Полуянова А. В., Мелкий В. А. Возможности визуального дешифрирования магистральных трубопроводов и объектов инфраструктуры по спутниковым изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 65–81.
9. Долгополов Д. В. Использование данных дистанционного зондирования Земли при формировании геоинформационного пространства трубопроводного транспорта // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 151–159.
10. Токарева О. С., Климентьев Д. С. Оценка последствий нефтяных разливов на основе данных дистанционного зондирования земли // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 4, ч. 1. – С. 130–133.
11. Алексеева М. Н., Яценко И. Г. Использование космических снимков и геоданных для оценки экологических рисков при разливах нефти // СИББЕЗОПАСНОСТЬ-СПАССИБ-2013. Совершенствование системы управления, предотвращения и демпфирования последствий чрезвычайных ситуаций регионов и проблемы безопасности жизнедеятельности населения. Междунар. науч. конгр. : сб. материалов (Новосибирск, 25–27 сентября 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. – С. 3–7.

12. Алексеева М. Н., Ященко И. Г. Экологический мониторинг нефтедобывающих территорий на основе космических снимков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 2. – С. 101–106.

13. Маркарова М. Ю., Загвоздкин В. К., Таскаев А. И., Щемелинина Т. Н. Основные результаты работ по ликвидации аварийных разливов нефти в Республике Коми. Обобщение опыта за 15 лет // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2008. – № 5 (127). – С. 32–35.

14. Горбачева Е. Н. Автоматизированное дешифрирование почв, подверженных водно-эрозионным процессам // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1(46). – С. 46–54.

15. Тихонова С. А., Стручкова Г. П., Капитонова Т. А. Оценка антропогенного загрязнения водоемов Якутии по спектральным характеристикам космоснимков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 213–222.

16. Даувальтер В. А. Химический состав воды и донных отложений дельты реки Печоры // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов : материалы Всероссийской конференции с международным участием: в 2-х томах, Архангельск, 13–18 сентября 2004 года / Ответственный редактор: Ф. Н. Юдахин. – Архангельск : Институт экологических проблем Севера Уральского отделения Российской академии наук, 2004. – С. 225–228.

Об авторах

Антонина Сергеевна Гордиенко – кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования.

Алена Владимировна Ткач – магистрант.

Получено 26.08.2022

© А. С. Гордиенко, А. В. Ткач, 2022

Study of the state of the environment in the area of oil production using space images

A. S. Gordienko^{1}, A. V. Tkach¹*

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

* e-mail: a.s.gordienko@sgugit.ru

Abstract. The article presents the results of the research analyzing the state of the environment in the area of oil production based on space images. The problems of identifying the negative impact of oil on the components of the natural environment are described. The results of the experiments focusing on the influence of oil spills on the state of soils, hydrographic objects and vegetation are presented. The index images were calculated and the index values in the contaminated area were analyzed. The suppression of vegetation in the zone affected by petroleum products, soil restoration after an extensive oil spill, and river pollution were revealed. The data obtained as a result of experiments are confirmed by information from open sources. The conclusion about the effectiveness of the use of index images of the research analyzing the state of the environment in the area of oil production based on space images is made. Images obtained in the four main spectral ranges (R, G, B, NIR) allow you to successfully solve most of the problems considered in this article.

Keywords: consequences of oil spills, space images, environment, PlanetScope, Sentinel-2, Landsat-5, Landsat-7, index images

REFERENCES

1. Khanna, S., Santos, M. J., Ustin, D. S. L., Koltunov, A., Kokaly, R. F., & Roberts, D. A. (2013). Detection of salt marsh vegetation stress after the Deepwater Horizon BP oil spill along the shoreline of gulf of Mexico using AVIRIS data. *PLoS ONE*, 8, p. e78989.

2. Noomen, M., Smith, K. L., Colls, J. J., Stevens, M. D., Skidmore, A. K., & van der Meer, F. D. (2008). Hyperspectral indices for detecting changes in canopy reflectance as a result of underground natural gas leakage. *International Journal of Remote Sensing*, 29(20), 5987–6008.
3. Gordienko, A. S., & Kulik, E. N. (2021). Data of remote sensing of the earth in assessing environmental and economic damage from oil pollution. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(2), 37–46 [in Russian].
4. Kozhanov, K. A., & Kulik, E. N. (2021). Estimation of the information capacity of Sentinel-2 remote sensing data for monitoring soil pollution with oil products in the polar Arctic. In *Sbornik materialov Interekspo 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. 149–154). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
5. Berezina, O. A., Shikhov, A. N., & Abdullin, R. K. (2018). The use of multi-temporal satellite images for environmental assessment in coal mining areas (by example of closed Kizel coal basin). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space]*, 15(2), 144–158 [in Russian].
6. Razakova, M. G. (2017). Detection and mapping of oil pollution of soils according to remote sensing data. *Problems of informatics [Problems of Informatics]*, 4(37), 7–15 [in Russian].
7. Gordienko, A. S. (2021). Research of the possibility of detecting the negative impact of oil spills on the surrounding vegetation based on remote sensing data. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(6), 48–55 [in Russian].
8. Dolgopolov, D. V., Nikonov, D. V., Poluyanov, A. V., & Melkiy, V. A. (2019). Possibilities of visual decoding of main pipelines and infrastructure facilities using satellite images of high and ultra-high spatial resolution. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(3), 65–81 [in Russian].
9. Dolgopolov, D. V. (2020). Use of Earth Remote Sensing Data in the Formation of Geoinformation Space of Pipeline Transport *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(3), 151–159 [in Russian].
10. Tokareva, O. S., & Klimentiev, D. S. (2010). Assessment of the consequences of oil spills based on the data of remote sensing of the Earth. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2010: T. 4, part I [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2010: Vol. 4, Part I]* (pp. 130–133). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
11. Alekseeva, M. N., & Yashchenko, I. G. (2013). Using space images and geodata for assessing environmental risks in case of oil spills. In *Sbornik materialov SIBBEZOPASNOST'-SPASSIB-2013: Sovershenstvovanie sistemy upravleniya, predotvrashcheniya i dempfirovaniya posledstviy chrezvychaynykh situatsiy regionov i problemy bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti naseleniya [Proceedings of SIBBEZOPASNOST'-SPASSIB-2013: Improvement of the System of Management, Prevention and Damping of the Consequences of Emergency Situations in the Regions and Problems of Life Safety of the Population]* (pp. 3–7). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
12. Alekseeva, M. N., & Yashchenko, I. G. (2013). Environmental monitoring of oil-producing territories on the basis of space images. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Distantsionnye metody zondirovaniya Zemli i fotogrammetriya, monitoring okruzhayushchey sredy, geoekologiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 2. Remote Methods of Earth Sensing and Photogrammetry, Environmental Monitoring, Geoecology]* (pp. 101–106). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
13. Markarova, M. Y., Zagvozdkin, V. K., Taskaev, A. I., & Schemelinina, N. N. (2008). Main results of oil spill response in the Komi Republic. Generalization of experience for 15 years. *Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya RAN [Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]*, 5(127), 32–35 [in Russian].
14. Gorbacheva, E. N. (2011). Automated interpretation of soils subject to water erosion processes. *Pochvovedenie i agrokhimiya [Soil Science and Agrochemistry]*, 1(46), 46–54 [in Russian].
15. Tikhonova, S. A., Struchova, G. P., & Kapitonova, T. A. (2021). Assessment of anthropogenic damage to the water bodies of Yakutia according to the spectral characteristics of satellite images. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' [Mining Information and Analytical Bulletin]*, 12(1), 213–222 [in Russian].
16. Dauvalter V. A. (2004). Chemical composition of water and bottom sediments of the Pechora River delta. In *Sbornik materialov Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem: Izmeneniya geodinamiki i tkaney v okruzhayushchey srede severnykh regionov [Proceedings of the All-Russian Conference with international participation: Geodynamics and geological changes in the environment of the northern*

regions] (pp. 225–228). Arkhangelsk: Institute of Environmental Problems of the North Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ. [in Russian].

Author details

Antonina S. Gordienko – Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing.
Alyona V. Tkach – Graduate.

Received 26.08.2022

© *A. S. Gordienko, A. V. Tkach, 2022*